

Rancang Bangun Electrical Mesin Potong Logam Plasma CNC 3 Axis

Khairil Zain ^{1, a}, Rudi Suhradi Rachmat ^{2, b}, Wahyono Sapto Widodo ^{3, c}

^{1, 2, 3} Program Studi Teknik Mesin, President University, Jababeka Education Park, Jl. Ki Hajar Dewantara, Mekarmukti, North Cikarang, Bekasi

^a khairil.zain@student.president.ac.id, ^b rudi.sr@president.ac.id, ^c wahyono.widodo@president.ac.id

Abstrak.

Computerized 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. Perancangan mesin CNC 3 Axis dilakukan dengan proses desain untuk menentukan dimensi mesin, menentukan perhitungan untuk menentukan spesifikasi kebutuhan motor. Dilanjutkan dengan perancangan wiring elektrik untuk memilih spesifikasi kontroler yang digunakan, dan dilanjutkan pengujian kepresisian alat pada saat uji alat. Hasil perancangan alat ini menggunakan software Mach3 sebagai controller mesin dan menggunakan motor stepper sebagai penggerak mesin. Rancang Bangun Mesin Plasma CNC Machine (WCM) 3 Axis (X, Y dan Z) Menggunakan Motor Stepper Mach3 PC Base ini bahwa sistem kontroler menggunakan software Mach3 mempunyai konfigurasi mudah karena ada fitur auto tuning pada tiap axis untuk menentukan kepresisian jarak. Dengan menggunakan software Mach3 tidak memerlukan banyak biaya karena dapat didownload di internet.

Kata kunci: CNC, Fabrikasi, Mesin Potong Plasma, Rancang Bangun, Mach3

Abstract.

Computerized Numerical Control (CNC) is one of the developments in machining technology that is operated automatically which can support the demand for a product that has a complex shape, high accuracy and can work on objects that cannot be done with conventional machining. The design of the CNC 3 Axis machine is carried out with a design process to determine machine dimensions, determine calculations to determine motor requirements specifications. Followed by electrical wiring design to select the specifications of the controller used, and continued with testing the precision of the tool when testing the tool. The results of the design of this tool use Mach3 software as a machine controller and use a stepper motor as a motor drive. 3 Axis (X, Y and Z) Plasma CNC Machine (WCM) Design Using a Mach3 PC Base Stepper Motor that the controller system using Mach3 software has easy configuration because there is an auto tuning feature on each axis to determine distance precision. Using Mach3 software does not require a lot of cost because it can be downloaded on the internet.

Keywords: HP Heater, Maintenance, Plugging, Efficiency

Pendahuluan

Pada era dunia industri modern saat ini, menuntut sebuah perusahaan agar meningkatkan inovasi dan kemampuan untuk membuat produk yang berdaya saing secara global. Hal ini erat kaitannya dengan beberapa aspek yaitu proses industri yang lebih cepat serta lebih efisien dengan tidak mengabaikan faktor keselamatan dan keamanan bagi pekerja, mesin juga peralatan yang digunakan. Salah satu faktor untuk menunjang kelancaran penyediaan mesin dan peralatan pada dunia industri adalah adanya peran para pelaku usaha fabrikasi lokal yang menyediakan berbagai jenis jasa fabrikasi pembuatan mesin dan peralatan. Tetapi salah satu proses fabrikasi yaitu pemotongan logam masih menggunakan cara yang konvensional dikarenakan harga mesin CNC yang tidak terjangkau sehingga mengakibatkan tingkat kecepatan produksi dan keakuratan produk yang masih rendah.

Pada penelitian ini penulis melakukan rancang bangun mesin potong plasma CNC yang harganya lebih terjangkau oleh para pelaku industri kecil. Mesin pemotong logam plasma adalah proses pemotongan logam konduktif dengan cara gas yang dipanaskan oleh busur listrik untuk membentuk sinar plasma yang mampu melelehkan logam seketika. Kombinasi panas plasma, tekanan dan aliran gas terkonsentrasi membentuk mekanisme pemotongan plasma yang meleleh melalui ketebalan material kemudian tekanan gas menghilangkan lelehan material yang mencair. Metode pemotongan logam plasma ini di kolaborasikan dengan proses pergerakan yang terprogram sistem CNC, sehingga hasil pemotongan menjadi lebih cepat, presisi dan tingkat keamanan yang lebih baik dibandingkan dengan cara konvensional.

Metode yang digunakan dalam penelitian rancang bangun *CNC Plasma Cutting* ini adalah sistem kontrol menggunakan Mach3 PC base, setiap axis (X, Y dan Z) menggunakan satu unit *stepper motor*, meja untuk benda kerja menggunakan knob baut pada setiap sudutnya untuk mengatur kerataan benda kerja terhadap torch plasma dengan mudah serta penambahan *drain valve* pada bagian bawah meja benda kerja agar proses pengurasan air tumpangan dapat dilakukan dengan cepat, bagian *head* sumbu Z dirancang multifungsi agar dapat digunakan untuk proses fabrikasi CNC lainnya seperti *milling engraving* dan *laser fiber cutting*. Kemudian pada bagian kaki mesin menggunakan *swivel casters* dan *fixed casters* agar mesin dapat dipindahkan posisinya secara mudah dan aman.

