

Rancang Bangun Acrylic Engraver and Cutting Machine Menggunakan CNC Milling 3 Axis Berbasis Mikrokontroler

Iklil Vurqon Choirony¹⁾, Mohammad Slamed Hariyanto²⁾, Miftachul Ulum³⁾,
Achmad Ubaidillah⁴⁾, Haryanto⁵⁾ dan Riza Alfita⁶⁾

^{1), 2), 3), 4), 5), 6)} Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura

^{1), 2), 3), 4), 5), 6)} Jalan Raya Telang, Kecamatan Kamal 69162, Kabupaten Bangkalan, Jawa Timur
e-mail: iklilvurqon@gmail.com¹⁾, riyanjuventini95@gmail.com²⁾, ubaidillah.ms@trunojoyo.ac.id⁴⁾,
miftachul.ulum@trunojoyo.ac.id³⁾, haryanto@trunojoyo.ac.id⁵⁾, riza.alfita@trunojoyo.ac.id⁶⁾

ABSTRACT

The purpose of this research is to design and implement an automatic acrylic carving and cutting tool using a microcontroller-based 3-axis CNC machine. Computer Numerical Control (CNC) is a machine technology that is operated automatically to support the demand for a product that has a complex shape and high accuracy. In general, the construction of a 3-axis CNC machine and its working system is synchronization between the computer and its mechanics. This tool has a work process by utilizing the G-Code method as a command on the machine to carry out engraving and cutting automatically. The G-code was obtained from a previously designed image and then converted using the Aspire 9.0 software. Engraving and cutting is done by sending the G-code file to the microcontroller via the Universal G-code Sender software, then the microcontroller sends a signal to drive the motor driver which then drives the stepper motor so that the actuator movement is generated according to the image in the G-code file. Simultaneously the spindle motor will be active to engrave or cut acrylic. In this study, a trial scenario was carried out to determine the precision and accuracy of the tool, namely by engraving and cutting flat shapes such as squares, circles, triangles and segments. The percentage of success generated from this tool is 97,08% to 100%. Furthermore, testing is carried out to make products in the form of engraving writing, logos and calligraphy. Apart from that, we also tested cutting letters and key chains. When the test is carried out, the accuracy level is 1mm.

Keywords: CNC, Stepper Motor, G-code, acrylic

ABSTRAK

Tujuan dari penelitian ini yaitu merancang dan merealisasikan suatu alat ukir dan potong akrilik secara otomatis menggunakan mesin CNC 3-axis berbasis mikrokontroler. Computer Numerical Control (CNC) merupakan teknologi permesinan yang dioperasikan otomatis untuk menunjang kebutuhan akan permintaan suatu produk yang mempunyai bentuk yang kompleks dan ketelitian tinggi. Secara umum konstruksi mesin CNC 3-axis dan sistem kerjanya adalah sinkronisasi antara komputer dan mekaniknya. Pada alat ini memiliki proses kerja dengan memanfaatkan metode G-Code sebagai perintah pada mesin untuk melakukan pengukiran dan pemotongan secara otomatis. G-code diperoleh dari gambar yang sebelumnya telah didesain kemudian dikonversikan melalui software Aspire 9.0. Pengukiran dan pemotongan dilakukan dengan cara mengirimkan file G-code kepada mikrokontroler melalui software Universal G-code Sender, kemudian mikrokontroler mengirimkan sinyal untuk menggerakkan driver motor yang kemudian menggerakkan motor stepper sehingga dihasilkan gerakan aktuator sesuai dengan gambar pada file G-code. Secara bersamaan motor spindle akan aktif untuk mengukir atau memotong akrilik. Pada penelitian ini dilakukan skenario uji coba untuk mengetahui kepresisian dan ketelitian alat yaitu dengan cara melakukan pengukiran dan pemotongan berbentuk bangun datar seperti persegi, lingkaran, segitiga dan segi delapan. Persentase keberhasilan yang dihasilkan dari alat ini 97,08% sampai 100%. Selanjutnya dilakukan pengujian membuat produk berupa ukiran tulisan, logo dan kaligrafi. Selain itu dilakukan pengujian pemotongan huruf dan gantungan kunci. Ketika dilakukan pengujian dihasilkan tingkat ketelitian sebesar 1mm.

Kata Kunci: CNC, Motor stepper, G-code, akrilik

I. PENDAHULUAN

Pada era revolusi industri yang telah memasuki revolusi industri 4.0 mengakibatkan perkembangan dunia industri menjadi sebuah industri yang berteknologi cerdas. Kemajuan industri yang menghasilkan kemudahan dalam meningkatkan kinerja pabrik sehingga hasil yang didapatkan sesuai dengan target dari industri tersebut. Teknologi dibuat pada dasarnya untuk memudahkan kinerja manusia baik halnya pekerjaan yang berat hingga pekerjaan yang ringan dan dari pekerjaan yang rumit ataupun sulit hingga ke pekerjaan yang mudah.[1] Teknologi yang

maju tidak luput dari perkembangan ilmu pengetahuan manusia. Ilmu yang terus berkembang seiring perkembangan zaman dan diperlukannya teknologi tersebut semakin banyak manusia yang berlomba-lomba maupun bersaing untuk menemukan teknologi yang canggih. Hingga ilmu dan teknologi tersebut bisa dirasakan hingga saat ini perbedaannya dari waktu ke waktu.[2]

