

RANCANG BANGUN CNC PRINTER 3 DIMENSI MENGGUNAKAN ARDUINO MEGA 2560

Rizki Ramdani¹⁾, Agus Saleh²⁾, Indra Primahidin³⁾

Mekanik Industri dan Desain, Politeknik TEDC Bandung^{1),2),3)}

Email: rizkiramdani@poltektedc.ac.id¹⁾, abahagus@poltektedc.ac.id²⁾, indraprimahidin99@gmail.com³⁾

Abstrak

Dalam pembuatan mesin *CNC Printer 3 Dimensi* ini, proses rancang bangun dibagi menjadi beberapa bagian utama. Bagian utama tersebut diantaranya; rancang bangun pada bagian mekanik, rancang bangun pada bagian rangka, rancang bangun pada bagian sistem kontrol dan kalibrasi. Pada bagian mekanik dilakukan pemilihan jenis motor dan rancang bangun sistem transmisi. Untuk jenis motor yang digunakan yaitu *Motor Stepper Tipe 17210 G Shinano Kenshi* dengan spesifikasi; gerakan sudut 1,8 derajat/pulsa dengan arus 1 A, tegangan 2,6 VDC, *resistance* 1,5 Ohm/phase, *inductance* 2,8 mH/phase dan *holding torque* 0,3 Nm. Untuk transmisi, menggunakan jenis transmisi *pulley* dan sabuk. Pada bagian rangka menggunakan material *Tslot 2040*, *Vslot 2020* dan *Aluminium Composite* untuk bagianudukan mesin. Pada bagian kontrol dan kalibrasi, mesin *CNC Printer 3 Dimensi* ini menggunakan *Arduino Mega 2560*. Pada pengujian mekanik, dilakukan uji coba pergerakan pada arah sumbu x, y dan z. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pergerakan sudah sesuai dengan yang diharapkan. Untuk pergerakan sumbu x yaitu sebesar 60 mm, sumbu y yaitu sebesar 80 mm dan sumbu z yaitu sebesar 100 mm.

Kata Kunci: *CNC printer 3 dimensi, Motor stepper, Arduino mega 2560, Tslot 2040, Vslot 2020*

Abstract

In making this *3Dimensional CNC Printer machine*, the design and construction process is divided into several main parts. The main parts include; design for the mechanical part, design for the frame part, design for the control and calibration system. In the mechanical section, the motor type is selected and the transmission system is designed. The type of motor used is the *Stepper Motor Type 17210 G Shinano Kenshi* with specifications; angular movement of 1.8 degrees/pulse with a current of 1 A, voltage of 2.6 VDC, resistance of 1.5 Ohm/phase, inductance of 2.8 mH/phase and holding torque of 0.3 Nm. For transmission, it uses a pulley and belt transmission type. The frame uses *Tslot 2040*, *Vslot 2020* and *Aluminum Composite* materials for the engine mount. In the control and calibration section, this *3Dimensional CNC Printer machine* uses an *Arduino Mega 2560*. In mechanical testing, movement trials were carried out in the x, y and z axes. The test results show that the movement is as expected. For the x-axis movement, it is 60 mm, the y-axis is 80 mm and the z-axis is 100 mm.

Keywords: *CNC 3D printer, Stepper motor, Arduino mega 2560, Tslot 2040, Vslot 2020*

I. PENDAHULUAN

Dalam permesinan, desainer tentu sudah mengetahui mengenai *modeling 3 dimensi*. Namun apabila dalam pembentukan sebuah *prototype* dari desain yang sudah dibuat tersebut, biasanya akan membutuhkan waktu yang cukup lama. Hal ini dikarenakan proses yang terjadi cukup banyak.