Tinjauan Pustaka

Penelitian terkait rancang bangun mesin potong logam CNC juga diteliti oleh Saiful Irfan dan Rusiyanto [1]. Pada penelitian dan pengembangan ini menggunakan model Perancis. Model ini memiliki 8 langkah yang digunakan untuk menghasilkan desain potongan plasma CNC. Teknik analisis data yang digunakan adalah teknik analisis statistik deskriptif yang diperoleh dari hasil pengujian yang dilakukan. Pengujian faktor keamanan dilakukan dengan menggunakan software Autodesk Inventor 2015 dengan rangka 110,54 N. Hasil pemotongan presisi dilakukan sebanyak tiga kali menggunakan instrumen yang sama, 20 arus dengan kecepatan 400 mm/menit, terhadap material ST 37 dengan ketebalan dari 1,3mm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rangka dikategorikan aman karena nilai faktor keamanan minimum 4,23 ul dan hasil uji potong menunjukkan rata-rata pengukuran dengan simpangan maksimum 0,3 mm, sehingga dapat disimpulkan bahwa pemotongan CNC plasma memiliki toleransi. laju $\pm 0,3$ mm.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Aditya Wahyu Nugroho [4] yang melakukan penelitian tentang Rancang Bangun Mesin PC Based CNC Milling Tiga Sumbu (Sistem Kontroler dan Analisa Torsi Motor Stepper). Pada penelitian ini menggunakan sistem kontroler dan analisa motor stepper. Sistem kontroler disini dikendalikan dengan software Artsoft Mach3, dan analisa pada motor stepper yang ditinjau adalah kekuatan torsi. Dari hasil perancangan sistem kontroler didapatkan hasil sebuah program yang dapat menggerakkan semua sumbu pada mesin dan wiring diagram rangkaian kontrol. Sedangkan untuk hasil perhitungan torsi, didapatkan hasil torsi beban pada sumbu X, Y, dan Z sebesar 1,98 Nm, 0,71 Nm, dan 7,78 Nm. Sedangkan torsi maksimum pada motor stepper X, Y, dan Z adalah 11,5 Nm, 2,28 Nm, dan 11,5 Nm. Sehingga motor stepper dinyatakan aman.

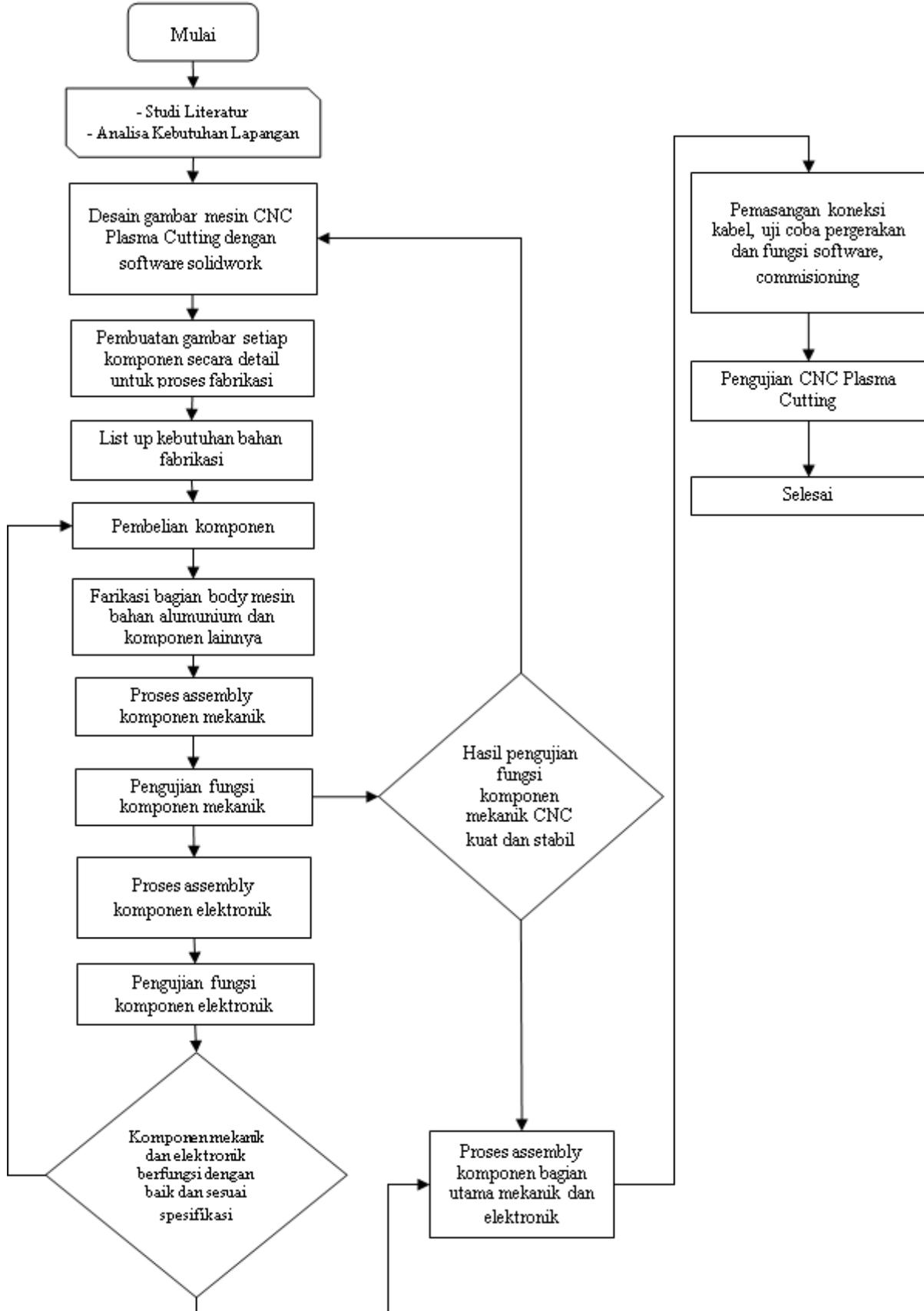
Pada penelitian lain pula yang dilakukan oleh W. A. Wibowo [3] Pada penelitian ini dilakukan dengan perancangan mesin CNC kayu dilakukan proses desain untuk menentukan dimensi mesin, menentukan perhitungan untuk menentukan spesifikasi kebutuhan motor. Dilanjutkan dengan perancangan wiring elektrik untuk memilih spesifikasi kontroler yang digunakan, dan dilanjutkan pengujian kepresisian alat pada saat pengukuran. Hasil perancangan alat ini menggunakan software Mach3 sebagai kontroller mesin dan menggunakan motor stepper sebagai penggerak mesin. Hasil pengukuran backlash pada mesin rata-rata sebesar 0,2 mm. Rancang Bangun Mesin Woodworking CNC Machine (WCM) 3 Axis (X,Y dan Z) Menggunakan Motor Stepper Mach3 PC Base ini bahwa sistem kontroler menggunakan software Mach3 mempunyai konfigurasi mudah karena ada fitur auto tuning pada tiap axis untuk menentukan kepresisian jarak. Dengan menggunakan software Mach3.

