

Rancang Bangun Mesin CNC *Milling* 3 Axis Dengan Menggunakan Sistem Kontrol Android

Andy Mashinton¹, Hisnawati Hasan², Fakhirah Jilan Aqilah³, Nanang Roni Wibowo⁴, Ishak,⁵

^{1, 2, 3, 4, 5}Teknik Mekatronika, Politeknik Bosowa

^{1, 2, 3, 4, 5}JL.Kapasa raya, Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi selatan

E-mail : andymashinton20@gmail.com¹, hisnawatihasan398@gmail.com², fakhirahjilanaqilah@gmail.com³

Abstract

Abstract— *CNC machine is a cutting machine that is operated through a computer and can be run automatically which has been programmed into software, CNC machines are currently experiencing increasing needs in industry and education. In this research, a CNC milling tool is designed which has 3 axes and uses a stepper motor as an actuator, the microcontroller used in this machine is ATmega328p. This CNC machine can be used to engrave on wood, acrylic, PCB & ACP materials. This machine can be controlled via an android application. This CNC machine mechanic is more precise because it uses aluminum profiles and stainless steel linear shafts. The results of measuring the precision of wood, acrylic, ACP work pieces are 74 mm for the inner diameter size according to the design results in the software, the PCB work piece precision is 75x92mm.*

Keywords: *CNC Milling, Atmega328p, Android, Aspire*

Abstrak— Mesin CNC merupakan mesin potong yang dioperasikan melalui komputer dan dapat dijalankan secara otomatis yang telah diprogram kedalam perangkat lunak, mesin CNC saat ini mengalami peningkatan kebutuhan di bidang industri dan pendidikan. Pada penelitian ini dirancang suatu alat CNC *milling* yang memiliki 3 axis dan menggunakan motor *stepper* sebagai *actuator*, mikrokontroler yang digunakan pada mesin ini yaitu ATmega328p. Mesin CNC ini dapat digunakan untuk mengukir pada material kayu, akrilik, PCB & ACP. Mesin ini dapat dikontrol melalui aplikasi android, Mekanik mesin CNC ini lebih presisi karena menggunakan alumunium profil dan *linear shaft stainless steel*. Hasil pengukuran presisi benda kerja kayu, akrilik, ACP adalah sebesar 74 mm untuk ukuran diameter dalam sesuai dengan hasil desain di *software*, ke presisian benda kerja PCB yaitu ukuran 75x92mm.

Kata Kunci— *CNC Milling, Atmega328p, Android, Aspire*

I. PENDAHULUAN

Kemampuan mesin perkakas dalam menangani pekerjaan yang rumit dan waktu operasi yang singkat sebagai akibat dari perkembangan teknologi otomasi berbasis komputer dengan kemampuan numerik yang tinggi, sehingga dapat menghasilkan produk –produk dengan kualitas ketelitian tinggi, mesin pembuatan *PCB (Printed Circuits Board)* merupakan salah satunya dengan teknik engraving yang bekerja secara otomatis sesuai gambar yang diberikan. Mesin CNC digunakan untuk berbagai keperluan dalam memproduksi suatu alat. Dalam pengoperasiannya, mesin CNC ini sangat sederhana yang dapat memproduksi alat dengan skala besar dan secara massal. Mesin CNC dikontrol dengan komputer menggunakan bahasa numerik (angka) [1].

Meningkatnya perkembangan dan kebutuhan industri, institusi pendidikan tinggi dan sekolah

kejuruan terhadap mesin cnc di Indonesia lebih banyak didasari oleh munculnya teknologi grbl arduino yang bersifat bebas[2]. Kebutuhan mesin CNC diperlukan sebagai salah satu alat penunjang pekerjaan seksi *machinery heavy equipment* yang bertugas melakukan kegiatan pemeliharaan peralatan yang terkait dengan Penggantian *spare-part* mesin, dengan adanya mesin CNC *spare-part* dapat diproduksi sendiri [3].