Kendala-kendala pada proses permesinan manual yang sering terjadi diantaranya kesalahan dalam ukuran; seperti terlalu panjang, terlalu tebal dan sebagainya. Dalam perkembangannya, dibuat *Computer Numerical Control (CNC)* baik *milling* ataupun *router* untuk memudahkan para operator dalam proses permesinan. Akan tetapi ada kelemahan dalam *CNC* tersebut. Kelemahan yang dimaksud yaitu hanya mampu melakukan proses kerja 2,5 dimensi saja. Apabila diinginkan proses kerja 3 dimensi, maka benda kerja harus di ubah arah permukaannya sesuai dengan *job sheet*.

Sepertinya ada rasa perlu ada teknologi yang mampu membuat *prototype modelling 3 dimensi* tanpa banyak proses yang harus dilewati. *CNC printer 3 dimensi* dapat dijadikan solusi bagi para

desainer yang ingin membuat *modelling 3 dimensi* yang mudah dalam prosesnya. *CNC printer 3 dimensi* juga dapat digunakan untuk menekan harga dalam pembuatan *prototype*. Hal ini dikarenakan konsumsi daya *CNC Printer 3 dimensi* yang sangat kecil dengan menggunakan material yang murah.

Christopper D.Winnan, (2012). Dalam pengembangan mengenai *CNC printer 3 dimensi* mengungkapkan bahwa banyak konsumen saat ini yang menggunakan *CNC printer 3 dimensi* untuk proses manufaktur yang dimana pengerjaannya dengan lapis per lapis, hingga terbentuk objek yang diinginkan. Dimulai dari proses software hingga terbentuk file .stl lalu *slice* (iris) secara matematis kemudian konversi modeling 3 dimensi menjadi pola digital. Apabila diperlukan bisa pula ditambah pendukung dalam desainnya jika desain tersebut dikhawatirkan mengalami kerapuhan dalam pencetakan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, tema penelitian ini yaitu pembuatan mesin *CNC printer 3 dimensi*. Rumusan masalah diantaranya; bagaimana

perancangan mesin *CNC printer* 3 dimensi, bagaimana pembuatan mesin *CNC printer* 3 dimensi dan bagaimana pengujian mesin *CNC printer* 3 dimensi. Tujuan penelitian ini yaitu untuk merancang mesin *CNC printer* 3 dimensi, untuk membuat mesin *CNC printer* 3 dimensi dan untuk menguji mesin *CNC printer* 3 dimensi.

II. LANDASAN TEORI

A. Computer Numerical Control (CNC)

Computer Numerical Control /CNC (komputer kontrol numerik) merupakan sistem otomatisasi mesin perkakas yang dioperasikan oleh perintah yang diprogram dalam bentuk kode angka dan disimpan di media penyimpanan. Karena informasi yang digunakan berbentuk rumus matematik, maka sistem ini dinamakan kontrol dengan angka (*numerical control*).

Mesin *CNC* pertama kali digunakan dalam proses mengikir, membuat lubang, memutar, mengasah dan menggergaji, dan tahun-tahun terakhir ini juga digunakan untuk membengkokkan pipa dan membuat berbagai bentuk. Dibandingkan dengan peralatan biasa, mesin yang dikontrol dengan kode angka ini lebih cermat, cepat, konsisten dan fleksibel, bahkan untuk *manufacturing* yang sangat rumit sekalipun. Rancangan produk dapat diubah atau disesuaikan cukup dengan mengubah instruksi saja.