Sebagai pelengkap kajian pustaka dalam jurnal ini, penulis juga mengkaji penelitian dari A B. Hendrawan & N. A. Ariyanto [2]. Dalam penelitian tersebut menerangkan bahwa mesin cnc router yang akan dibangun menggunakan 3 axis dalam pengoperasiannya dan bersifat portable yang bertujuan untuk mempermudah dalam penempatan. Mesin router ini memiliki kapasitas yang terbatas dalam ukuran bahan baku yang digunakan. Dalam jurnal ini, akan dibahas mengenai perencanaan desain mesin *cnc router*, dan bagian-bagian mekanik yang bergerak. Dalam perancangan ini perlu dilakukan suatu analisis untuk memastikan hasil perancangan dapat digunakan. Bila dahulu proses perancangan suatu mesin dilakukan dengan cara “*trial and error*” hingga diperoleh hasil yang optimal, maka saat ini rancang bangun mesin dilakukan dengan proses komputerisasi dalam hal ini mesin *cnc router 3axis* dirancang dengan menggunakan software Autodesk Inventor. Dan material rangka mesin yang dipakai adalah material pelat jenis SS400 dan besi hollo.

Dari berbagai penelitian yang dilakukan diatas tentang rancang bangun mesin router ataupun mesin plasma CNC PC base, maka penulis perlu melakukan beberapa perbaikan atau improvement terkait rancang bangun mesin potong logam plasma CNC yang akan dilakukan yang salahsatunya adalah dengan metode sistem kontrol menggunakan Mach3 PC base, setiap axis (X, Y dan Z) menggunakan satu unit *stepper motor*, meja untuk benda kerja menggunakan knob baut pada setiap sudutnya untuk mengatur kerataan benda kerja terhadap torch plasma dengan mudah serta penambahan *drain valve* pada bagian bawah meja benda kerja agar proses pengurusan air tumpangan dapat dilakukan dengan cepat, bagian *head* sumbu Z dirancang multifungsi agar dapat digunakan untuk proses fabrikasi CNC lainnya seperti *milling engraving* dan *laser fiber cutting*. Kemudian pada bagian kaki mesin menggunakan *swivel casters* dan *fixed casters* agar mesin dapat dipindahkan posisinya secara mudah dan aman.

Metode Penelitian

Metode penelitian yang akan digunakan penulis untuk mencapai proses rancang bangun ini dapat digambarkan pada diagram alir di bawah ini :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Pada tahapan rancang bangun mesin potong logam plasma CNC ini terdapat beberapa tahapan diantaranya adalah sebagai berikut :

1. *Design Modeling*

Tahap ini diawali dengan menentukan ukuran dan model mesin seperti apa yang dibutuhkan di dunia industri fabrikasi dan perbengkelan agar mesin potong logam CNC plasma ini menjadi alat bantu potong yang praktis, presisi dan harga yang terjangkau. Pada tahap awal ini peneliti mengkaji dan menentukan perangkat serta material yang diperlukan untuk proses fabrikasi. Untuk proses design dan analisa setiap *part* yang dibutuhkan untuk pembuatan mesin ini menggunakan software *Solidworks 2019*.

2. *List up part*

Kegiatan yang dilakukan pada tahap ini adalah mendata semua bahan dan alat yang akan digunakan dalam perancangan mesin potong logam CNC plasma. Pada proses pendataan ini didukung dengan penggunaan alat bantu Spreadsheet format excel agar update proses pendataan dapat dilakukan secara real time.

3. Pembelian bahan

Setelah semua bahan dan peralatan sudah didata dengan baik dan pemastian bahan yang tersedia dapat dibeli dengan mudah dan cepat, maka dilakukan pembelian bahan yang sesuai dengan jadwal pekerjaan fabrikasi secara berurutan dan sistematis agar tidak terjadi kesalahan pada saat proses fabrikasi maupun *assembly*.

4. Fabrikasi

Tahapan fabrikasi merupakan tahapan proses pembuatan, pemasangan serta penggabungan /*assembly* setiap bahan yang diperlukan pada setiap unit bagian mesin potong logam CNC plasma ini. Proses fabrikasi dilakukan dengan berbagai cara dan tahapan yaitu *cutting material, drill, milling, grinding, welding, brushing* dan *finishing*. Pada proses ini pula dilakukan pengujian fungsi dan pergerakan mekanikal setiap unit bagian mesin yang dibuat, serta semua proses fabrikasi ini dilakukan di lab prodi mesin President University dengan protokol kesehatan dan keselamatan yang memadai.

5. *Assembly*

Assembly merupakan tahapan dimana setiap unit mesin mekanik yang telah di fabrikasi digabungkan dengan perangkat kelistrikan dan *control*. Proses *assembly* tahapan ini meliputi pemasangan *stepper motor, connection wiring* antara *stepper motor* dengan *drive unit, power supply, breakout board* dan *PC unit*.