Perkembangan mesin teknologi yang diciptakan sebagai alat mempermudah kegiatan manusia dengan penggunaan teknologi komputer ke dalamnya sehingga berdampak pada penggunaan sistem otomasi. Sistem otomasi merupakan suatu teknologi yang berkaitan

dengan aplikasi mekanik, elektronik dan sistem yang berbasis komputer. Dengan adanya sistem tersebut, maka pekerjaan-pekerjaan yang dilakukan secara otomatis sehingga mempermudah dan menghemat tenaga manusia. Teknik kontrol yang digunakan pun begitu beragam sehingga mendapatkan tingkat kecepatan, keefisienan dan keakuratan yang tinggi. *Computer Numerical Control (CNC)* merupakan salah satu perkembangan teknologi permesinan yang dioperasikan secara otomatis yang dapat menunjang kebutuhan akan permintaan suatu produk yang mempunyai bentuk yang kompleks, ketelitian yang tinggi dan dapat mengerjakan benda-benda yang tidak mampu dilakukan dengan permesinan konvensional. Sistem pengoperasian *CNC* menggunakan program yang dikontrol langsung oleh komputer. Secara umum konstruksi mesin perkakas *CNC* dan sistem kerjanya adalah sinkronisasi antara komputer dan mekaniknya.[3][4][5]

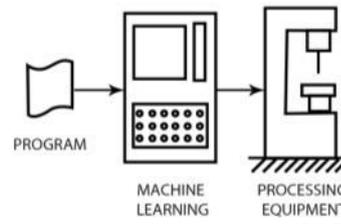
Dalam masyarakat proses pemotongan dan pengukiran akrilik masih banyak yang menggunakan alat yang kurang efektif. Untuk mengatasi masalah seperti efisiensi waktu, ketepatan ukir dan pemotongan, *custom* bentuk akrilik serta biaya. Maka diperlukan penggunaan mesin ukir dan pemotong yang bekerja secara otomatis. Sehingga alat tersebut dapat membuat suatu karya seperti gantungan kunci, plakat, kotak barang dan benda seni lainnya.[6] Oleh karena itu, penulis melakukan suatu penelitian berjudul Rancang Bangun Mesin Ukir dan Pemotong Akrilik Menggunakan *CNC Milling 3-Axis* Berbasis Mikrokontroler. Hasil yang diperoleh diharapkan memiliki pemotongan dan pengukiran yang halus pada permukaan benda datar yang diproses. Penelitian ini difokuskan pada pemilihan komponen sistem kontrol, perakitan sistem *interface*, sehingga konstruksi mekanik mesin *CNC* terhubung dengan mikrokontroler yang dikendalikan oleh *personal computer* (PC) sehingga menghasilkan mesin *CNC* yang bekerja dengan maksimal sebagai teknologi tepat guna dalam membantu pekerja industri kreatif dibidang akrilik. Selain itu alat tersebut diharapkan dijadikan suatu inovasi oleh mahasiswa dalam membuat suatu karya maupun benda pendukung yang berbahan akrilik.[7][8]

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Computer Numerical Control (CNC)

Secara garis besar pengertian mesin *CNC* adalah suatu mesin yang dikontrol oleh komputer dengan menggunakan bahasa numerik. Mesin *CNC* mesin yang pengoperasian dikendalikan melalui program yang diakses dengan komputer. Pengoperasian mesin *CNC* berjalan otomatis dengan memasukkan data program dengan benar. Data-data program yang dimasukkan adalah data perintah gerakan permesinan yang telah disusun dengan bahasa pemrograman. Bahasa pemrograman yang digunakan berupa bahasa *numeric*, yaitu kombinasi huruf dan angka. Sebagai contoh: jika pada

program mesin ditulis *M05* maka *spindel* utama mesin akan berhenti berputar dan jika ditulis *M30* *spindel* utama mesin akan berputar.[10]



Gambar 1. Sistem dasar CNC

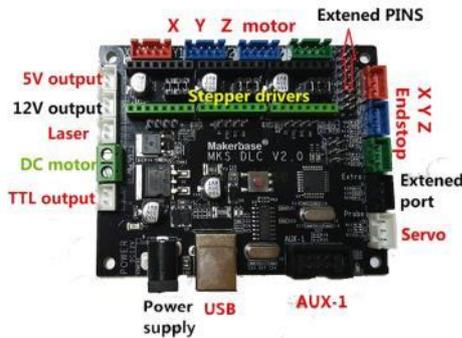
Computer Numerical Control (CNC) adalah sebuah mesin yang digunakan untuk manufaktur yang melibatkan komputer untuk mengontrol mesin perkakas. Dalam hal ini mesin perkakas biasa ditambahkan dengan motor yang akan menggerakkan pengontrol mengikuti titik-titik yang dimasukkan ke dalam sistem. Mesin *CNC* dikendalikan oleh komputer yang menggunakan *G-Code*. *G-Code* terdiri dari perintah koordinat pada *axis* yaitu sebagai contoh sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z.[9] Mesin *CNC* adalah perpaduan motor stepper dan *controller*. Saat ini mesin *CNC* mempunyai hubungan yang sangat erat dengan program *CAD*. Mesin-mesin *CNC* dibangun untuk menjawab tantangan di dunia manufaktur *modern*. Dengan mesin *CNC*, ketelitian suatu produk dapat dijamin hingga 1/100 mm lebih, pengerjaan produk masal dengan hasil yang sama persis dan waktu permesinan yang cepat.[10]

B. G-Code

G-code merupakan sebuah fungsi yang digunakan dalam bahasa pemrograman *Computer Numerical Control (CNC)* yang paling banyak digunakan. *G-code* digunakan terutama dalam proses manufaktur dibantu komputer untuk mengontrol peralatan mesin. *G-code* adalah bahasa yang digunakan teknisi untuk memberi tahu jalur peralatan mesin terkomputerisasi dan tahapan kerja serta alat untuk membuat sesuatu. *G-code* mengandung informasi posisi sebuah alat untuk melakukan sebuah pekerjaan di pabrik *G-code* terpisah dari *M-code* dan *T-code* yang mengontrol mesin dan alat pabrik. Walaupun *G-code* adalah istilah yang biasanya digunakan untuk *Numerical Control (NC)*, sebenarnya *G-code* hanyalah sebuah komponen dan bekerja bersama dengan kode-kode lainnya untuk melakukan tugas-tugas yang seharusnya. Versi standar *G-code* dikenal sebagai *RS-274D*. [13] Versi-versi lainnya juga ada untuk mesin *CNC* dengan masalah kompatibilitas. Karena *G-code* adalah kode persiapan, dalam program *CNC* mereka mulai dengan huruf *G* dan mengarahkan mesin. Tindakan-tindakan yang umumnya diarahkan *G-code* meliputi mengubah sebuah pallet, gerakan cepat, serangkaian gerakan *feed* yang terkontrol, menghasilkan potongan barang, lubang di bor atau bentuk dekoratif, mengontrol gerakan *feed*, dalam garis busur atau lurus, dan mengatur informasi alat.