Rancang bangun mesin CNC 3-axis berbasis mikrokontroler arduino, mesin CNC ini dibuat menggunakan jenis rangka *close frame structure* yang dirakit dengan komponen *ballscrew*, komponen *ballscrew* digunakan untuk merubah gerakan rotasi yang dihasilkan dari motor *stepper* menjadi gerak translasi untuk menggerakkan sumbu kerja mesin CNC, pengujian mesin CNC *milling* berupa kepresisian

mjarak yang ditempuh sesuai dengan input dan percobaan *milling* berbentuk gambar atau tulisan tertentu.

Rancang bangun *woodworking* CNC machine (WCM) 3 axis (X, Y, dan Z) menggunakan motor *stepper* mach3 pc base, perancangan mesin CNC kayu dilakukan dengan proses desain untuk menentukan dimensi mesin menentukan perhitungan untuk menentukan spesifikasi kebutuhan motor, hasil perancangan alat ini menggunakan *software* mach3 sebagai controller mesin dan menggunakan motor *stepper* sebagai penggerak mesin.

Beberapa *Road Map* diatas alat yang akan kami buat memiliki kelebihan tersendiri yaitu, di *Road Map* pertama mesin CNC yang dibuat menggunakan *controller* GRBL dengan hanya alat yang dibuat belum maksimal. Sedangkan alat yang dibuat sebelumnya belum maksimal maka dari itu kami akan mengembangkan alat ini, yang kami akan kembangkan yaitu mekanik, *electrical* dan kontrol berbasis android. *Road Map* kedua mesin CNC yang dibuat menggunakan mikrokontroler Arduino dengan hanya media percobaan berbentuk gambar atau tulisan tertentu. Sedangkan alat yang kami buat dengan media kerja kayu, PCB, dan akrilik. *Road Map* ketiga mesin CNC menggunakan motor *stepper* mach3 pc base dengan media kerja ukir kayu, sedangkan alat yang Akan kami buat benda kerja yang digunakan tidak hanya kayu akan tetapi untuk beberapa media kerja seperti akrilik, dan PCB.

Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian sebelumnya, dimana pada penelitian sebelumnya masih terdapat beberapa bagian yang masih perlu dikembangkan, diantaranya adalah sistem mekanisasi yang kurang presisi sehingga hasil benda kerja yang dibuat masih kurang bagus dan tidak akurat. Pada sistem mekanisasi penulis menambahkan Frame Aluminium Profile, dan Vibel yang akan membuat CNC *Milling* ini presisi. Untuk sistem kontrol kami menggunakan 2 sistem kontrol yaitu sistem kontrol Arduino Grbl dan sistem kontrol android, mesin CNC *milling* ini diharapkan bekerja sesuai dengan pola gambar benda kerja yang dibuat dan dilengkapi dengan panel control dan aplikasi yang digunakan di android untuk memudahkan pengoperasian.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Mesin CNC *Milling*

Mesin-mesin produksi saat ini sudah berkembang sesuai dengan tuntutan produksi yang semakin meningkat, salah satunya adalah mesin *milling* berbasis CNC. *Input* yang digunakan untuk menjalankan mesin *milling* CNC adalah program *numerical control*, program ini berupa serangkaian kode-kode yang dinamakan G-

Code. Mesin *milling* CNC dilengkapi dengan *operating panel* untuk memasukkan perintah G-Code, selain itu terdapat *main drive* yang berupa motor DC[4].

2.2 Android

Android adalah sistem operasi Linux yang dirancang untuk perangkat bergerak layar sentuh seperti telepon pintar dan komputer tablet. Android yang biasa disebut *smartphone* adalah salah satu produk Google yang laris, yang sangat pantas disebut dengan ponsel pintar. Karena android bukan hanya berfungsi sebagaimana ponsel pada umumnya dan bisa melakukan sesuatu hal yang tidak bisa dilakukan ponsel jenis lainnya. Dengan kata lain android bukan hanya dapat digunakan sebagai media komunikasi jarak jauh dan juga bisa melakukan hal mengagumkan lainnya. Fungsi android pada alat kami yaitu untuk sistem kontrol, adapun aplikasinya yang digunakan pada android yaitu Grbl *controller*[5].

2.3 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 (Anonim, 2019). 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.