6. Commisioning & Testing

Pada tahapan terakhir proses pembuatan mesin potong logam CNC plasma ini adalah pengujian fungsi dari setiap unit dan perangkat dapat bekerja dengan baik, dari segi *mechanical* maupun *electrical equipment*. Pada tahapan ini pula dilakukan pengujian terhadap benda kerja apakah mesin dapat melakukan pemotongan plat besi dapat sesuai dengan pola pada design yang sudah dibuat. Pengujian ketahanan setiap unit juga dilakukan pada tahapan ini agar mengetahui kemampuan dan kapasitas mesin.

Adapun alat dan bahan yang digunakan untuk membuat wiring electical mesin potong logam plasma CNC ini disajikan dalam tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Alat dan bahan pembuatan mesin potong logam plasma CNC

No	Nama Bahan	Jumlah	Satuan
1	Stepper motor NEMA 23	3	Unit
2	PC Windows 10	1	Pcs
3	USB Cable	1	Pcs
4	Gunting	1	pcs
5	Power supply 220V	1	Unit

6	Drive TB6600	3	Unit
7	Breakout board Mach3 USB	1	Unit
8	LM guide	1	Pcs
9	Monitor	1	Pcs
10	Mouse	1	Pcs
11	Limit Switch	6	Pcs
12	Emergency Stop Button	1	Pcs
13	Kabel Serabut 0.7 mm Merah	10	M
14	Kabel Serabut 0.7 mm Hitam	10	M
15	Kabel Serabut 0.7 mm Biru	10	M
16	Kabel Serabut 0.7 mm Kuning	10	M
17	Kabel Serabut 0.7 mm Hijau	10	M
18	AVO Meter Sanwa	1	Pcs
19	Isolasi cable	2	Pcs
20	Software Mach3	1	Pcs

Hasil dan Pembahasan

- **Perancangan Komponen Mekanik**

Perlengkapan komponen utama mekanik yang digunakan untuk membuat mesin potong logam plasma CNC ini memiliki beberapa fungsi kerja diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. Kerangka utama

Kerangka utama pada mesin ini berfungsi sebagai tumpuan utama sliding rail aluminium profil CNC. Kerangka menggunakan besi holo material SS400 yang dibentuk dengan proses pengelasan.

- b. *Aluminium Profile*

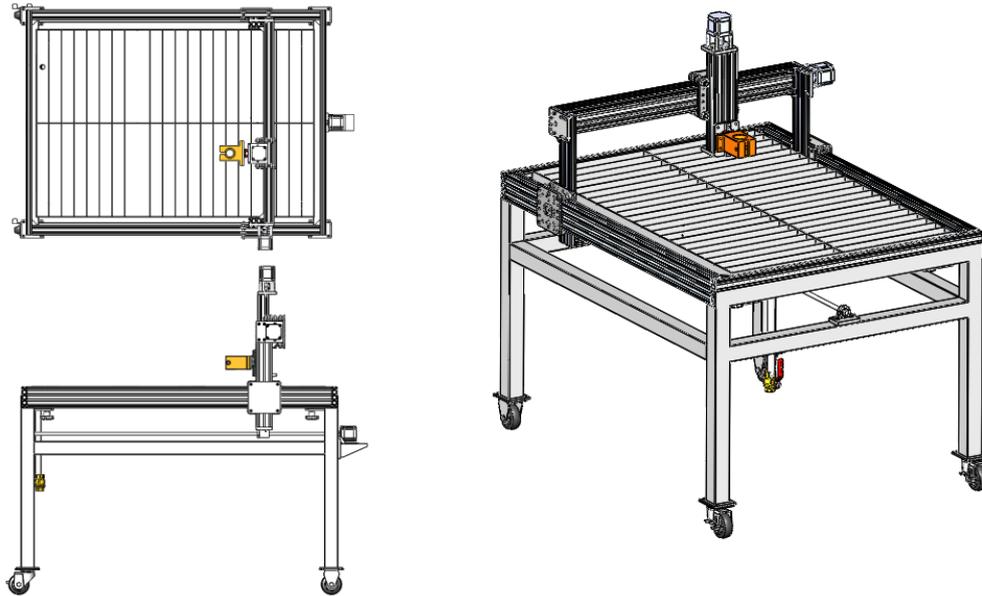
Aluminium profile digunakan untuk bagian sliding gantry axis X,Y dan Z dengan type V-Slot 2060 dan C-beam 4080, serta bagian kerangka pendukung lainnya.

- c. *Lead Screw & Nut Lead Srew*

Lead Screw berfungsi sebagai ulir penggerak sumbu X,Y dan Z. Pada sumbu Y dan Z menggunakan lead screw 8mm dengan pitch 2mm 4 stars, pada sumbu X menggunakan *lead screw* 12mm pitch 2mm 4 stars. Nut lead screw merupakan pasangan dari *lead screw* yang berfungsi untuk mentransmisikan gaya yang diberikan oleh motor stepper.

- d. *V-Wheel Roller*

Berfungsi sebagai tumpuan gantry dan frame aluminium profile agar dapat bergerak dengan lancar sesuai dengan axis masing-masing. V-wheel berbahan *nylon* dan menggunakan bearing 625zz.