C. Maker base Controller

Maker base Controller merupakan papan kontrol yang menggunakan chip *Atmega 328p* dari *Atmel*, sistem kontrol ini memiliki kemampuan untuk menghubungkan sinyal data dari komputer baik input maupun output kepada aktuator. Alat ini difungsikan sebagai penghubung sinyal data dari komputer penggerak seperti *motor stepper*. Biasanya kontrol tersebut digunakan untuk mengoperasikan mesin *CNC 3 axis*. Dengan menggunakan suplai daya sebesar 12 volt.

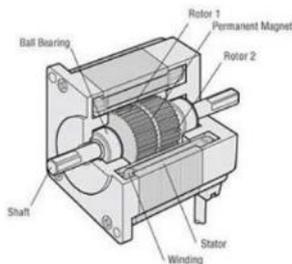


Gambar 2. Makerbase controller

Pada *controller* tersebut, terdapat bagian-bagian yang memiliki fungsi tertentu. x, y, dan z motor digunakan sebagai *output motor stepper* dan *driver motor*. Dalam modul tersebut terdapat x, y, dan z *end stop* yang digunakan untuk masukan *micro limit switch*. Selain itu juga terdapat *output* berupa *motor spindle DC*. *Controller* tersebut dapat menerima *firmware GRBL*. [11]

D. Motor Stepper

Motor Stepper adalah seperangkat alat elektromekanis yang bekerja dengan mengubah pulsa elektronis menjadi gerakan mekanis diskrit. *Motor stepper* bergerak berdasarkan urutan pulsa yang diberikan kepada motor. Karena itu, untuk menggerakkan *motor stepper* diperlukan pengendalian *motor stepper* yang membangkitkan pulsa-pulsa periodik seperti *driver motor*. Adapun konstruksi dasar dari *motor stepper* sebagai berikut. [12]



Gambar 3. Konstruksi dasar *motor stepper*

Penggunaan *motor stepper* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan dengan penggunaan *motor DC* biasa. Keunggulannya yaitu sudut rotasi motor proporsional dengan pulsa masukan sehingga lebih mudah diatur. [13] Motor dapat langsung memberikan torsi

pada saat mulai bergerak, posisi dan pergerakan repetisinya dapat ditentukan secara presisi, memiliki respon yang sangat baik terhadap mulai, *stop* dan berbalik (perputaran), sangat reliabel karena tidak adanya sikat yang bersentuhan dengan rotor seperti pada *motor DC*, dapat menghasilkan perputaran yang lambat sehingga beban dapat di kopel langsung ke porosnya, selain itu frekuensi perputaran dapat ditentukan secara bebas dan mudah pada *range* yang luas. [14] Pada perancangan sistem alat yang akan dibuat menggunakan jenis *motor stepper bipolar* yaitu *motor stepper* dengan jenis *nema23* untuk 3 sumbu dengan torsi sebesar 270 Oz-inch, sehingga kedua motor tersebut mampu berfungsi sebagai penggerak *axis* pada mekanik mesin *CNC* dengan baik.

E. Driver Motor Stepper

Driver motor merupakan komponen yang berfungsi untuk mengkomunikasikan *controller* dengan aktuator serta memperkuat sinyal keluaran dari *controller* sehingga dapat dibaca oleh aktuator. *Driver Motor Stepper* digunakan sebagai sebuah pengontrol untuk mengatur arah dan kecepatan putaran pada *motor stepper*. *Driver Motor Stepper* tersebut akan mengendalikan sumber tegangan yang masuk pada *Motor Stepper* yang berasal dari mikrokontroler. Dalam perancangan elemen kontrol *motor driver* yang akan digunakan adalah *TB6600*. [9][10]



Gambar 4. *Driver motor stepper TB6600*

F. Motor Spindle

Motor spindle merupakan bagian dari mesin yang akan menjadi rumah *cutter* atau *engrave* (pengukir atau pemotong). *Spindle* inilah yang akan mengatur putaran dan pergerakan *cutter/engrave* pada sumbu Z. *Spindle* selanjutnya digerakkan oleh *motor stepper* yang dilengkapi dengan sistem transmisi *leadscrew* dan *kopling*. [14]