B. Mesin Printer 3 Dimensi

Carlos Henrique Pereira Mello, (2010). Dalam penelitiannya menemukan bahwa pada 1980-an, muncul teknologi mesin baru yang memungkinkan pemodelan tiga dimensi (3D) dihasilkan dalam sistem *CAD*. Mesin seperti itu dikenal sebagai mesin *rapidprototyping* (RP), memungkinkan seseorang secara otomatis memperoleh potongan fisik jadi dengan bentuk dan dimensi akhir apa pun dengan begitu rumit dan detail yang mana permesinan konvensional tidak mampu melakukannya. Mesin yang digunakan di sini memiliki kecepatan dan biaya yang lebih rendah dalam pembuatan *prototype*. Apalagi mereka kurang berisiko yang termasuk dalam tahap awal proses tanpa bersaing dengan sumber daya produktif organisasi. Md. Muzammal Hoque, (2018). Dalam penelitian mengemukakan bahwa pencetakan 3D adalah kebalikan dari manufaktur subtraktif yang memotong / melubangi sepotong logam atau plastik misalnya mesin penggilingan. Di bidang manufaktur, teknologi ini telah terbukti menjadi sangat menjanjikan dan disebut *prototyping* cepat. Teknologi ini telah banyak ditingkatkan dan telah berkembang menjadi alat yang berguna untuk banyak bidang seperti peneliti, produsen, perancang, insinyur dan para ilmuwan.

C. Linier Motion

Linier motion adalah salah satu *equipment* atau *part* pada mesin produksi yang mempunyai fungsi sebagai tumpuan atau kedudukan benda kerja agar

gerak benda kerja tersebut lebih *smooth* atau ringan. Penggunaan *linear motion* pada umumnya di gunakan oleh *part-part* atau benda kerja pada mesin produksi yang selalu bergerak maju mundur, naik turun, melintang.

D. Motor Stepper

Motor *stepper* adalah salah satu tipe motor yang sangat populer digunakan sebagai peralatan penggerak/pemutar dalam sistem otomatisasi di industri, instrumentasi, bahkan *printer* yang sering dipakai sehari-hari. Pada dasarnya prinsip kerja motor *stepper* sama dengan motor DC, yaitu pembangkitan medan magnet untuk memperoleh gaya tarik atau dengan menggunakan satu tegangan DC pada lilitan kumparannya.

E. Poros (Shaft)

Poros pada umumnya berfungsi untuk memindahkan daya dan putaran. Bentuk dari poros adalah silinder baik pejal maupun berongga. Namun ukuran diameternya tidak selalu sama. Biasanya dalam permesinan, poros dibuat bertangga/step agar bantalan, roda gigi maupun *pulley* mempunyai kedudukan dan penahan agar dapat diperoleh ketelitian mekanisme.

F. Pulley

Pulley merupakan suatu alat yang digunakan untuk mempermudah arah gerak tali, yang berfungsi untuk mengurangi gesekan (*fraction*). Secara industrialisasi terdapat banyak jenis *pulley*. *Pulley* ini sudah menjadi suatu sistem kerja mesin. Baik mesin kerja industri maupun mesin kendaraan bermotor. Cara kerja *pulley* ini sering digunakan untuk mengubah arah dari gaya yang diberikan seperti mengirimkan gerak rotasi.

G. Sabuk

Sabuk atau *belt* adalah penggerak berbentuk sabuk bekerja atas dasar gesekan tenaga yang disalurkan dari mesin penggerak dengan cara persinggungan sabuk yang menghubungkan antar *pulley* penggerak dengan *pulley* yang akan digerakkan. Sebaliknya sabuk mempunyai sifat lekat tetapi tidak lengket pada *pulley* dan salah satu *pulley* itu harus dapat diatur.

H. Rangka

Rangka atau sasis adalah kerangka internal yang menjadi dasar produksi sebuah objek, sebagai penyokong bagian-bagian seperti mesin atau alat elektronik objek tersebut. Sasis dapat dianalogikan dengan kerangka tulang pada binatang. Pada kendaraan bermotor seperti mobil, sasis terdiri dari kerangka bagian bawah mobil, roda, transmisi, sistem suspensi, dan mesin. Pada kendaraan tempur lapis baja, sasis dapat terdiri dari bagian bawah badan kendaraan, termasuk roda rantai, mesin, kursi sopir, dan tempat awak kendaraan.

