

Rancang Bangun Mesin Potong Logam Plasma CNC 3 Axis

Fauzi Ridwan^{1, a}, Wahyono Sapto Widodo,^{2, b}

^{1,2} Program Studi Teknik Mesin, President University

^{1,2} Jababeka Education Park, Jl. Ki Hajar Dewantara, RT.2/RW.4, Mekarmukti, North Cikarang
Bekasi, West Java 17530

^a fauzi.ridwan@student.president.ac.id ^b wahyono.widodo@president.ac.id

Abstrak.

CNC (*Computerized Numerical Control*) merupakan salah satu perkembangan teknologi permesinan yang digunakan dalam proses manufaktur dengan menggunakan kontrol terkomputerisasi sehingga dapat menunjang proses pembuatan suatu produk yang memiliki tingkat presisi tinggi, bentuk yang rumit serta tingkat kecepatan proses pembuatan yang relatif lebih cepat dibandingkan dengan permesinan pembuatan produk secara manual. Pada penelitian ini dihasilkan mesin potong plasma CNC dengan proses desain penentuan ukuran besaran mesin yang sesuai dengan kebutuhan perusahaan fabrikasi menengah, menggunakan bahan *extrusion aluminium profile*, besi siku dan besi hollow sebagai *body* dan *frame* mesin pada tiap axis karena jenis bahan ini sangat mudah untuk digunakan, menggunakan 1 unit stepper motor pada setiap axis (X, Y dan Z), metode pengaturan kerataan meja mesin menggunakan knob baut *adjuster* agar proses penyetingan kerataan meja mesin menjadi lebih cepat, penggunaan roda *casters* pada kaki mesin agar proses pemindahan posisi mesin lebih praktis, perancangan meja mesin agar bisa menampung air agar percikan *spark* proses pemotongan menjadi lebih aman, ditambah dengan sistem *valve* drain agar pengurasan air tampungan lebih mudah dilakukan. Selanjutnya rancangan mesin ini akan dijalankan dengan menggunakan perangkat lunak CNC Mach3 berbasis PC sebagai controller mesin karena penggunaan software Mach3 yang mudah untuk digunakan.

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

Abstract.

CNC (*Computerized Numerical Control*) is one of the developments in machining technology used in the manufacturing process using computerized control so that it can support the process of making a product that has a high level of precision, complex shape and relatively faster manufacturing process speed compared to manufacturing machinery. product manually. In this research, a CNC plasma cutting machine was produced with a design process for determining the size of the machine that is suitable for medium-sized fabrication companies needs, using materials extrusion aluminum profile, angle iron and hollow iron as body and the frame machine on each axis because this type of material is very easy to use, using 1 stepper motor unit on each axis (X, Y and Z), the method of setting the flatness of the machine table using the bolt knob adjuster so that the process of setting the flatness of the machine table becomes faster, the use of wheels casters on the machine legs so that the process of moving the machine position is more practical, design the machine table so that it can hold water so that the spark of the cutting process becomes safer, coupled with a system valve drain so that it is easier to drain the reservoir water. Furthermore, this machine design will be run using PC-based CNC Mach3 software as a machine controller because it uses Mach3 software which is easy to use.

Keywords: CNC, Fabrication, Plasma Cutting Machine, Engineering, Mach3

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 tumpukan 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.

Pada penelitian lain juga dilakukan oleh 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.