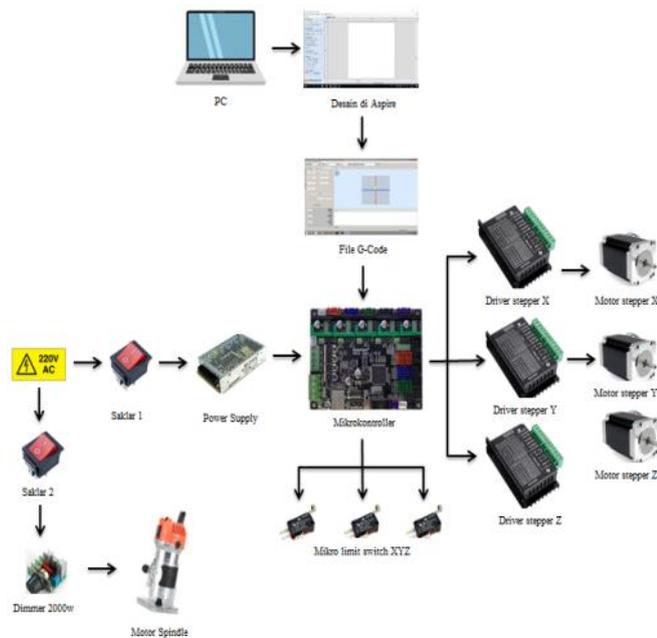
Gambar 5. *Motor spindle*

Spindle adalah bagian yang sangat penting pada mesin karena komponen ini yang akan melakukan pengukiran atau pemotongan langsung pada benda kerja yang akan diproses.[15] Untuk menghasilkan hasil yang maksimal dalam pengukiran dan pemotongan akrilik. Diperlukan *spindel* yang memiliki kecepatan tinggi. *Trimmer motor spindle* memiliki kecepatan tanpa beban yaitu 30.000 rpm dengan daya sebesar 450 watt dan tegangan 220V AC. *Spindel* dengan spesifikasi dipilih untuk mempercepat pekerjaan, memaksimalkan kekuatan mata *CNC* yang dipilih sehingga memiliki sayatan yang halus.

III. METODE PENELITIAN

A. Alur Kerja Sistem

Rancang bangun rancang bangun *acrylic engraver and cutting machine* menggunakan *CNC milling 3 axis* berbasis mikrokontroler terdiri dari 3 tahap, yaitu perancangan perangkat keras (*Hardware*), perancangan perangkat lunak (*software*), dan pengujian kinerja alat.

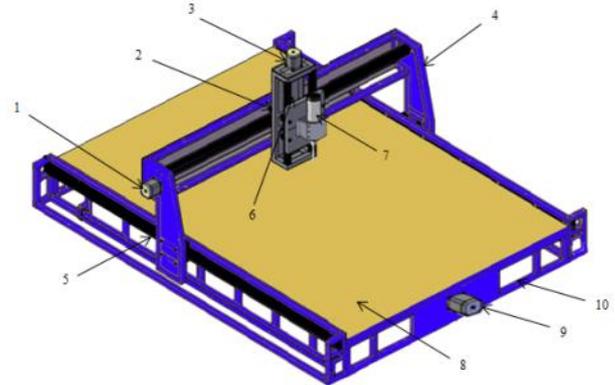


Gambar 6. Alur kerja sistem

1) Hardware

Pada bagian ini memperlihatkan prinsip kerja umum sistem yaitu dimulai dari *PC* yang berfungsi untuk mendesain mengkonversi file gambar menjadi file *G-code* yang terdiri dari koordinat. Selain itu, *PC* juga sebagai *interface* antara pengguna dengan alat agar pengguna dapat mengetahui kerja alat, setelah mendesain pada komputer dan diubah dalam bentuk *G-code* maka, *controller* menerima data *G-code* dari *PC* serta sebagai otak dari mesin untuk menjalankan aktuator. Untuk aktuator nya sendiri yaitu menggunakan *motor stepper* yang berfungsi sebagai penggerak alat pada sumbu x, y dan z. *Motor stepper* dikontrol oleh *controller* dengan menggunakan *driver stepper*. *Motor stepper* tersebut akan menggerakkan semua *axis* pada mesin.

Driver motor yang digunakan adalah *TB6600* untuk kontrol setiap *motor stepper*, sedangkan *motor spindle* digunakan untuk pengukiran pada akrilik. *Motor stepper x* digunakan untuk pergerakan kanan dan kiri pada sisi atas. *Motor stepper y* digunakan untuk pergerakan maju dan mundur pada sisi bawah. *Motor stepper z* digunakan untuk pergerakan ke atas dan ke bawah dengan dipasang *motor spindle* pengukir.



Gambar 7. Desain alat keseluruhan

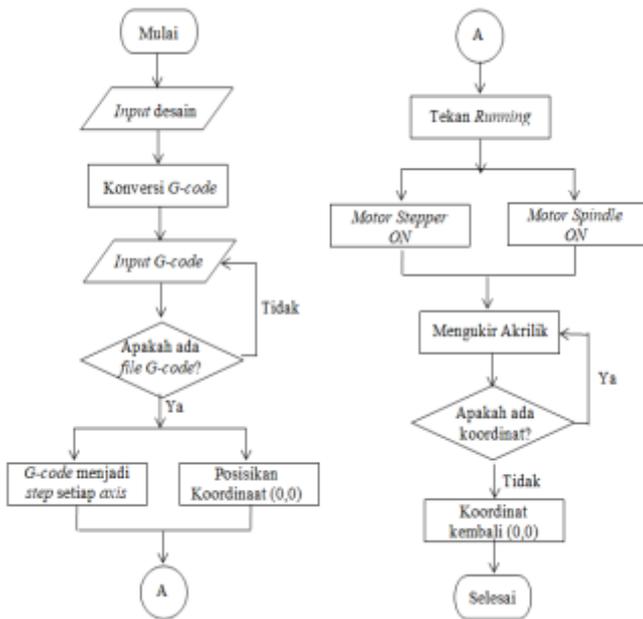
Desain alat keseluruhan pada gambar 7 diatas merupakan komponen utama pada desain mekanik *CNC 3 axis*. Adapun keterangan dari nomor yang ditunjukkan pada gambar sebagai berikut.