Pada GRBL fungsi pembacaan perintah dari G-Code dibatasi dan hanya beberapa G-Code dasar saja yang dapat digunakan karena untuk menjaga *software* GRBL berjalan dengan lancar dan tetap stabil pada Arduino. Perintah G-Code akan didapat dari komunikasi serial yang ada pada Arduino dan biasanya menggunakan *software* pengirim perintah dari computer. Perintah-perintah G-Code dasar yang bisa digunakan pada GRBL terdapat pada tabel.

Tabel 1. G-Code dasar GRBL

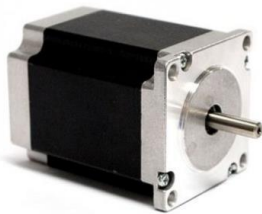
| Kode | Fungsi |
|------------|-------------------------------------|
| G0, G1 | <i>Linear Motions</i> |
| G2, G3 | <i>Arc and Helical Motions</i> |
| G4 | <i>Dwell</i> |
| G20, G21 | <i>Units mm/inch</i> |
| G28, G30 | <i>Go to Pre-Defined Position</i> |
| G53 | <i>Move in Absolute Coordinates</i> |
| M0, M2 M30 | <i>Program Pause and End</i> |

Penulisan G-Code memiliki pola penulisan yang sering digunakan sehingga pembacaan perintah oleh mesin dengan bantuan GRBL dapat dibaca dengan baik, contoh penulisan perintah G-Code G00 X5 Y3 Z0.5

memiliki keterangan perintah G-Code memiliki arti bergerak linier ke koordinat X yaitu 5mm, koordinat Y yaitu 3mm, dan koordinat Z yaitu 0,5mm. dengan perintah G00 memberikan perintah mesin untuk bergerak secara linier ke koordinat masing-masing X, Y dan Z. Satuan ukuran yang digunakan sebelumnya harus didefinisikan terlebih dahulu dengan perintah G21 yang memberikan parameter ukuran yang digunakan oleh mesin adalah menggunakan unit millimeter[6].

2.4 Motor stepper

Mesin CNC milling ini, menggunakan *motor stepper*, sebagai aktuator atau penggerak sumbu X, Y dan Z. Penentuan *motor stepper* didasarkan pada beban yang ditanggung oleh *motor stepper* dimana *motor stepper* menggerakkan sumbu X, Y dan Z, sehingga *motor stepper* tersebut dapat dikendalikan dengan cukup mudah dan memiliki ketelitian yang tinggi. Adapun motor yang digunakan pada mesin CNC milling ini adalah *motor stepper* jenis NEMA23 dengan Torsi 178.5 Oz-inch (1, 26 Nm), maka dengan demikian telah sesuai untuk digunakan sebagai penggerak sumbu X, Y dan Z [7].



Gambar 1. Motor Stepper

2.5 Driver Motor

Driver Motor merupakan komponen yang berfungsi untuk komunikasi *controller* dengan *actuator* serta memperkuat sinyal keluaran dari *controller* sehingga dapat dibaca oleh *actuator*. Dalam perancangan elemen kontrol ini *motor driver* yang kamgunakan adalah *Board TB6560* untuk mesin CNC 3 axis. *Driver motor stepper* juga memiliki beberapa *port* yang nantinya terhubung ke masing-masing *port* seperti *input signal*, *motor stepper*, *driver switch setting*, *DC power supply* [8].



Gambar 2. Driver Motor

2.6 Spindle

Spindle merupakan bagian dari mesin yang akan menjadi rumah *cutter*. *Spindle* inilah yang mengatur putaran dan pergerakan *cutter* pada sumbu Z. *Spindle* selanjutnya digerakkan oleh motor yang dilengkapi dengan sistem transmisi *belting* atau kopling. Bentuk *spindle* yang digunakan dalam mesin CNC milling ini. *Spindle* merupakan bagian yang sangat penting pada mesin CNC milling karena *Spindle* ini yang akan berkontak langsung dengan benda kerja. Dalam hal ini untuk perancangan mesin CNC maka *tool* yang akan digunakan adalah *Spindle Motor + ER11 Collet* dengan kecepatan putar 3.000-12.000 rpm dan daya sebesar 440 Watt. [9]