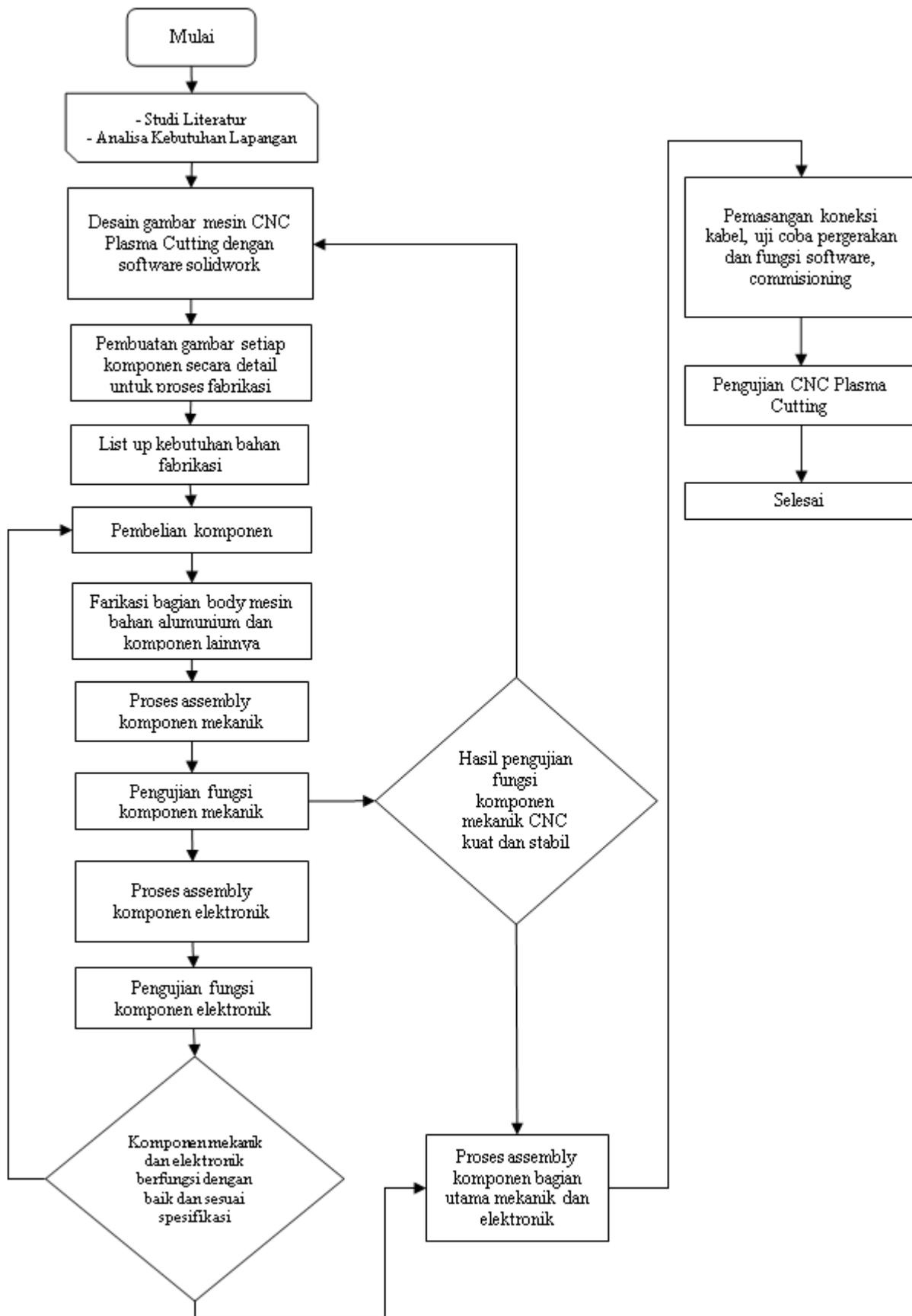
Pada penelitian lain pula yang dilakukan oleh W. A. Wibowo [3]. Pada penelitian ini dilakukan dengan perancangan mesin CNC kayu dilakukan proses desain untuk menentukan dimensi mesin, menentukan perhitungan untuk menentukan spesifikasi kebutuhan motor. Dilanjutkan dengan perancangan wiring elektrik untuk memilih spesifikasi kontroler yang digunakan, dan dilanjutkan pengujian kepresisian alat pada saat pengukiran. Hasil perancangan alat ini menggunakan software Mach3 sebagai kontroler 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 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.

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 tampungan 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.