1. *Motor stepper* sumbu X
 2. Sistem penggerak *leadscrew* pada sumbu Y
 3. *Motor stepper* sumbu Z
 4. Penampang penggerak sumbu Y
 5. Sistem penggerak *leadscrew* pada sumbu Y
 6. Sistem penggerak *leadscrew* pada sumbu Z
 7. *Motor spindle*
 8. Alas dimensi kerja
 9. *Motor stepper* sumbu Y
 10. Besi kerangka utama
- 2) *Software*

Dalam menjalankan sebuah mesin *CNC 3 axis* membutuhkan beberapa *software* guna tercapai suatu perangkat yang dapat bekerja secara maksimal. Perangkat lunak merupakan aplikasi atau *software* yang digunakan untuk memprogram dan mengontrol proses jalannya mesin dalam mengerjakan suatu tugas. Perangkat lunak akan menunjang semua proses yang dilakukan oleh mesin. *Software* yang digunakan yaitu *aspire 9.0* dan *universal G-code sender*. Proses menggambar desain vektor, memilih pengaturan *toolpath* dan hingga menjadi suatu simulasi pengukiran dan pemotongan dilakukan pada *software aspire 9.0*. Desain yang dihasilkan disimpan dalam bentuk *G-code*. *Universal G-code sender* digunakan untuk memanggil *file G-code* yang disimpan sebelumnya untuk dijalankan sebagai perintah pergerakan *motor stepper*.

B. Flowchart Sistem

Alur pengujian cara kerja sistem mesin pengukir dan pemotongan akrilik dari awal desain hingga selesai dan menghasilkan suatu goresan atau ukiran dijelaskan dengan *flowchart sistem* berikut.



Gambar 8. Flowchart sistem kerja alat

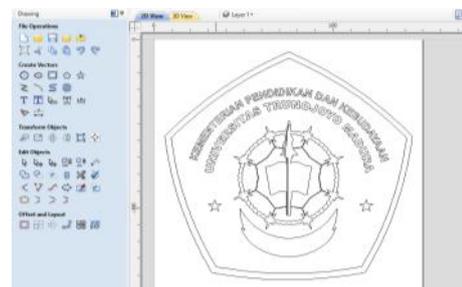
Pada *flowchart sistem* di atas memiliki beberapa tahapan-tahapan proses seperti *input* desain, konversi dari gambar ke *file G-code*, *G-code* menjadi *step* setiap *axis* pengaturan titik koordinat (0,0), sampai proses pengukiran dan pemotongan akrilik hingga selesai. *Input* desain merupakan sebuah proses desain gambar yang akan dibuat. *Input* desain ini juga terjadi proses memasukkan desain gambar ke *software* pengubah gambar *G-code* yaitu *Aspire 9.0* untuk dijadikan *file G-code*. Dari gambar yang telah dibuat dan telah dikonversikan ke *G-code* kemudian *input G-code* file ke *software Universal G-code Sender* sebagai kontrol dari *PC* ke mesin. Selanjutnya jika telah terdapat *file G-code*, maka terjadi proses *G-Code* menjadi suatu koordinat *step* pada setiap *axis*. Sebelum melakukan proses pengukiran, posisikan dan atur secara manual koordinat di titik (0,0) dan *reset zero* agar pengukiran dan pemotongan dilakukan pada titik yang telah ditentukan dilanjutkan dengan menekan tombol *running*. *Motor stepper* dan *motor spindle* akan aktif dan bekerja sesuai *G-code* yang telah dibuat. Ketika semua motor aktif maka pengukiran dan pemotongan dapat langsung dilakukan secara otomatis. Ukiran dan pemotong dilakukan sesuai desain yang telah dibuat, mesin akan terus bekerja sebelum seluruh *G-code* telah habis diselesaikan. Setelah pengukiran selesai dilakukan, maka sumbu *x*, *y*, dan *z* kembali ke titik (0,0) sesuai koordinat yang telah ditentukan sebelumnya.

C. Skenario Pengujian

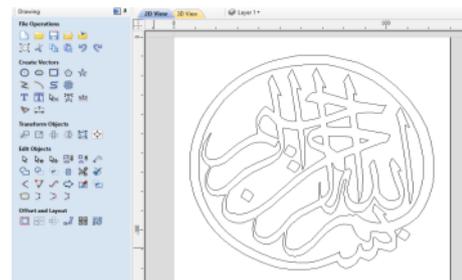
Pada pengujian kerja mesin *CNC 3-axis* dilakukan beberapa percobaan diantaranya yaitu mengukir dan memotong bangun datar untuk membuktikan tingkat ketelitian dan akurasi dari mesin *CNC* yang telah dibuat. Selanjutnya dilakukan 5 kali percobaan mengukir dan memotong diantaranya yaitu mengukir tulisan, mengukir logo, mengukir akrilik, memotong tulisan dan memotong bentuk gantungan kunci.



Gambar 9. Desain ukir nama pada *aspire*



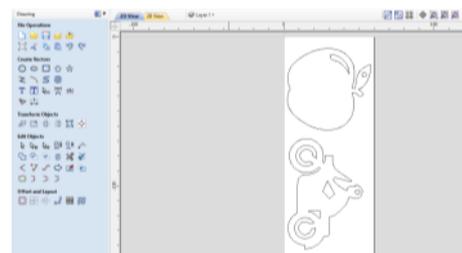
Gambar 10. Desain ukir logo pada *aspire*



Gambar 11. Desain ukir kaligrafi pada *aspire*



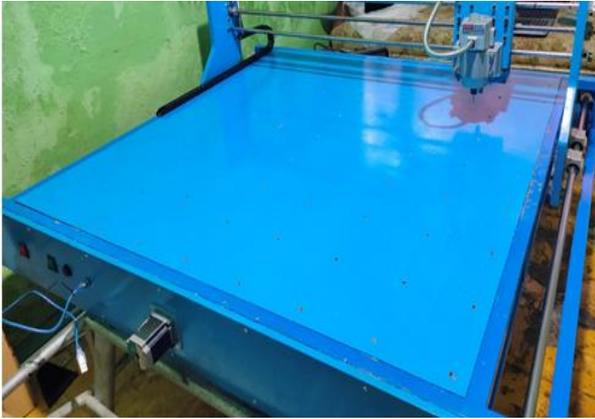
Gambar 12. Desain potong tulisan pada *aspire*



Gambar 13. Desain potong bentuk gantungan kunci pada *aspire*

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari penelitian yang telah dilakukan yaitu berupa rancangan alat untuk melakukan tugas mengukir dan memotong akrilik. Pada perancangan ini membahas tentang spesifikasi CNC yang telah dibuat. CNC yang telah dibuat akan dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan dari proses pengoperasian sampai memperoleh suatu benda berupa ukiran akrilik.