Gambar 3. Spindle

III. METODE PENELITIAN

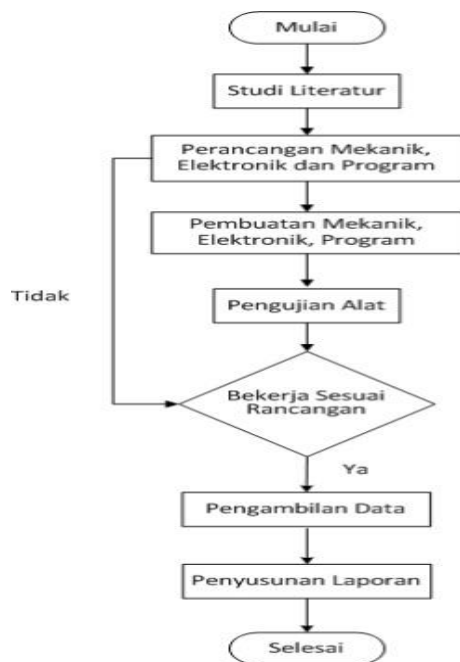
Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian eksperimental, dimana proses yang dilakukan terdiri atas perancangan dan pembuatan alat CNC Milling 3 Axis menggunakan GRBL yang selanjutnya dapat dikontrol melalui aplikasi Android di samping juga melalui komputer. Proses perancangan dan pembuatan yang dilakukan terdiri atas tiga bagian, yaitu: system mekanik, perangkat keras elektronik dan perangkat lunak untuk alat elektronik.

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian dimulai dariliteratur dengan mencari referensi- referensi yang berhubungan dengan masalah yang menjadi objek penelitian, sumber dari referensi ini didapatkan dari karya ilmiah.

Setelah melakukan studi literatur maka langkah selanjutnya yaitu perancangan mekanik dan elektronik , pada perancangan mekanik sistem software yang digunakan yaitu *Sketch up* sedangkan perancangan elektronik sistem software yang digunakan yaitu Eagle setelah itu dilakukan pembuatan sistem mekanik, elektronik dan proses pembuatan programnya, lalu dilakukan pengujian terhadap alat yang dibuat jika proses pengujian alat berhasil maka dilakukan pengambilan data. Setelah semua data terkumpul,

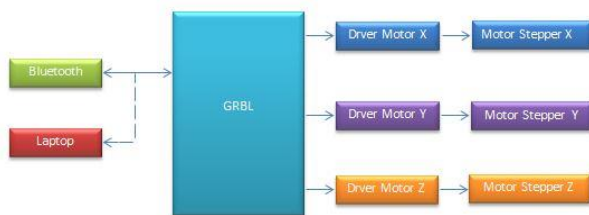
dilanjutkan dengan pembuatan artikel dan poster selaku syarat untuk mengikuti seminar tugas akhir selesai.



Gambar 4. Flowchart Penelitian

3.2 Diagram Blok Sistem

Diagram blok merupakan salah satu bagian terpenting dalam perencanaan pembuatan penelitian, adapun diagram blok dibawah ini yaitu:



Gambar 5. Diagram Blok Sistem

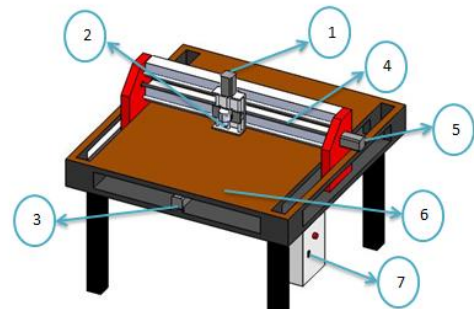
Keterangan:

Dari gambar diatas dapat dijelaskan prinsip kerja dari komponen yang terdapat pada mesin CNC Milling sebagai berikut:

1. Mikrokontroler berfungsi sebagai otak atau pusat pengolah data.
2. Software berfungsi untuk menjalankan mesin CNC secara otomatis
3. Driver motor berfungsi sebagai mengendalikan pergerakan motor stepper.

4. Motor stepper berfungsi sebagai penggerak actual terhadap sumbu pada mesin ini.
5. Bluetooth berfungsi sebagai penghubung android ke mesin CNC.