Metodologi 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 desain yang sudah dibuat. Pengujian ketahanan setiap unit juga dilakukan pada tahapan ini agar mengetahui kemampuan dan kapasitas mesin.

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

Tabel 1. Bahan-bahan pembuatan mesin potong logam plasma CNC

No	Nama Bahan	Jumlah	Satuan
1	Stepper motor NEMA 23 3.5A	3	Unit
2	C Beam gantry plate	1	Pcs
3	Ball screw T12	1200	mm
4	Ball screw T8	1150	mm
5	Wheel V-Slot	28	pcs

6	Power supply 24V 15A	1	Unit
7	Driver TB6600	3	Unit
8	Breakoutboard Mach3 USB	1	Unit
9	Linear motion guide rail + block	1	Set
10	Coupling 6.35 x 8	2	Pcs
11	Coupling 6.35 x 12	1	Pcs
12	C beam alumunium extrusion 4080	5200	mm
13	Alumunium profile V-Slot 2060	1380	mm
14	Sliding nut M5	60	Pcs
15	Angle bracket 2020	20	Pcs
16	Besi siku 3x50x50	1800	mm
17	Besi hollow 2x50x50	6200	mm
18	Fixed caster wheel 3"	2	Pcs
19	Swivel caster wheel 3"	2	Pcs
20	Nut seat T12	1	Pcs
21	Nut block M8	2	Pcs
22	Pipa alumunium 8x12mm	1000	mm
23	Pillow block bearing UP001	2	Pcs
24	Lock collar 8mm	4	Pcs
25	Lock collar 12mm	2	Pcs
26	Knob M10	4	Pcs
27	Ball valve 1/2"	1	Pcs
28	Pipa 1/2"	300	mm
29	Plat besi 2x700x1100mm	1	Lembar
30	Capbolt M5x20	24	Pcs
31	Capbolt M5x15	14	Pcs
32	Capbolt M5x10	52	Pcs
33	Capbolt M5x50	8	Pcs
34	Capbolt M4x20	8	Pcs
35	Capbolt M4x10	4	Pcs
36	Capbolt M6x15	20	Pcs
37	Hexagon bolt M6x70	4	Pcs
38	Longdrat M5	1000	mm
39	Cable carrier	1	Pcs
40	Emergency stop button	1	Pcs
41	Kabel serabut 0.7mm	50	m

Hasil dan Pembahasan

a) 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*

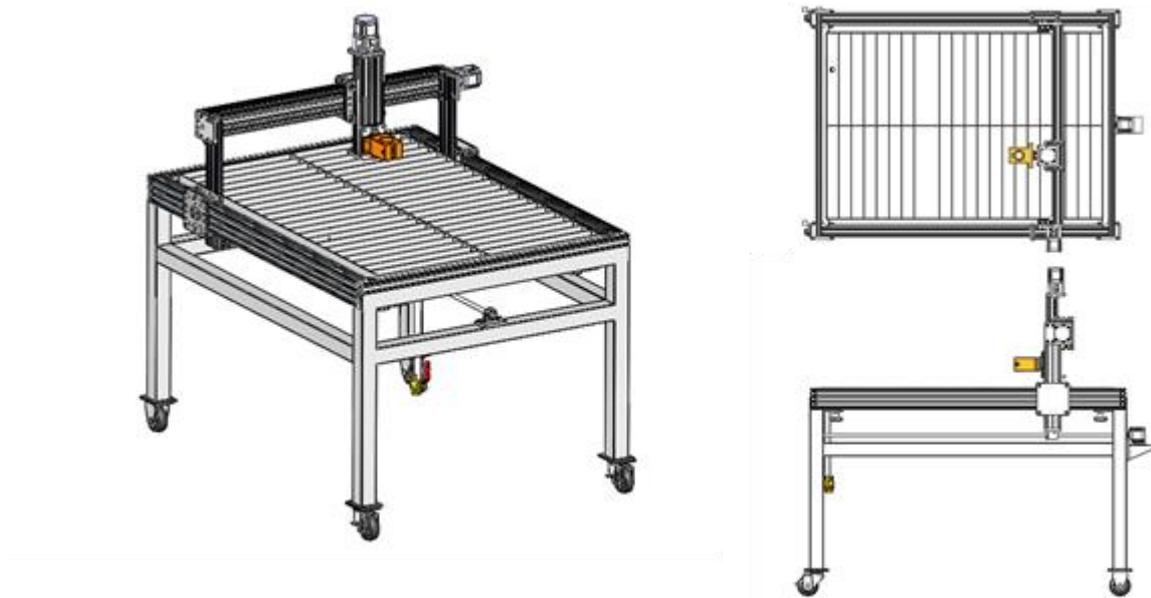
Aluminium profile digunakan untuk bagian sliding gantry axis X,Y dan Z dengan type V-Slot 2060 dan C-beam 4080, serta bagian kerangka pendukung lainnya.