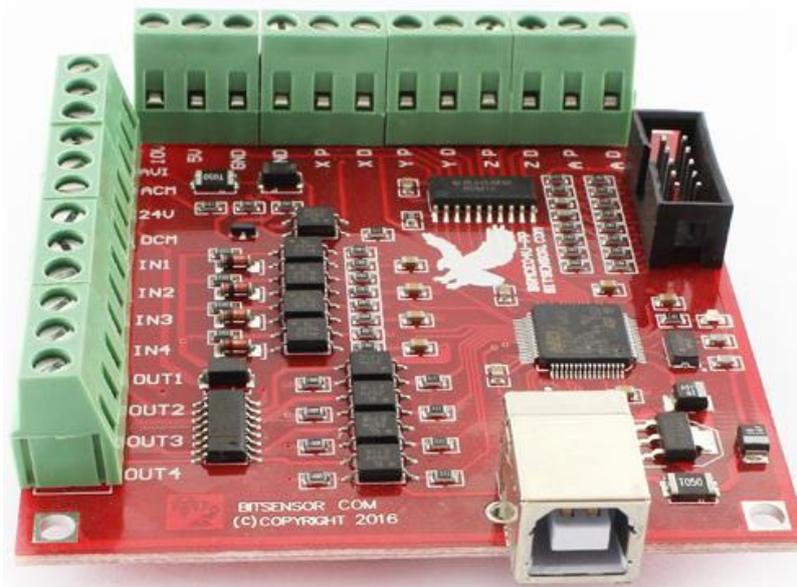
Gambar 2. Perancangan Frame Mesin

- **Perancangan Komponen Elektrik**

Perlengkapan komponen elektrik yang digunakan untuk membuat mesin potong logam plasma CNC ini memiliki beberapa fungsi kerja diantaranya adalah sebagai berikut:

- a. *Mach3 USB Board*

Mach3 USB board merupakan *Board* yang berfungsi untuk menghubungkan sinyal dari komputer dengan peripheral *input* maupun *output*. *Breakoutboard* merupakan komponen utama dalam pembuatan mesin CNC yang berfungsi menghubungkan sinyal data dari komputer ke driver.



Gambar 3. Mach3 USB Board

- b. *Power supply*

Power supply berfungsi untuk memberikan daya listrik kepada breakoutboard, driver motor dan motor stepper. Power supply menggunakan tegangan 24V 15A.



Gambar 4. Power Supply 220 Watt 24 Volt, 15A

c. *Driver motor stepper*

Driver motor berfungsi untuk merubah sinyal masukan berupa pulsa dan arah putaran dari *breakoutboard* ke driver untuk diubah kembali menjadi tegangan yang sesuai. Driver motor stepper menggunakan type TB6600 4.0A.



Gambar 5. Driver Motor TB6600

d. Motor stepper

Motor stepper merupakan perangkat elektromekanis yang mengubah daya listrik menjadi energi mekanis, motor listrik DC yang membagi putaran penuh menjadi beberapa langkah putaran. Type motor stepper yang digunakan adalah NEMA 23, 2 fasa 4 kabel 3,5A/pulsa, 1.8 step angle 1,3NM.



Gambar 6. Motor Stepper Nema 23 56mm 3.5A

Adapun perhitungan untuk mengetahui daya motor dan torsi yang dibutuhkan pada setiap axisnya adalah sebagai berikut :

- Mencari jumlah pulsa/mm sumbu X dan Y

Diketahui :