3.3 Rancangan Sistem Mekanik



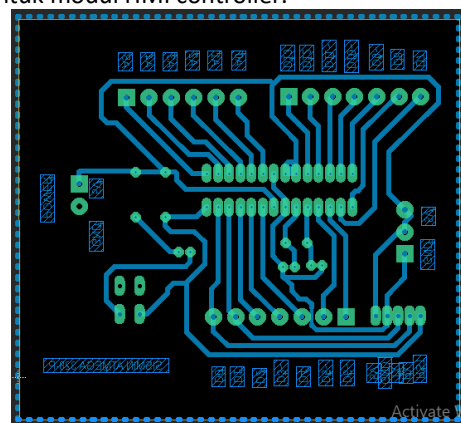
Gambar 6. Pandangan Isometric Mekanik Mesin CNC Milling

Keterangan

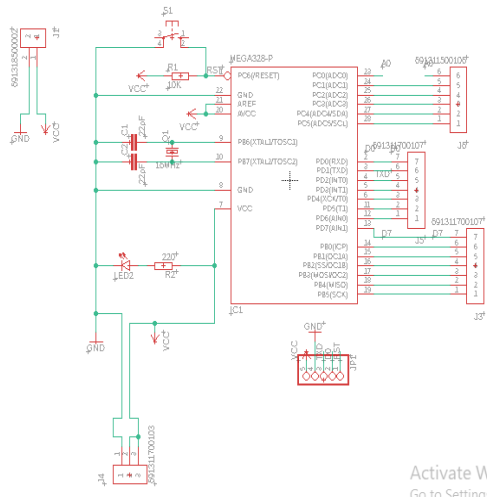
1. Motor axis Z, sebagai penggerak naik turun.
2. Spindle, mengatur putaran dalam pergerakan Cutter.
3. Motor axis X, sebagai penggerak maju mundur.
4. Lead screw, sebagai base motor axis Z.
5. Motor axis Y, sebagai penggerak kanan kiri.
6. Meja kerja, sebagai tempat penggerak kanan kiri.
7. Panel kontrol GRBL

3.4 Rancangan Sistem Electrical

Mikrokontroler berbasis AtMega328 sebagai alat penyimpanan data, kami menggunakan 2 microcontroller yang pertama untuk modul GRBL controller dan yang kedua untuk modul HMI controller.



Gambar 7. Sistem minimum layout mikrokontroler GRBL



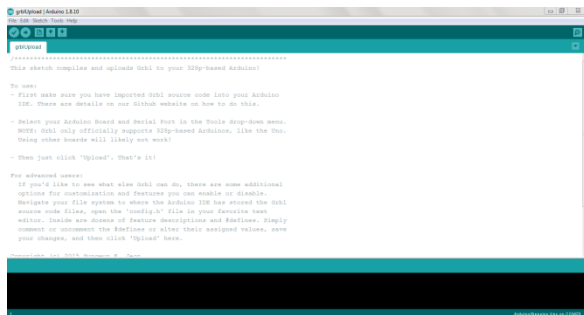
Gambar 8. Skematik mikrokontroler GRBL



Gambar 9. Hasil Keseluruhan tampak isometri

3.5 GRBL

GRBL adalah sebuah *software* untuk mengontrol gerakan pada sumbu X, Y dan Z yang dapat di unggah ke library Arduino. Pada dasarnya GRBL adalah sebuah hex file yang dapat di unggah ke Arduino agar dapat membaca perintah dalam G-Code.



Gambar 9. Library GRBL

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pembuatan Sistem Mekanik

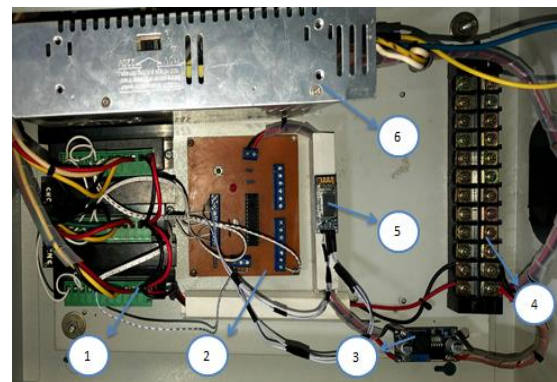
Hasil pengembangan mekanik penggerak pada mesin CNC *milling* yang kami buat menggunakan 3 motor stepper yang terdapat pada sumbu X, Y dan sumbu Z. Selain itu menggunakan aluminium profil untuk meningkatkan kepresisian pada sumbu. System kerja mesin menggunakan kontrol GRBL dan dapat dioperasikan melalui android. Adapun hasil mekanik pengembangan kami dapat dilihat pada gambar dibawah.