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 komponen mekanik

b) 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 Breakoutboard*

Mach3 board merupakan *Breakoutboard* 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. *Breakoutboard* yang digunakan adalah *Breakoutboard Mach3 USB*

b. *Power supply*

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

c. *Driver motor stepper*

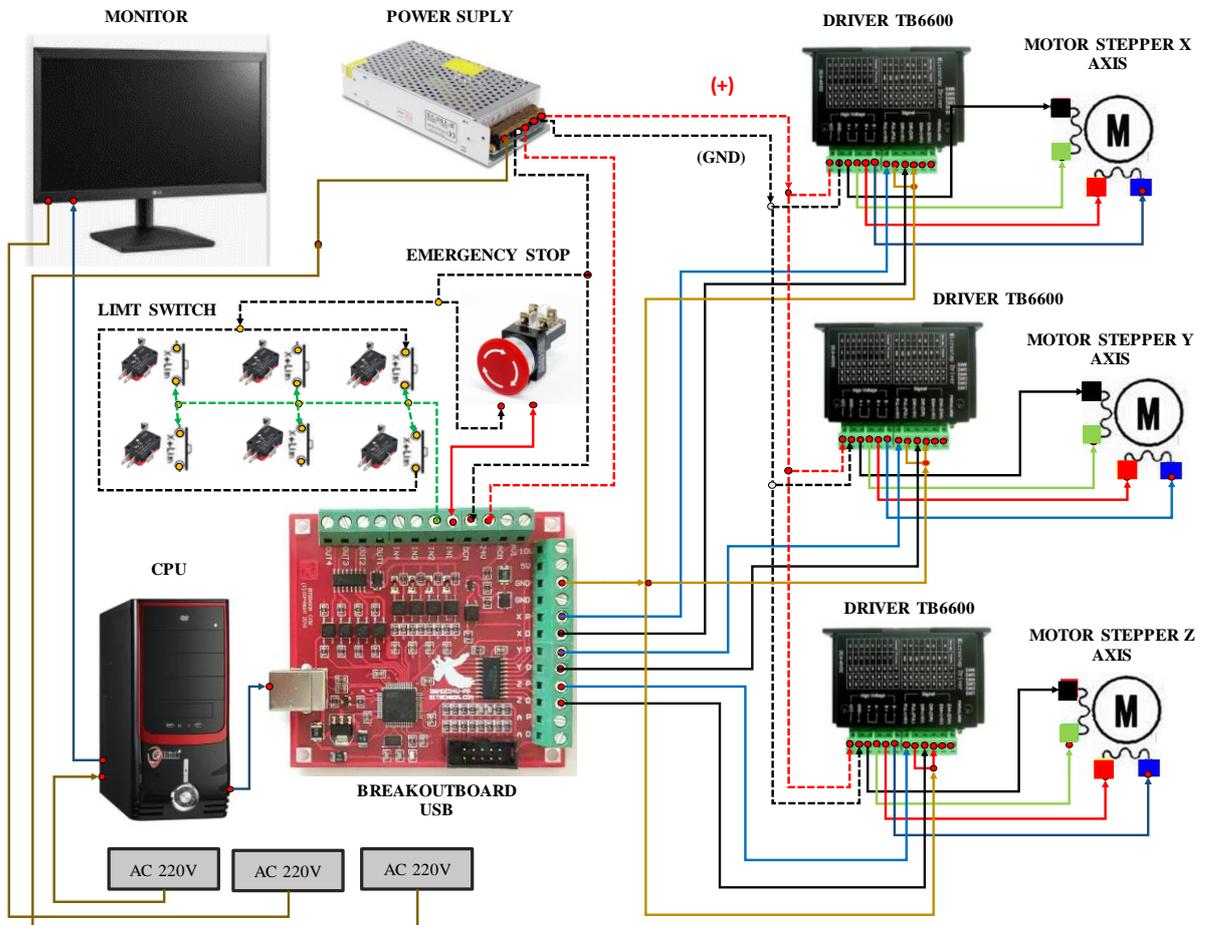
Driver motor berfungsi untuk merubah sinyal masukan berupa pulsa dan arah putaran dari *breakoutboard* ke driver untuk diubah kembali menjadi tegangan yang sesuai. Driver motor stepper menggunakan type TB6600 4.0A.