I. Gantri

Gantri bekerja di gerakan oleh motor *stepper*, yang menggunakan tekanan digital untuk bergerak dan melacak gantri. Motor *stepper* memungkinkan gerakan resolusi tinggi dengan menggunakan tekanan untuk menggerakkan motor pada sebagian kecil rotasi. Gantri mengangkat kepala *printer* saat bergerak sepanjang area kerja.

J. Mikrokontroler Arduino Mega 2560

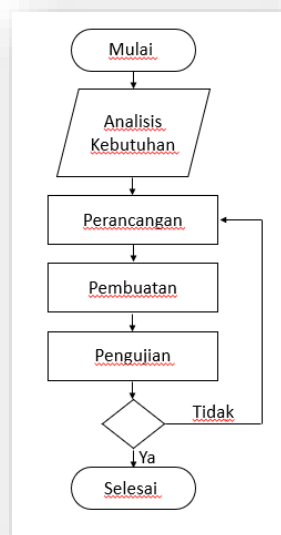
Arduino Mega 2560 adalah papan pengembangan mikrokontroler yang berbasis *Arduino* dengan menggunakan chip *ATmega2560*. *Board* ini memiliki pin I/O yang cukup banyak, sejumlah 54 buah digital I/O pin (15 pin diantaranya adalah PWM), 16 pin analog *input*, 4 pin UART (*serial port hardware*). *Arduino Mega 2560* dilengkapi dengan sebuah oscillator 16 Mhz, sebuah port USB, power jack DC, ICSP header, dan tombol reset. *Board* ini sudah sangat lengkap, sudah memiliki segala sesuatu yang dibutuhkan untuk sebuah mikrokontroler.

K. Firmware Marlin

Marlin adalah *firmware open source* untuk keluarga RepRap yang mereplikasi prototipe cepat — dikenal sebagai “*printer 3D*”. Itu berasal dari Sprinter dan grbl, dan menjadi proyek *open source* mandiri pada 12 Agustus 2011 dengan rilis Github-nya. Marlin dilisensikan di bawah GPLv3 dan gratis untuk semua aplikasi.

III. METODE PENELITIAN

Tahapan atau langkah dalam penelitian ini dapat dilihat pada tabel di bawah.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Secara garis besar tahapan yang dilakukan adalah analisis kebutuhan, perancangan, pembuatan, pengujian dan selesai. Jika pada tahap pengujian

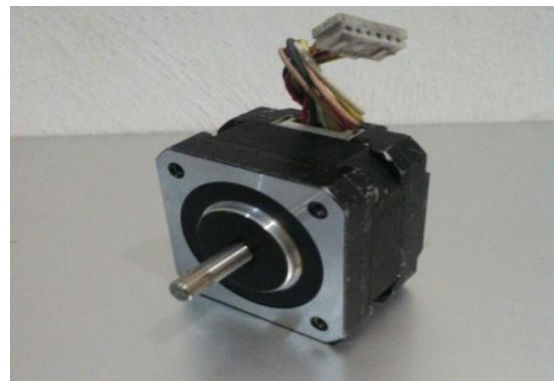
hasil tidak sesuai, maka Kembali lagi ke tahap perancangan.

Pada tahap perancangan, dilakukan proses perancangan pada bagian; rangka, mekanik, sistem kontrol dan kalibrasi. Langkah selanjutnya yaitu tahap perakitan bagian mekanik, pemrograman bagian kontrol dan kalibrasi dan pembuatan alas rangka. Tahap terakhir yaitu pengujian masing-masing bagian.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Spesifikasi dan Proses Perakitan Pada Bagian Mekanik

Komponen-komponen yang digunakan pada bagian mekanik diantaranya; *motor stepper*, ulir penggerak (*leadscrew*), mur ulir penggerak (*nut*), fleksibel kopling, poros, puli, sabuk (*timing belt*) dan lain-lain. Untuk spesifikasi dari komponen-komponen tersebut adalah sebagai berikut:



Gambar 2. Motor *stepper*

Spesifikasi dari motor tipe 17210 G Shinano Kenshi adalah motor dengan gerakan sudut 1,8 derajat/pulsa dengan arus 1A . Tegangan 2,6 VDC, resistance 1,5 *Ohm/phase* inductance 2,8 *mH/phase*, dan *holding torque* 0,3 Nm.