4.2. Hasil Pembuatan Sistem Electrical

Berikut adalah gambar hasil pembuatan sistem minimum atmega328p yang dibuat di software Eagle.



Gambar 10. Hasil mikrokontroler GRBL



Gambar 11. Panel GRBL

Keterangan:

1. Driver motor
2. Mikrokontroler
3. Step down
4. Terminal blok
5. HC06 (Bluetooth)
6. Power Supply

4.2 Pengujian Alat

4.2.1 Pengambilan Data

Tabel 2. Hasil Data Microstep

| Sumbu | Pulse Microstep | Nilai Candle | Step Program (mm) | Step Awal (mm) | Step Akhir (mm) |
|-------|-----------------|--------------|-------------------|----------------|-----------------|
| Z | 200 | 25 | 10 | 0 | 10 |
| XY | 200 | 200 | 10 | 0 | 10 |
| Z | 400 | 100 | 10 | 0 | 20 |
| XY | 200 | 200 | 10 | 0 | 20 |
| Z | 400 | 200 | 10 | 0 | 40 |
| XY | 200 | 300 | 10 | 0 | 20 |
| Z | 400 | 300 | 10 | 0 | 60 |
| XY | 200 | 400 | 10 | 0 | 40 |
| Z | 400 | 400 | 10 | 0 | 80 |

Pengambilan data yang dilakukan pada penelitian ini yaitu, penyesuaian titik step yang dilakukan sebanyak 8 kali. Pada sumbu Z memiliki pulse *micro step* 200 nilai candle atau nilai kalibrasi ini didapat dengan menggunakan rumus. Pada step program ditentukan nilai step 10mm maka step awal 0mm dimana 0mm itu kondisi awal *spindle*/mata *spindle* dan pada step akhir memiliki nilai 10mm sama dengan step program seperti juga dengan sumbu XY memiliki pulse *micro step* 200, nilai *candle* atau nilai kalibrasi ini didapat dengan menggunakan rumus. Pada step program di tentukan nilai step 10 mm maka step awal 0 mm dimana 0 mm itu kondisi awal *spindle*/mata *spindle* dan pada step akhir memiliki nilai 10mm sama dengan step program maka dari itu alat yang kami buat presisi. Sedangkan nilai error sumbu X, Y, Z pada pulse *micro step* Z 400 sampai dengan XY tidak sesuai dengan step program dan step akhir maka dari itu kami menentukan nilai candle yang harus digunakan. Adapun persamaan atau cara mencari nilai candle yaitu:

$$\text{Micro step} = 1$$

$$\text{Pulse} = 200$$

$$\text{Stepper} = 360^\circ$$

$$\text{Deg} = 1, 8$$

$$\frac{\text{stepper}}{\text{deg}} = \frac{360^\circ}{1,8} = 200$$

Jadi nilai *stepper* = 200

Stepper X micro step

$$= 200 \times 1$$

$$= 200$$

Ditch ulir 2 mm x 4 star = 2 X 4

$$= 8$$

$$\frac{200}{8} = 25 \text{ step/mm}$$

Jadi nilai pada sumbu Z = 25 step/mm

Ditch ulir 1mm x 1 star = 1 X 1

$$= 1$$

$$\frac{200}{1} = 200 \text{ step/mm}$$

Jadi untuk nilai pada sumbu X, Y = 200 step/mm

Tabel 3. Hasil Step Axis Z

| Step Program (mm) | Step Awal (mm) | Step Akhir (mm) |
|-------------------|----------------|-----------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 5 | 0 | 5 |
| 10 | 0 | 10 |
| 15 | 0 | 15 |
| 20 | 0 | 20 |