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 phasa 4 kabel 3,5A/pulsa, 1.8 step angle 1,3NM.

c) 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 3. Perancangan wiring elektrik

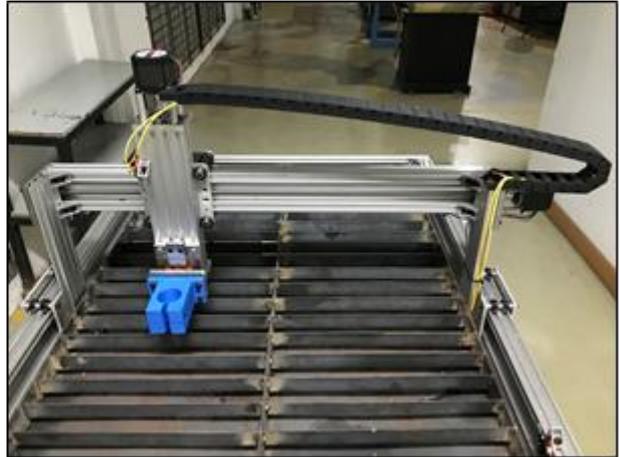
Pada gambar 3 terlihat rancangan sistem *wiring* yang akan digunakan pada mesin potong logam plasma CNC 3 axis. *Power supply* dihubungkan ke sumber listrik 220V dan outputnya adalah DC 24V, memiliki kapasitas 9~40VDC. kabel merah (+) dari *power supply* dihubungkan dengan pin VCC pada ketiga driver TB6600. Pin sinyal negatif, DIR- dan PUL- terhubung ke pin Grounding. pada perangkat Breakoutboard USB ENA-&ENA+ tidak dihubungkan, DIR+ dihubungkan dengan Y DIR , X DIR ,Z DIR dan PUL+ adalah pin pulsa (langkah) dihubungkan dengan XP, YP, ZP Pulse Bob USB. Motor stepper terhubung dengan urutan pengkabelan sesuai dengan 4 warna berbeda yang dihubungkan dengan pin A-,A+,B- dan B+ pada perangkat driver yang mana A+(Hitam),A-(Hijau), B+(Red), B-(Biru). Setiap axis dipasangkan *limit switch* pada ujung pergerakan axis untuk mengantisipasi *over run*. *Limit switch* dihubungkan ke *breakoutboard* IN2, Tombol *emergency stop* dihubungkan ke *breakoutboard* port IN 1.