Gambar 3. Ulir Penggerak (*Leadscrew*)

Leadscrew yang dipilih memiliki spesifikasi; diameter 8 mm, antar gang 2 mm dan kepala ulir (*Start*) 4.



Gambar 4. Mur Ulir Penggerak (*Nut*)
Leadscrew Nut Type Trapesium, Lead Pitch
 (antar gang) 2 mm, jumlah kepala ulir 4, *Inner*
Diameter Ø 8 mm, *Structure Trapezoidal* (trapesium)
 dan Material *Brass* (kuningan)



Gambar 5. Fleksibel Kopling
 Flaksibel kopling yang dipakai memiliki
 spesifikasi Diameter dalam : 5mm x 8 mm



Gambar 6. Poros
 Shaft yang dipilih memiliki spesifikasi *Stainless*
Steel SUS 304 dan diameter poros 8mm



Gambar 7. Puli GT 2
 Puli yang digunakan adalah puli GT2 dengan
 ukuran diameter dalam 6 mm dengan spesifikasi:
 Material : *aluminum alloy*
 Jumlah gigi : 20
 Diameter lubang : 5 mm
 Sabuk : GT2 – 6 mm



Gambar 8. Puli *Idler*
 Spesifikasi puli idler yang digunakan adalah
 sebagai berikut:
 Material : *aluminum alloy*
 Diameter luar : 18 mm
 Diameter dalam : 12 mm
 Diameter lubang : 5
 sabuk : GT2 – 6mm
 Tipe : tidak bergigi



Gambar 9. Sabuk (*Timing Belt*)
 Sabuk yang digunakan yaitu seri GT 2 dengan
 lebar 6mm. dengan spesifikasi Seri sabuk GT2
 dirancang khusus untuk gerakan *linier*.
 Puncak Sabuk : 2 mm

Lebar Sabuk : 6 mm
 Panjang : 1 – 2 meter
 Bentuk : *Timing Belt* Ujung Terbuka
 Tinggi sabuk : 1.38 mm
 Tinggi Gigi : 0.75 mm

Nozel ekstrusi : 0.3mm, 0.35m, 0.4mm, 0.5mm (opsional)
 Bahan Cetak : 1.75mm atau 3mm PLA /ABS
 Berat bersih : 450g



Gambar 10. LM8UU

Diameter dalam : 8 mm
 Diameter luar : 15 mm



Gambar 11. V - Wheel

Tipe : *Solid Wheel*
 Diameter dalam : 5 mm
 Diameter luar : 23.5 mm
 Tebal : 11 mm

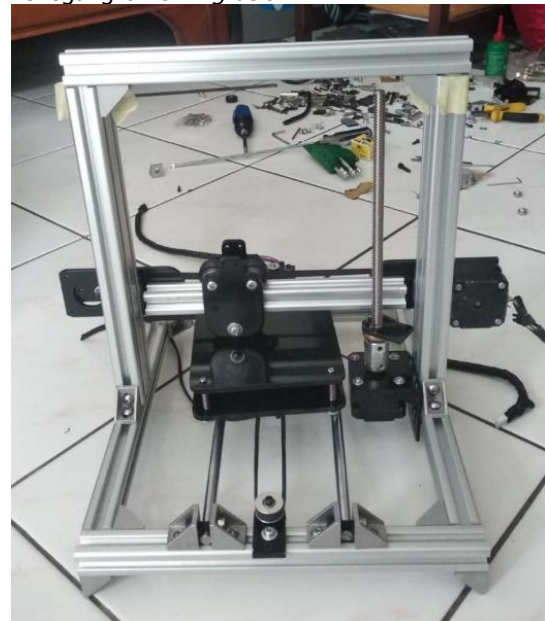


Gambar 12. MK8 Extruder



Gambar 13. *Tensioner Belt*

Fungsi *Tensioner Belt* menstabilkan atau menegangkan *timing belt*.