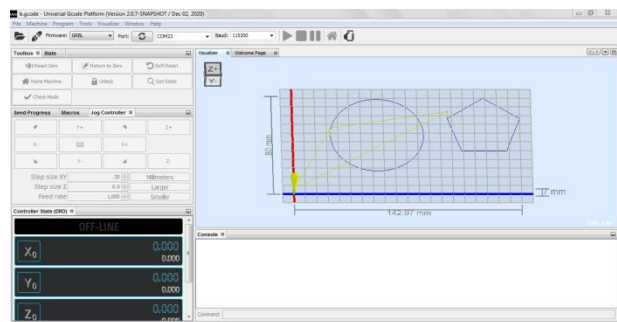
Pengambilan data yang kedua pada penelitian ini yaitu penyesuaian step sumbu Z pada saat step program di beri nilai 5 mm maka step awalnya 0 mm dan pada saat step akhir 5 mm maka sumbu Z sudah presisi atau sesuai.

Tabel 4. Hasil Step Axis X dan Y

| Step Program (mm) | Step Awal (mm) | Step Akhir (mm) |
|-------------------|----------------|-----------------|
| 0 | 0 | 0 |
| 10 | 0 | 10 |
| 20 | 0 | 20 |
| 30 | 0 | 30 |
| 40 | 0 | 40 |
| 50 | 0 | 50 |
| 100 | 0 | 10 |

Pengambilan data yang kedua pada penelitian ini yaitu penyesuaian step sumbu X dan Y pada saat step program 10 mm maka step akhir 10 mm maka sumbu X dan Y sudah presisi tetapi kami mendapatkan nilai error dari step program 100mm step akhir yang kami dapatkan 10mm seharusnya 100mm karena pada sumbu X dan Z batas pergerakannya yaitu 0- 50 mm.

Desain benda kerja menggunakan software Aspire 9.506. Ketebalan pengerjaan benda kerja pada proses desain diberikan 3 mm.



Gambar 12. Desain benda kerja

Adapun tabel pembuatan benda kerja menggunakan mata pahat Vbit dengan ukuran 7. 96 mm, yaitu

Tabel 5. Benda Kerja

| Jenis benda kerja | Ketebalan (mm) | Panjang (mm) | Time (s) | Diameter luar (mm) | Diameter Dalam (mm) |
|-------------------|----------------|--------------|----------|--------------------|---------------------|
| Kayu | 15 | 220 | 110 | 74 | 73 |
| Akrilik | 5 | 210 | 93 | 74 | 63 |
| ACP | 4 | 230 | 88 | 74 | 63 |

| Jenis benda kerja | Ketebalan (mm) | Panjang (mm) | Time (s) | Nilai hasil (mm) |
|-------------------|----------------|--------------|----------|------------------|
| PCB | 1.3 | 10 | 218 | 75x92 |

Berikut adalah hasil dari pembuatan benda berdasarkan jenisnya.

1) Bahan Kayu



Gambar 13. Benda Kerja Dari Bahan Kayu

2) Bahan Akrilik



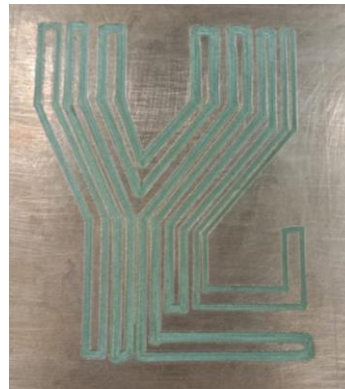
Gambar 14. Benda Kerja Dari Bahan Akrilik

3) Bahan ACP (Aluminium Composite Panel)



Gambar 15. Benda Kerja Dari Bahan ACP

4) Bahan PCB



Gambar 16. Benda Kerja Dari Bahan PCB

Hasil pengujian dengan menggunakan beberapa benda kerja dengan desain yang sama memiliki perbedaan waktu penyelesaian, dimana benda kerja PCB proses pengerjaan memakan waktu lebih lama dibanding yang lain.

Software yang digunakan pada android, yaitu GRBL Controller. Software ini berfungsi sebagai pembuat G-code secara otomatis dengan cara memasukkan gambar dari software aspire selain itu di dalam software GRBL controller mampu menggerakkan setiap sumbu X,Y dan Z dan juga dapat mengatur step sumbu X,Y dan Z.