Gambar 14. Hasil Perancangan mesin CNC 3-axis

Pada gambar diatas merupakan hasil perancangan perangkat keras atau *hardware* yang digunakan pada CNC ukir akrilik. Dimana pada kerangka utamanya menggunakan besi *hollow* dengan ketebalan 2mm dan memiliki dimensi 25mm×25mm. Terdapat beberapa komponen yang digunakan pada CNC tersebut yaitu *power supply* yang memiliki kapasitas tegangan 24V dengan arus 10A sebagai penyuplai tegangan *driver motor stepper* sebagai *driver* yang terhubung pada aktuator berupa *motor stepper nema23*. Pada setiap *axis*-nya terdapat dua *stainless optical axis* atau as polos yang sejajar dengan *leadscrew*. Untuk *axis x* dan *y* menggunakan *leadscrew* dengan panjang 115cm, sedangkan untuk *z axis*-nya memiliki panjang 20cm.

A. Kalibrasi Motor Stepper

Konfigurasi pergerakan *motor stepper* sangat berpengaruh pada hasil yang diperoleh melalui pengukiran oleh *motor spindle*. Hasil ukiran yang dibuat harus memiliki tingkat kepresisian yang tinggi sesuai dengan desain yang dibuat. Oleh karena itu, sebelum mulai menjalankan mesin guna untuk melakukan proses pengukiran, perlu adanya suatu kalibrasi untuk menghasilkan nilai yang digunakan dalam menentukan tingkat ketelitian mesin. Sehingga perlu dilakukan kalibrasi *motor stepper* untuk mendapatkan nilainya.

Pada kalibrasi *motor stepper* ini, dilakukan perhitungan bagaimana cara menentukan pergerakan putaran *motor stepper* agar setiap 1 *step*-nya gerak dengan jarak 1mm. Sehingga pergerakan putaran *motor stepper* memiliki tingkat akurasi 1mm. Kalibrasi *motor stepper* dapat dihitung menggunakan persamaan berikut ini. [13]

$$Sm = \frac{Srev \times fm}{p \times Nt}$$

Dimana,

Sm = *stepper* milimeter

$Srev$ = jumlah *step* per putaran

fm = *microstep factor*

p = *pitch* pada *leadscrew*

Nt = jumlah *pitch* dalam satu *start*

Dari persamaan tersebut dilakukan perhitungan untuk menentukan pergerakan *motor stepper* agar menghasilkan 1mm pada setiap *step*-nya. *Driver motor* yang digunakan yaitu jenis TB6600 dengan pengaturan *mikrostep* yang digunakan yaitu 8, sehingga *pulsa/rev* yang digunakan yaitu 1600. *Leadscrew* yang digunakan pada mesin memiliki jenis T12 yang memiliki diameter 12mm, *pitch* 2mm dengan 4 *start*. [14] *Motor stepper* yang digunakan yaitu *Nema23* yang memiliki derajat sebesar 1.8° untuk 360° derajat. Sehingga diperoleh perhitungan sebagai berikut.

$$Srev = \frac{360^\circ}{1.8^\circ} = 200 \text{ step}$$

Jadi, untuk menentukan nilai mm per step dapat dihitung dengan persamaan diatas yaitu sebagai berikut.

$$Sm = \frac{Srev \times fm}{p \times Nt} = \frac{200 \times 8}{2 \times 4} = 200 \text{ step}$$

B. Firmware Settings

Pada *Universal G-code Sender* terdapat *firmware settings* untuk memasukkan hasil perhitungan. Simbol \$100, \$101, dan \$102 merupakan pengaturan pergerakan setiap 1 step pada motor stepper sumbu x, y, dan z. Dimana kita harus memasukkan nilai 200 pada \$100, \$101, dan \$102 tersebut. Berikut gambar *firmware settings* pada *Universal G-code Sender*.

Setting	Value	Description
\$100	200.000	X-axis travel resolution
\$101	200.000	Y-axis travel resolution
\$102	200.000	Z-axis travel resolution
\$110	300.000	X-axis maximum rate
\$111	500.000	Y-axis maximum rate
\$112	300.000	Z-axis maximum rate
\$120	10.000	X-axis acceleration
\$121	10.000	Y-axis acceleration
\$122	10.000	Z-axis acceleration
\$130	200.000	X-axis maximum travel
\$131	200.000	Y-axis maximum travel
\$132	200.000	Z-axis maximum travel

Gambar 15. Implementasi *setting firmware*

C. Analisis Hasil Percobaan

Pada pengujian mengukir pola garis persegi dilakukan lima kali percobaan dengan ukuran sisi yang berbeda-beda. Pengujian menggunakan mata *CNC end mill* berukuran 2mm. Dalam perhitungan tersebut dilakukan uji coba untuk menentukan kepresisian hasil ukiran dengan desain yang telah dibuat. Akrilik yang digunakan dalam pengujian memiliki ketebalan 3mm. Pengukiran dilakukan dengan ketebalan 1mm ke dalam.