d) Realisasi Rancang Bangun

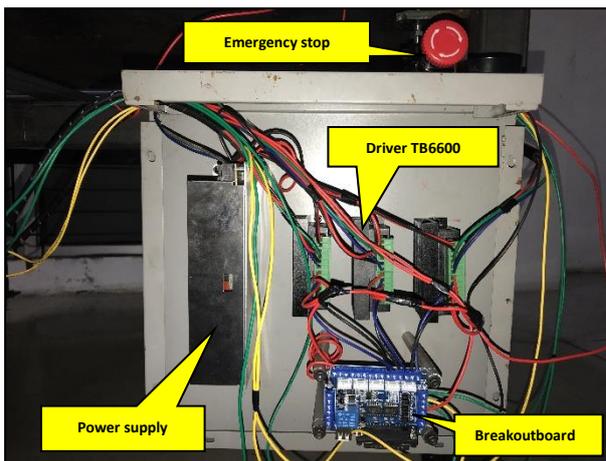
Setelah proses perancangan dari segi mekanik maupun elektrik selesai, maka dilakukan relisasi pembuatan yang bertujuan untuk mengetahui mesin dapat digunakan sesuai dengan perancangan.



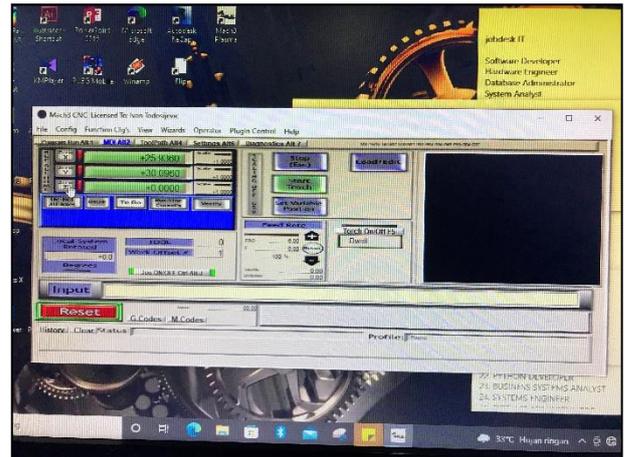
Gambar 4. Unit mesin keseluruhan



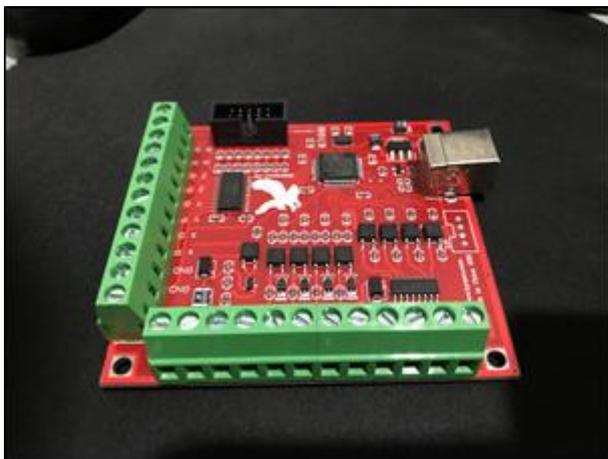
Gambar 5. Komponen head Y dan Z axis



Gambar 6. Komponen elektrik



Gambar 7. Konfigurasi software Mach3



Gambar 8. Breakoutboard USB



Gambar 9. Driver TB6600

Kesimpulan

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. Mesin mampu melakukan pemotongan logam dengan dimensi 600x400mm, maksimal ketebalan pemotongan 3mm dengan tingkat kepresisian yang cukup, tingkat keamanan percikan *spark* plasma lebih terjaga karena adanya pendingin air tepat dibawah proses pemotongan. Sistem kontroller perangkat lunak Mach3 yang didukung oleh *breakoutboard* USB mempunyai respon yang cukup baik serta proses instalasi perangkat yang mudah dilakukan dan 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*, *laser cutting* maupun *router*.

Daftar Pustaka

- [1]. Saiful Irfan, Rusiyanto 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 Prentice 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.
- [10] B. Martana, Y. Djaya, M. A. Lukmana, "Development of Plate Cutting CNC with Laser Cutter and Stepper Motor Driver", Prosiding SNTTM XVI, Oktober 2017, hal. 62-66