Gambar 17. Monitoring menggunakan Android

V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Adapun kesimpulan dari proses pengembangan alat ini yaitu:

1. Mekanik mesin CNC lebih presisi dari sebelumnya dengan menggunakan alumunium profil dan *linear shaft stainless steel*. Adapun hasil dari pengukiran benda kerja kayu, akrilik, ACP sama dengan hasil desain di software aspire dengan ukuran diameter luar 74 mm dan diameter dalam 73 mm. adapun hasil pengukiran benda kerja PCB dengan ukuran 75x92 mm.

2. Penggunaan dua *controller* pada mesin CNC *Milling*. *Controller* pertama sebagai input G-Code dan *controller* kedua sebagai pengontrol manual 3 axis.
3. Pembuatan benda kerja dapat dilakukan melalui android dengan *software* GRBL kontroler dan hasil dari pembuatan kerja sama persis dengan desain pada *software*. Ukuran diameter luar 74 mm dan diameter dalam 73 mm. dan adapun benda kerja lainnya dapat dilihat pada tabel 5.

5.2 Saran

Adapun saran dari proses pengembangan selanjutnya yaitu :

1. Penambahan *limit switch* pada setiap sumbu untuk mengembalikan titik awal (titik 0).
2. Penambahan *relay* pada *spindle* untuk pengaturan otomatis.

5.3 Ucapan Terima Kasih

Ucapan Terima kasih kepada Allah SWT atas segala hikmah dan karunianya, serta kepada pembimbing dan segenap dosen Teknik Mekatronika yang telah membantu serta membimbing dalam mengerjakan Tugas Akhir ini, dan teman-teman Teknik Mekatronika yang telah membantu memberikan arahan dan masukannya. Tidak lupa kami ucapkan Terima kasih kepada kedua orang tua kami yang senantiasa memberikan bantuan materi sertadoa yang tidak henti-hentinya mengalir demi kelancaran penelitian ini.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. S. H. Muhammad Rizqi Aulia Hasibuan, "Rancang Bangun Mesin CNC Milling 3-Axis Untuk Anggrave Pcb Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Elektro*, vol. 3, no. 1, pp. 40-47, 2019.
- [2] F. B. Al Imran, "Rancang Bangun Mesin CNC Milling," *Politeknik Bosowa, Teknik Mekatronika*, pp. 1-6, 2019.
- [3] A. S. M. G. M. M. R. J. D. Dwi Setiawan Widodo, "Rancang Bangun Mesin CNC 3-Axis Berbasis Mikrokontroler Arduino," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin*, pp. 300-308, 2019.
- [4] I. M. Muhammad Jufrizaldy, "Rancang Bangun Mesin CNC Milling Menggunakan System Kontrol Grbl Untuk Pembuatan Layout Pcb," *Jurnal Mesin Sains Terapan*, vol. 4, no. 1, pp. 37-44, 2020.
- [5] Y. Rahmatullah, "Perancangan Dan Pembuatan Jig Untuk Proses Drilling Pada CNC Router," *Jurnal Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya*, pp. 105-110.
- [6] I. S. Harrizal, "Rancang Bangun Sistem Kontrol Mesin Cnc Milling 3 Axis Menggunakan Close Loop System," *JOM FTEKNIK*, vol. 4, no. 2, pp. 1-8, 2017.
- [7] T. P. Astuti, "Perancangan Dan Pembuatan Kontrol Monitoring Suhu Secara Otomatis Dalam Budidaya Jamur Tiram Berbasis Arduino Uno," *Universitas Sumatera Utara*, pp. 1-72, 2017.
- [8] A. Gumelar, "Rancang Bangun Mesin CNC Milling Menggunakan System Kontrol Grbl Untuk Pembuatan Layout Pcb," *Jurnal Vocational Teknik Elektronika dan Informatika*, vol. 4, no. 1, pp. 37-44, 2020.
- [9] W. A. Wibowo, "Design Woodworking CNC Machine (Wcm) 3 Axis (X,Y, And Z) Using Stepper Motor Mach3 Pc Base," *Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2017.
- [10] P. R. P., "Perancangan Client Server Pada Sistem Antar Muka Serta Proses Kalibrasi Sumbu Y Mesin Cnc Portable," *ITS Institusi Teknologi Sepuluh November*, 2017.