Tabel 1. Hasil ukir bangun datar persegi

No	Gambar hasil ukir persegi	Dimensi desain (mm)	Dimensi hasil (mm)	Waktu
1		s = 20	s =20,6	28 detik
2		s = 25	s =25,1	34 detik
3		s = 30	s =30,1	43 detik
4		s = 40	s = 40	48 detik
5		s = 50	s =50,5	57 detik

Dari Tabel 1 diatas kemudian dicari persentase keberhasilan hasil pengukuran dengan menggunakan rumus berikut ini.

$$\text{persentase keberhasilan} = \frac{\text{Dimensi desain}}{\text{Dimensi hasil}} \times 100\%$$

$$\text{persentase keberhasilan 1} = \frac{20}{20,6} \times 100\% = 97,08\%$$

$$\text{persentase keberhasilan 2} = \frac{25}{25,1} \times 100\% = 99,6\%$$

$$\text{persentase keberhasilan 3} = \frac{30}{30,1} \times 100\% = 99,67\%$$

$$\text{persentase keberhasilan 4} = \frac{40}{40} \times 100\% = 100\%$$

$$\text{persentase keberhasilan 5} = \frac{50}{50,5} \times 100\% = 99\%$$

Persentase keberhasilan diatas membuktikan bahwa hasil percobaan pengukuran yang telah dilakukan memiliki kesalahan yang sangat kecil. Kesalahan terjadi biasanya terjadi karena mata *CNC* yang kurang tegak lurus pada *collet motor spindle*.

Selanjutnya dilakukan pengujian pemotongan bangun datar lingkaran dilakukan lima kali percobaan dengan ukuran sisi yang berbeda-beda. Pengujian menggunakan mata *CNC endmill* berukuran 3mm. Dalam percobaan tersebut berfungsi untuk menentukan kepresisian hasil ukiran dengan desain yang telah dibuat. Akrilik yang digunakan dalam pengujian memiliki ketebalan 3mm.

Tabel 2. Hasil potong bangun datar lingkaran

No	Gambar hasil potong lingkaran	Dimensi desain (mm)	Dimensi hasil (mm)	Waktu
1		d = 20	s =20,1	1 menit 53 detik
2		d = 25	s =25,1	2 menit 12 detik
3		d = 30	s =30,3	2 menit 30 detik
4		d = 40	s = 40,1	3 menit 14 detik
5		d = 50	s =50,2	3 menit 38 detik

Dari Tabel 2 diatas kemudian dicari persentase keberhasilan hasil pemotongan dengan menggunakan rumus berikut ini.

$$\text{persentase keberhasilan} = \frac{\text{Dimensi desain}}{\text{Dimensi hasil}} \times 100\%$$

$$\text{persentase keberhasilan 1} = \frac{20}{20,1} \times 100\% = 99,5\%$$

$$\text{persentase keberhasilan 2} = \frac{25}{25,1} \times 100\% = 99,6\%$$

$$\text{persentase keberhasilan 3} = \frac{30}{30,3} \times 100\% = 99\%$$

$$\text{persentase keberhasilan 4} = \frac{40}{40,1} \times 100\% = 99,75\%$$

$$\text{persentase keberhasilan 5} = \frac{50}{50,2} \times 100\% = 99,6\%$$

Persentase keberhasilan diatas membuktikan bahwa hasil percobaan pengukuran yang telah dilakukan memiliki kesalahan yang sangat kecil. Kesalahan terjadi biasanya terjadi karena mata *CNC* yang kurang tegak lurus pada *collet motor spindle*.

Pada pengujian ini, dilakukan percobaan mengukir huruf untuk dijadikan suatu produk papan nama. Lembar kerja yang digunakan berukuran 25cm×6cm. Dalam pembuatannya bahan yang digunakan yaitu akrilik berwarna putih solid yang memiliki ketebalan 3mm. Pada pengukiran tersebut menggunakan mata *CNC endmill* berukuran 3mm. *Setting feed rate* yang digunakan yaitu 300 untuk memperoleh hasil ukir yang

halus. Waktu yang diperlukan dalam pengukiran tersebut yaitu 16 menit 42 detik dengan perulangan ukiran 2 kali dengan kedalaman 0,5mm. Berikut ini ukir tulisan.



Gambar 16. Hasil ukir tulisan

Pembuatan ukiran logo memiliki detail yang lebih tinggi. Dalam percobaan kali ini, digunakan logo Universitas Trunojoyo Madura sebagai percobaan. Logo Universitas Trunojoyo Madura memiliki detail desain yang tinggi sehingga mata *CNC* yang digunakan harus memiliki ujung yang kecil. Oleh karena itu, digunakan mata *CNC* dengan jenis *v-bit engraving* dengan ukuran pemakan 0,5mm, sudut 60° dan *shaft* berukuran 3,175mm. berikut ini hasil ukir logo yang telah dihasilkan.



Gambar 17. Hasil ukir logo

Lembar kerja yang dibuat dalam desain memiliki ukuran 17cm×17cm dan desain logo memiliki ukuran 14cm×14cm. sebelum dilakukan pengukiran gambar dengan format *jpg* harus dirubah terlebih dahulu menjadi sebuah garis vektor.

Pengujian ukiran selanjutnya yaitu pembuatan ukiran kaligrafi memiliki akselerasi yang tinggi. Ukiran kaligrafi memiliki detail desain yang tinggi. Mata *CNC* dengan jenis *endmill* dengan ukuran 1mm. Desain yang digunakan dalam desain memiliki format *jpg*.



Gambar 18. Hasil ukir kaligrafi

Sebelum dilakukan pengukiran gambar, format gambar *jpg* harus dirubah terlebih dahulu menjadi sebuah garis vektor. Lembar kerja yang dibuat dalam desain memiliki ukuran 17cm×13,5cm dan desain

kaligrafi memiliki dimensi ukuran 11cm×11,5cm. Akrilik yang digunakan dalam pembuatan ukiran kaligrafi ini memiliki ketebalan 5mm berwarna bening. Hasil ukiran memiliki tekstur yang halus dan rapi.

Pada percobaan selanjutnya mencoba membuat produk berupa pemotongan nama. Mata *CNC* yang digunakan yaitu berjenis *end mill* berdiameter 1mm yang diharapkan bisa lebih presisi jika membuat sebuah produk. Ketebalan akrilik yang digunakan yaitu 3mm. Pada pemotongan nama terdapat 2 bagian yaitu yang pertama adalah huruf yang dipotong dan yang kedua yaitu pembuatan bayangan di belakang huruf.