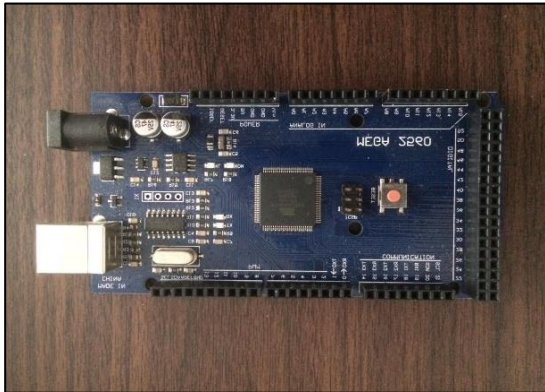


Gambar 14. Hasil Perakitan Bagian Mekanik

Hasil perakitan bagian mekanik dapat dilihat pada Gambar 14 Tahapan dalam proses perakitan bagian mekanik yaitu sebagai berikut;

1. Pemasangan linier motion pada t slot
2. Pemasangan motor *stepper* pada puli dan flaksibel kopling
3. Pemasangan motor *stepper* pada dudukan sumbu X, Y dan Z
 Memasang motor *stepper* sumbu X
4. Pemasangan *v - wheel* pada dudukan sumbu X
5. Pemasangan poros dan LM8UU pada rangka
6. Pemasangan *Timing Belt* sumbu X dan sumbu Y

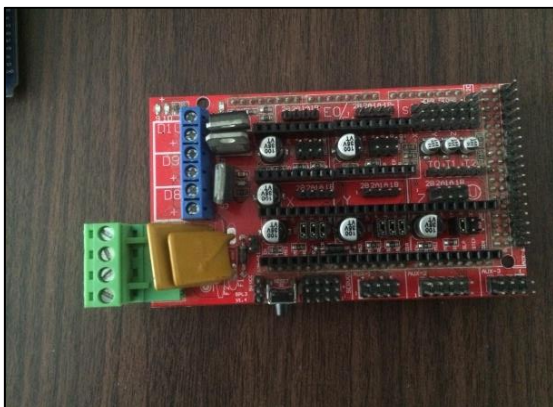
B. Spesifikasi dan Proses Perakitan Pada Bagian Sistem Kontrol dan Kalibrasi



Gambar 14. *Arduino Mega 2560*

Arduino Mega 2560 adalah papan mikrokontroler berdasarkan ATmega2560 (*datasheet*). Ini memiliki 54 pin *input/output* digital (dimana 14 dapat digunakan sebagai *output* PWM), 16 *input* analog, 4 UART (port serial perangkat keras), osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, colokan listrik, header ICSP dan tombol reset.

Daya eksternal (non-USB) bisa datang baik dari adaptor DC atau baterai. Adaptor dapat dihubungkan dengan memasang konektor 2.1mm ke soket daya *board*. Baterai dapat dimasukkan ke dalam header pin Gnd dan Vin pada konektor Power. Papan mikrokontroler dapat beroperasi pada suplai eksternal 6 sampai 20 volt. Jika dipasang dengan kurang dari 7V, pin 5V dapat memasok kurang dari 5 volt dan board mungkin tidak stabil. Jika menggunakan lebih dari 12V, regulator tegangan mungkin terlalu panas dan merusak board. Kisaran yang disarankan adalah 7 sampai 12 volt.