Step motor = 200 pulsa/putaran

Pembagian pulsa driver X dan Y = 1/8

Pembagian pulsa driver Z = 1/16

Pith (p) = 2mm

n (sumbu x dan y) = 5 stars

n (sumbu Z) = 2 stars

jumlah step setiap satu putaran

$Step = 200 \text{ pulsa} : 1/8$

$Np = 1600 \text{ pulsa/putaran}$

Jarak Lead (L) putaran penuh

$L = n.p$

$L = 2\text{mm} \times 5 \text{ stars}$

$L = 10 \text{ mm}$

Jumlah pulsa tiap mm

$= 1600 \text{ pulsa} : 10 \text{ mm}$

$= 160 \text{ pulsa/mm}$

- Mencari jumlah pulsa/mm sumbu Z

jumlah step setiap satu putaran

$Step = 200 \text{ pulsa} : 1/16$

$Step = 3200 \text{ pulsa/putaran}$

Jarak Lead (L) putaran penuh

$L = n.p$

$L = 2\text{mm} \times 2 \text{ stars}$

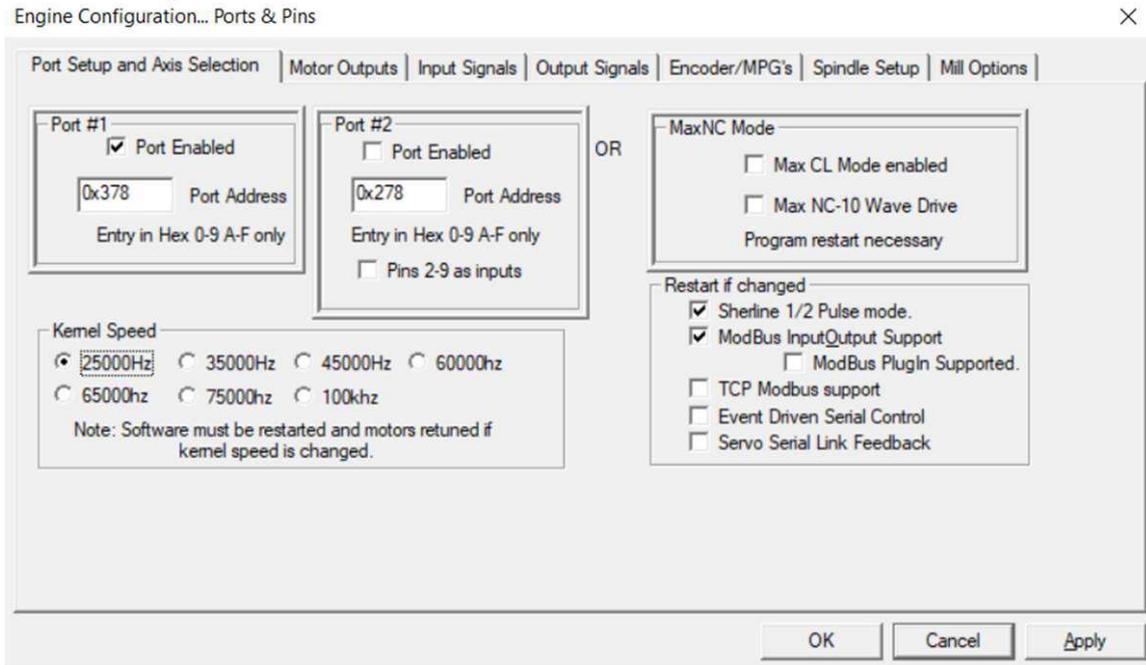
$L = 4 \text{ mm}$

Jumlah pulsa tiap mm $= 3200 \text{ pulsa} : 4 \text{ mm} = 800$

e. Software Mach 3

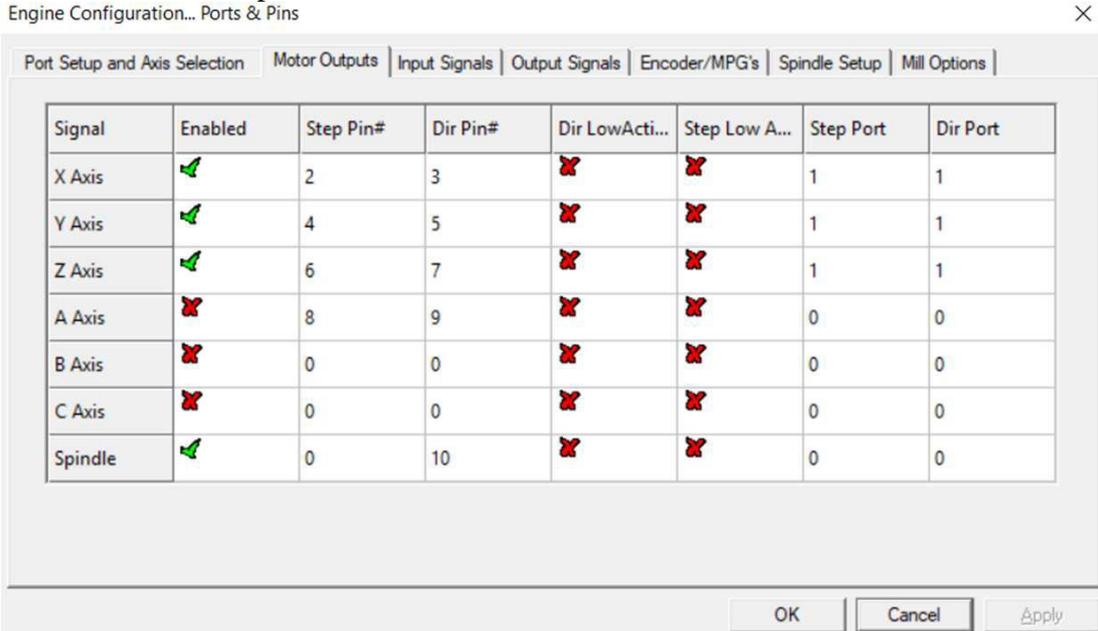
Untuk mengoperasikan komponen mekanik , setting pada software harus dilakukan guna mesin dalam menerima dan mengeluarkan sinyal sesuai dengan perintah yang di inginkan.

1. Port Setup & Axis Selection



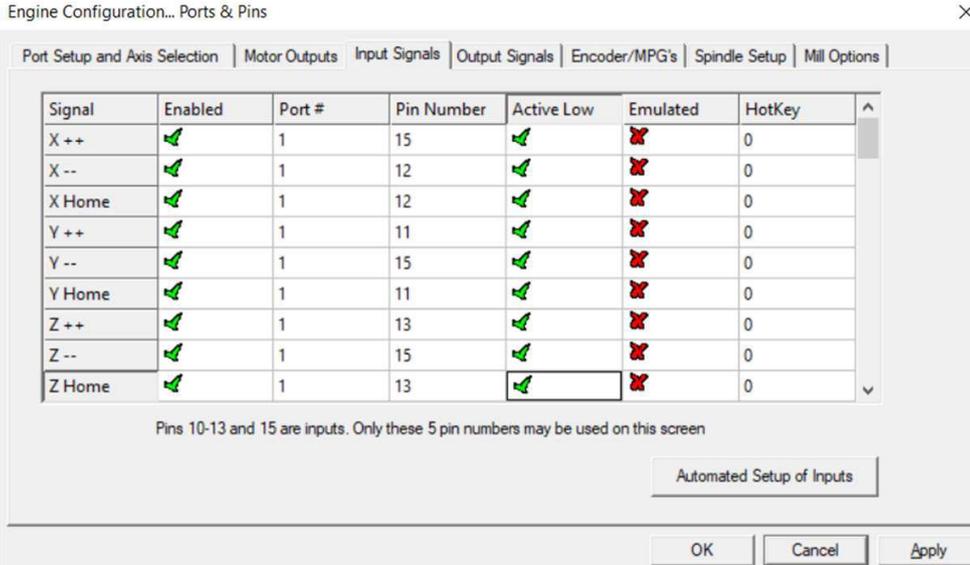
Gambar 7. Port Setup & Axis Selection pada Software Mach3