Gambar 19. Hasil potong huruf

Lembar kerja yang digunakan yaitu $x = 200\text{mm}$, $y = 60\text{mm}$ dan $z = 3\text{mm}$. Dari percobaan tersebut mesin *CNC* melakukan pemotongan nama selama 17 menit 45 detik dan pemotongan bayangan selama 12 menit 45 detik. Dengan pengaturan *feed rate* 200 supaya mata *CNC* tidak mengalami kerusakan. Mata *CNC* yang digunakan yaitu berjenis *end mill* dengan diameter 1mm. Dengan menggunakan pengaturan tersebut mendapatkan hasil yang presisi.

Pada *software Aspire* dapat mengubah gambar berformat *PNG* menjadi format vektor sesuai dengan format *file* yang bisa dibaca untuk diubah dalam bentuk *G-code*. Lembar kerja yang digunakan yaitu $x = 60\text{mm}$, $y = 150\text{mm}$ dan $z = 3\text{mm}$. Ukuran gambar apel tersebut adalah 55mm×54mm. Ukuran gambar orang mengendarai motor tersebut adalah 73mm×50mm. Dari percobaan tersebut mesin *CNC* langsung memotong dua desain tersebut sekaligus dan melakukan pemotongan selama 20 menit 42 detik. Dengan pengaturan *feed rate* 200 supaya mata *CNC* tidak mengalami kerusakan. Dengan menggunakan pengaturan tersebut diharapkan akan mendapatkan hasil yang presisi. Akrilik yang digunakan berwarna merah bening. Berikut ini adalah hasil dari pemotongan gantungan kunci yang telah dibuat.



Gambar 20. Hasil produk gantungan kunci

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, implementasi dan pengujian pembuatan ukiran pada akrilik menggunakan *CNC engraving*, dapat ditarik kesimpulan rancang

bangun *CNC 3 axis* memiliki dimensi keseluruhan 130cm×120cm dengan dimensi kerja 98cm×95cm yang digunakan untuk ukir akrilik diharapkan dapat membantu proses ukir akrilik dengan cepat dan memiliki akurasi yang tinggi. Kalibrasi pergerakan *motor stepper* sangat berpengaruh pada hasil yang diperoleh, pergerakan putaran *motor stepper* harus memiliki tingkat ketelitian 1mm pada setiap *step*-nya. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, hasil pengukiran dan pemotongan akrilik dari alat ini memiliki persentase keberhasilan sebesar 97,08% sampai 100%. Desain yang dibuat berpengaruh pada ukuran dan jenis mata *CNC* yang akan digunakan untuk mendapatkan ketelitian dan akurasi yang tinggi. Hasil ukiran dan pemotongan yang telah dibuat perlu dilakukan *finishing* dengan cara menghaluskan permukaan ukiran yang kurang rata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Gumelar, "Rancang Bangun Cnc (Computer Numerically Controlled) PCB Layout Berbasis Mikrokontroler P- ISSN : 2302-3295," vol. 8, no. 3, 2020.
- [2] M. Jufrizaldy, "Rancang Bangun Mesin CNC Milling Menggunakan System Kontrol GRBL Untuk Pembuat Layout PCB," vol. 4, no. 1, 2020.
- [3] D. S. Widodo *et al.*, "Rancang Bangun Mesin CNC 3-Axis Berbasis Mikrokontroler Arduino," pp. 300–308, 2019.
- [4] A. S. dan K. Suharto, Kunto Purbono, "Grafir Batu Alam dengan Mesin CNC Router untuk Meningkatkan Ragam Produk Kreatif Indonesia," vol. 7, no. 2, pp. 1–7, 2017.
- [5] A. Eko and M. Darwis, "Rancang Bangun Mesin Laser Engraver and Cutter Untuk Membuat Kemasan Modul Praktikum Berbahan Akrilik," vol. 2, no. 1, pp. 40–50, 2020.
- [6] I. S. Harrizal, A. Prayitno, J. T. Mesin, U. Riau, K. Bina, and W. Panam, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin CNC Milling 3 axis Menggunakan Close Loop System," pp. 1–8, 2017.
- [7] M. Prashil, N. Patel, M. Shreyas, D. Pavagadhi, and S. G. Acharya, "Design and Development of Portable 3-Axis CNC Router Machine," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, pp. 1452–1455, 2019.
- [8] K. J. Madekar, K. R. Nanaware, P. R. Phadtare, and V. S. Mane, "Automatic mini CNC machine for PCB drawing and drilling," 2016.
- [9] R. Ginting, S. Hadiyoso, and S. Aulia, "Implementation 3-Axis CNC Router for Small Scale Industry," vol. 12, no. 17, pp. 6553–6558, 2017.
- [10] S. Samsiana and S. Marini, "Motor Stepper pada Mesin Labelling," vol. 1, no. 2.
- [11] A. Mujadin and D. Astharini, "Uji Kinerja Modul Pelatihan Motor Penunjang Mata Kuliah Mekatronika," *J. Al-AZHAR Indones. SERI SAINS DAN Teknol.*, vol. 3, no. 3, p. 127, 2017.
- [12] F. Ridwan and A. Novriheldi, "METAL : Jurnal Sistem Mekanik dan Termal Rancang Bangun Mesin CNC 2 Sumbu," vol. 02, pp. 91–98, 2017.
- [13] W. Abdi, "Rancang Bangun Woodworking CNC Machine (WCM) 3 Axis (X,Y,Z) Menggunakan Motor Stepper Mach3 PC Base," 2017.
- [14] Y. Dhaware, P. Palkuntwar, H. Narkhede, R. Meher, P. Chavan, and B. Gandevia, "Review on Comparative Analysis of Ball Screw & Lead Screw," no. June, pp. 769–772, 2019.
- [15] Addinul, Fahmi, haq "Mengatur Kecepatan Motor DC Spindle Berbasis PWM (Pulse Width Modulation) pada Mesin CNC Portable. 2017.