Gambar 15. *Ramps 1.4*

Technical Specifications

Model	Ramps 1.4, Display, A4988 Motordriver
Article No.	ARD-RAMPS-Kit1
Features	Connections for up to 5 Stepper-Motors (X, Y, Z, 2x Extruder)
	3 MOSFET's for Extruder-Heating
	6 Connections for EndStop-Switch or optical EndStops
	Connections for up to 3 temperature sensors
	Connections for HotEnd, component cooling fan and heating bed
	5A Fuse for general circuit
	separat 11A Fuse for heating-bet-circuit
Compatible to	Arduino Mega
	Dimensions (W x D)
Scope of Delivery	Ramps 1.4, Display, 5x A4988 Motordriver
EAN	4250236815954

Gambar 16. Spesifikasi

Berdasarkan keterangan di atas dapat kita ketahui bahwa ramps 1.4 mampu bersinergi dengan A4988 *driver*. Serta bisa berkoneksi dengan 6 limit *switch*, bahkan mampu dikoneksikan dengan LCD.



Gambar 17. *LCD Reprap 2004*

LCD ini dipergunakan sebagai penampil bagian – bagian kontrol secara ringkas dan sederhana. LCD ini memiliki satu buah potensiometer sekaligus *push button* dalam kontaknya. Kontak berputar sebagai pemindah menu keatas dan kebawah apabila ditekan sebagai menu yang terpilih.



Gambar 18. *Driver A4988*

Driver A4988 ini berfungsi sebagai komponen yang berfungsi untuk mengendalikan motor *stepper*. Memiliki spesifikasi sebagai berikut :

- Minimum operasi voltase = 8 V
- Maksimum operasi voltase = 35 V
- Amper per fasa = 1 A
- Maksimum per fasa = 2 A
- Minimum logis voltase = 3 V
- Maksimum logis voltase = 5.5 V
- Resolusi Mikrostep = Full, $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ dan $\frac{1}{16}$



Gambar 19. E3D V6 Hotend

Hotend E3D V6 merupakan bagian pemanas dan peleleh material yang akan di bentuk. Hotend ini memiliki batasan suhu antara 0-240 derajat. Bagian – bagian alat ini meliputi; nozzle, heat block, thermistor, throat, heatbreak, fan, serta selang PTFE. Secara rinci *hotend* ini memiliki kelebihan antara lain:

- Mampu mencetak berbagai bahan dengan catatan memenuhi batasan suhu.
- Bisa mencapai 400 derajat jika diubah pada bagian thermistornya.
- Bentuknya ringkas dengan panjang keseluruhan hanya 62mm.
- Mudah digunakan.
- Hasil printing cukup baik.
- Dapat diadaptasikan dengan printer 3D yang beragam.
- Banyak forum pembahasan mengenai Hotend E3D V6.



Gambar 20. Limit Switch

Limit *switch* yang digunakan memiliki 3 pin konektor. Serta dipergunakan sebagai fungsi limit pada posisi homing.



Gambar 21. MK8 Ekstruder

Komponen ini berfungsi sebagai pendorong filament kepada selang PTFE. Memiliki kelebihan sebagai berikut :

- Stabil dan tahan lama.
- Mudah dipasang.
- Tekanan dorong lebih kuat.
- Tekanan roda gigi dapat di sesuaikan.



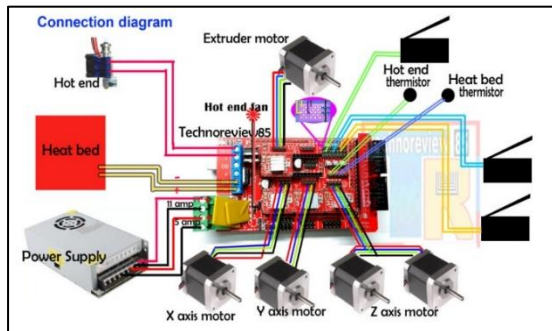
Gambar 22. Motor Stepper

Spesifikasi dari motor tipe 17210 G Shinano Kenshi ini adalah motor dengan gerakan sudut 1,8 derajat/step dengan arus 1 A. Motor *stepper* nema ini termasuk 2 fasa, tegangan 2,6 VDC, resistansi 1,5 Ohm/fasa induktansi 2,8 mH/fasa, dan *holding torque* 0.3 Nm.