2. Motor Output



Gambar 8. Setup Port& Pins bagian Motor Outputs pada software Mach3

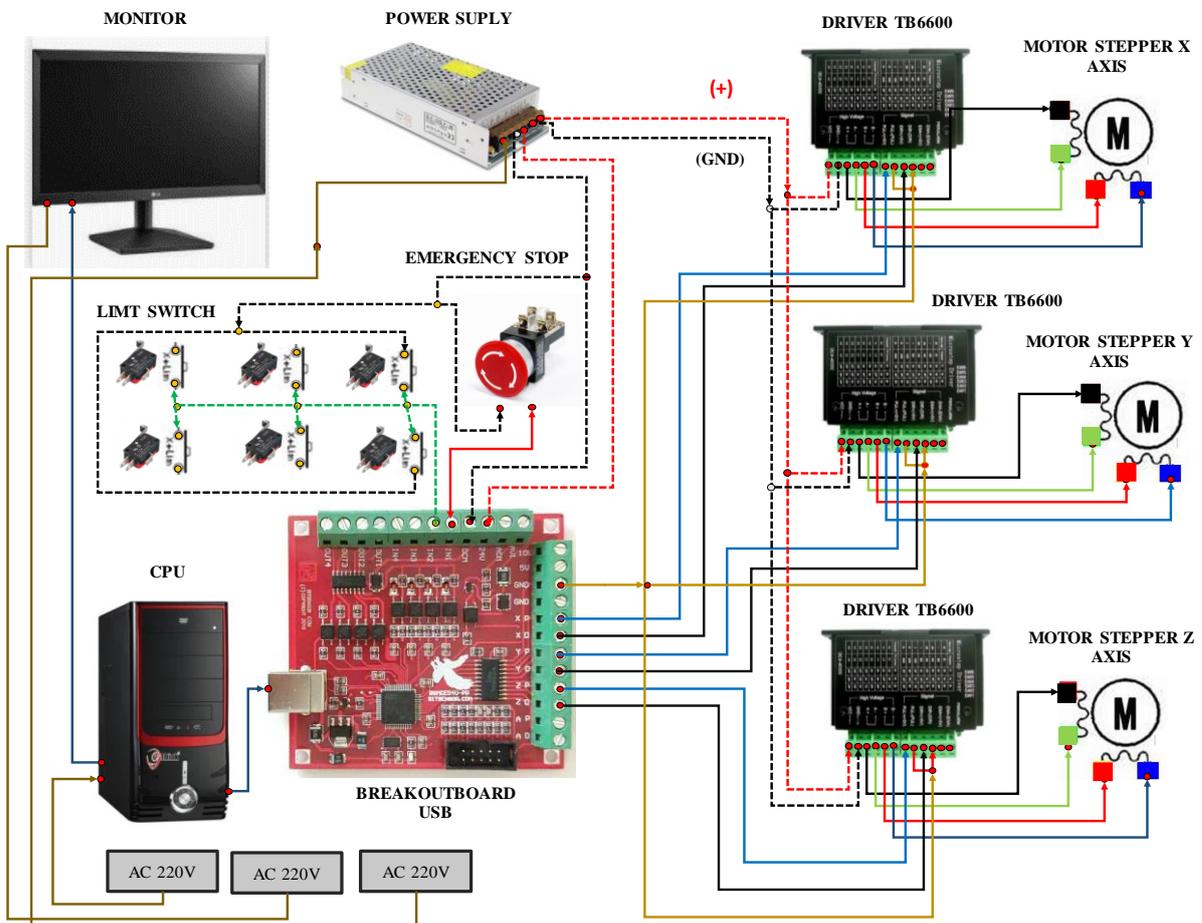
3. Input Signals



Gambar 9. Setup Port& Pins bagian Input Signals pada software Mach3

• Wiring Elektrik

Wiring adalah cara pengaturan dan penataan kabel koneksi dalam sebuah jaringan yang disusun secara rapih agar keamanan dan ketahanan komponen dan koneksi dapat berfungsi dengan baik serta dapat bertahan lama.



Gambar 10. Perancangan wiring elektrik

Pada gambar 3 terlihat rancangan sistem wiring yang akan digunakan pada mesin potong logam plasma CNC 3 axis. Power supply dihubungkan ke sumber listrik 220V dan outputnya adalah DC 24V, memiliki kapasitas 9~40VDC. Kabel merah (+) dari power supply dihubungkan dengan pin VCC pada ketiga driver T6600. Pin sinyal positif, ENA+, DIR+ dan PUL+ terhubung ke pin PC 5V pada perangkat BoB DB25. ENA- tidak dihubungkan, DIR- dihubungkan dengan Y DIR BoB DB25, dan PUL- adalah pin pulsa (atau langkah) dihubungkan dengan Y Pulse Bob DB25. Motor stepper terhubung dengan urutan pengkabelan sesuai dengan 4 warna berbeda yang dihubungkan dengan pin A-,A+,B- dan B+ pada perangkat driver.

- **Realisasi Rancang Bangun**

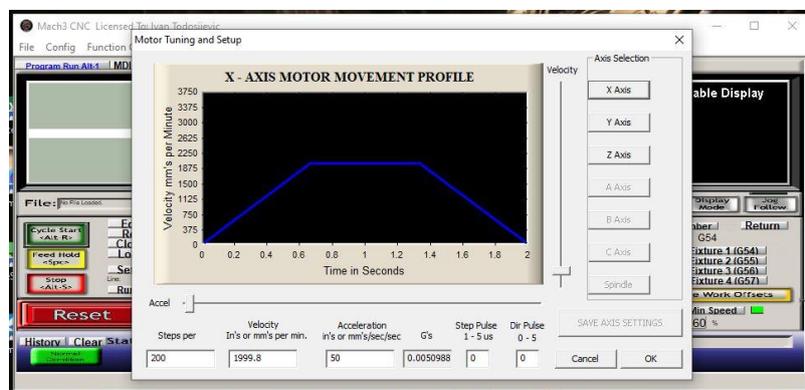
Setelah proses perancangan dari segi mekanik maupun elektrik selesai, maka dilakukan realisasi pembuatan yang bertujuan untuk mengetahui mesin dapat digunakan sesuai dengan perancangan.



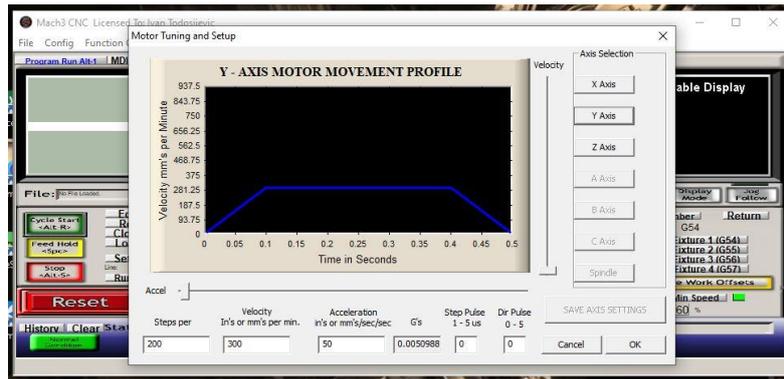
Gambar 11 . Fabrikasi komponen elektrik & mekanik

- **Setup Up kalibrasi Axis X,Y,Z.**

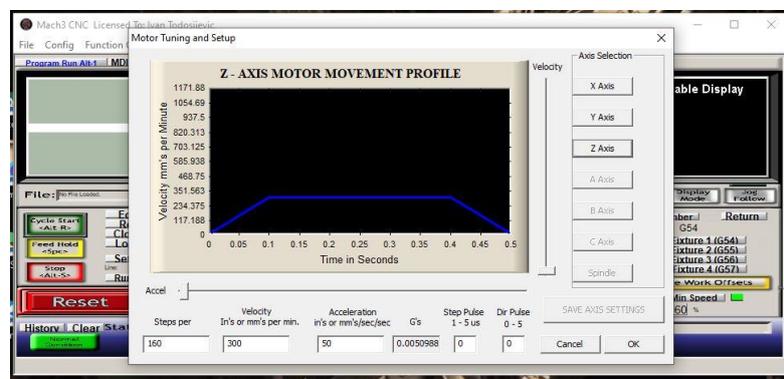
Kalibrasi pergerakan tiap axis di lakukan setelah mesin sudah bisa berfungsi baik secara electrical atau mekanial. Hal ini bertujuan agar mesin dapat melakukan perintah dengan jarak yang presisi sesuai dengan besaran jarak yang di input pada software Mach3.



Gambar 12. Hasil Setup kalibrasi pergerakan Axis X



Gambar 13. Hasil Setup kalibrasi pergerakan Axis Y



Gambar 14. Hasil Setup kalibrasi pergerakan Axis Z

Kesimpulan

1. Rancang Bangun Mesin Potong Logam Plasma CNC yang ditujukan untuk pelaku usaha fabrikasi kecil dan menengah dapat dilakukan dengan menggunakan bahan yang relatif terjangkau, mudah didapat di pasaran dan pengoperasian mesin yang mudah. Penggunaan stepper motor dan lead screw pada setiap axis (X,Y dan Z) mampu memberikan performa dan kualitas sama dengan mesin CNC yang menggunakan metode penggerak *timing belt* sebagai penggeraknya.
2. Bahwa sistem kontroller menggunakan software Mach3 mempunyai respon yang cepat, konfigurasi mudah karena fitur auto tuning pada tiap axis untuk menentukan kepresisian jarak. Dengan menggunakan software Mach3 tidak memerlukan banyak biaya.

Saran

Dalam perancangan mesin potong logam plasma CNC untuk kebutuhan industri fabrikasi, maka ukuran mesin yang dibuat harus lebih besar sesuai dengan kebutuhan pemotongan plat besi yang sering dilakukan saat ini. Menggunakan komponen yang lebih baik agar benda kerja hasil fabrikasi mesin menjadi lebih presisi, cepat dan tahan lama. Pada bagian keliling *body* mesin perlu dipertimbangkan pemasangan tutup *cover* agar proses pemotongan menjadi lebih aman. Instalasi perangkat PC dan CPU agar dijadikan 1 unit pada mesin agar lebih praktis. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut agar mesin ini dapat digunakan untuk proses CNC lainnya seperti *engraving* maupun *router*.

Daftar Pustaka

- [1] S. Irfan, R. Rusiyanto, “Rancang Bangun CNC Plasma Cutting”, Journal Rekayasa Mesin, Universitas Negeri Semarang, 2021.
- [2] A. B. Hendrawan & N. A. Ariyanto, “Rancang Bangun Mesin CNC Router 3 Axis Berbantu Perangkat Lunak Autodesk Inventor 2015”, Nozzle : Journal Mechanical Engineering, Vol 9, No 2, Juli 2020.hal. 31-37
- [3] W. A. Wibowo, “Rancang Bangun Woodworking CNC Machine (WCM) 3 Axis (X, Y, dan Z) Menggunakan Stepper Mach3 PC Base”, Skripsi, Departemen Teknik Mesin Industri, Fakultas Vokasi, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya, 2017.
- [4] A. W. Nugroho, “Rancang Bangun Mesin PC Based CNC Milling Tiga Sumbu (Sistem Kontroler dan Analisa Torsi Motor Stepper)” Laporan Tugas Akhir, Program D3, Teknik Mesin, Universitas Sebelas Maret, Surakarta, 2015.
- [5] Roswaldi Sk, Julsam, Kartika, A. Fendri, Mulyadi, “Implementasi Mini CNC Router 3 Axis Untuk Pembuatan Huruf dan Gambar Berbasis GRBL 3.6.1” Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe Vol.3 No.1 Oktober 2019 |
- [6] R. L. Mott, E.M. Vavrek, J. Wang. “Machine Element in Mechanical Design”, Sixth edition, Pearson Pretince Hall, New Jersey, 2004.
- [7] G. Nieman, A.Budiman, B.Priambodo. “Element Mesin”, Jakarta: Erlangga, 1999
- [8] S. R.Schmid, B. J. Hamrock, B. O.Jacobson. “Fundamentals of Machine Elements” SI Version, Third Edition, Taylor &Francis Group, New York, 2014.
- [9] P. H. Daniel & J. F. Kelly. “Build Your Own CNC Machine”, Apress, New York, 2009.