Gambar 23. Power Supply

Power supply dengan input tegangan 220V arus AC, mampu mensuplai daya output yaitu 12 VDC dengan arus 6 A.



Gambar 24. Diagram Perakitan

Diagram perakitan untuk sistem kontrol dan kalibrasi dapat dilihat pada Gambar 24 Tahapan dalam perakitan sistem kontrol dan kalibrasi adalah sebagai berikut:

- Pemasangan Ramps 1.4
- Pemasangan Jumper Microstepping
- Pemasangan Driver Motor Stepper A4988
- Pengkabelan Motor Stepper
- Pengkabelan Limit Switch Sumbu X Y dan Z
- Pengkabelan Thermistor
- Pengkabelan Pemanas Hotend
- Pengkabelan Kipas Hotend
- Pengkabelan LCD Reprap Smartcontroller
- Pengkabelan Power Supply

V. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini yaitu diantaranya:

- Komponen yang digunakan dalam perancangan sistem kontrol dan kalibrasi yaitu diantaranya; Arduino Mega 2560, Ramps 1.4, LCD Reprap 2004, Driver Motor A4988, E3D V6 Hotend, Limit Switch, MK8 Ekstruder, Motor Stepper dan Power Supply.
- Proses edit dan upload program pada Arduino dilakukan pada tahap perakitan sistem kontrol dan kalibrasi.
- Pengujian sistem kontrol dan kalibrasi menunjukkan program berjalan dengan baik dan mesin mampu membuat *prototype modelling* 3 dimensi.
- Perancangan bagian rangka yaitu menggunakan *Software Solidworks*.
- Rangka dibuat menggunakan material jenis Tslot 2040, Tslot 2020, V slot 2020 dan *aluminium composite* (bagian alas/*base*).
- Rangka tidak berdeformasi dan mampu menahan beban mesin yang diberikan.
- Komponen yang digunakan dalam perancangan bagian mekanik yaitu Motor Stepper Tipe 17210 G *Shinano Kenshi*, pulley dan *belt*.
- Pengujian pada bagian mekanik menunjukkan hasil yang sesuai dengan perancangan. Untuk pergerakan sumbu x yaitu sebesar 60 mm,

sumbu y yaitu sebesar 80 mm dan sumbu z yaitu sebesar 100 mm.

DAFTAR PUSTAKA

- Carlos Henrique Pereira Mello, (2010). "Systematic proposal to calculate price of prototypes manufactured through rapid prototyping an FDM 3D printer in a university lab". *Emerald Group Publishing Limited*. 2, (1), 4-5.
- Darmanto, joko. 2007. Modul CNC Milling. Bogor: Yudistira, 20017.
- Fitriani, Pakpahan dan Asyirri, 2019. Perancangan Prototype Mesin CNC (Computer Numerically Controlled) Plotter 3 Axis 2D Menggunakan Arduino Uno. *Journal Of Information System*.
- Maha M. Lashin, (2014). "Design and Execution Of a 3d Printer Using a Pla Filament As a New Application of Arduino". *International Journal of Mechanical Engineering and Technology*. 5, (2), 1-2.
- Md. Muzammal Hoque, (2018). "Design and Construction Of a Bowden Extruder For a Fdm 3d Printer Uses 1.75mm Filament". *International Journal of Technical Research & Science*. 4, (5), 3-4.
- Nawaz Motiwala, (2018). "Design of A 3d-Printer". *IOSR Journal of Engineering*. 8, (1), 6-9.
- Sugiyono. 2019. *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta