

Kendali Motor Stepper untuk Pergerakan Sumbu X, Y, Z pada 3D Printer Simetris Bilateral

Wening Ismaranatasia¹, Budhy Setiawan², Subiyantoro³

[Submission: 25-07-2021, Accepted: 31-07-2021]

Abstract— In the industrial world, prototyping is the final stage in verifying the shape, suitability and function of the product. Making a prototype using 3D printer is the right solution because it can print complex components with a short and simple process. In 3D printer, a stepper motor is used as an actuator. The actuator moves the bedplate as X axis, the nozzle as Y +, Y- axis, and Z-bar as Z axis. To produce precise translation distance between input and output, a stepper motor control system is needed. The stepper motor control was tested with the n-channel IRF 540 mosfet as stepper driver and Marlin as firmware. Mosfet is circuited as dual-bridge with IC L297 as a pulse receiver from the microcontroller. The results of the stepper driver settings on motor X is 800 pulse / revolution, motor Y +, Y- are 400 pulse / revolution, and motor Z is 800 pulse / revolution. Although the Marlin firmware obtained the results of setting the translation distance on motor X is 160 pulses / mm, motor Y is 200 pulses / mm, and motor Z is 160 pulses / mm.

Keywords — G-Code, Stepper Motor, Pulse

Intisari— Dalam dunia industri, pembuatan prototype merupakan tahap finalisasi dalam pengecekan bentuk, kesesuaian, dan fungsi produk. Pembuatan prototype menggunakan 3D Printer merupakan solusi tepat karena dapat mencetak komponen yang rumit dengan proses yang singkat dan sederhana. Pada 3D Printer digunakan motor stepper sebagai aktuator. Aktuator menggerakkan bedplate sebagai sumbu X, Nozzle sebagai sumbu Y+,Y-, dan Z-bar sebagai sumbu Z. Untuk menghasilkan kepresisian jarak translasi antara input dan output maka diperlukan sistem kendali motor stepper. Dilakukan pengujian kendali motor stepper dengan mosfet n-channel IRF 540 sebagai driver stepper dan Marlin sebagai firmware. Mosfet dirangkai secara dual-bridge dengan IC L297 sebagai penerima pulse dari mikrokontroler. Hasil setting driver stepper pada motor X sebesar 800 pulse/revolution, motor Y+, Y- sebesar 400 pulse/revolution, dan motor Z sebesar 800 pulse/revolution. Sedangkan pada firmware Marlin diperoleh hasil setting jarak translasi pada motor X sebesar 160 pulse/mm,

motor Y sebesar 200 pulse/mm, dan motor Z sebesar 160 pulse/mm.

Kata Kunci — G-Code, Motor Stepper, Pulse

I. PENDAHULUAN

Dunia industri di bidang manufaktur terus mengalami perkembangan seiring pesatnya perkembangan teknologi. [1] *Rapid Prototyping* atau *Layer Manufacturing* adalah proses produksi suatu produk dengan pembuatan *layer* tiap *layer*, atau penambahan raw material berturut-turut pada *layer* hingga menghasilkan produk sesuai dengan desain yang direncanakan. [2]

Teknologi pencetakan 3D dengan metode Fused Deposition Modeling (FDM) adalah sebuah metode pencetakan bentuk 3D dengan mengubah fasa bahan termoplastik fasa solid dengan cara dipanaskan sehingga meleleh menjadi fasa cair. Dalam proses FDM, terdapat beberapa tahapan, yaitu biji plastik dimasukkan ke dalam nozzle telah mencapai suhu yang diinginkan, biji plastik masuk dalam nozzle yang sudah panas dan ditekan dengan motor sehingga biji plastik akan meleleh dan keluar dari ujung nozzle. Selanjutnya, nozzle yang ditempatkan pada dua Axis Y yaitu Y- dan Y+ dimana nozzle dapat bergerak secara bebas di dalam axis Y+, Y-, di dalam sumbu Z, dan axis X untuk bed plate. Selanjutnya nozzle akan menumpukkan plastik leleh lapis demi lapis sehingga membentuk sebuah objek 3D. [3]

Pada saat pergerakan X,Y+,Y-, dan Z pada nozzle dan bed plate, agar gerakan yang dihasilkan terkoordinasi maka mekanisme sistem gerak tersebut perlu dipasang penggerak yang dapat mengakomodir gerakan yang terkontrol baik pada jarak, pergerakan, arah gerakan dan kecepatan gerak.

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195

¹Mahasiswa, Program Studi D-IV Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, Jln. Soekarno Hatta no. 9 Malang.
e-mail: weningismara@gmail.com

^{2,3}Dosen, Program Studi D-IV Teknik Elektronika Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Malang, Jln. Soekarno Hatta no. 9 Malang.
e-mail: budhy.setiawan@polinema.ac.id, subiyantoro@polinema.ac.id



Gerakan sumbu tersebut dapat dikontrol dengan mengatur sudut putar pada motor stepper.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. G-Code

G-Code adalah bahasa pemrograman yang digunakan manusia untuk memberitahu mesin bagaimana melakukan sesuatu. Untuk printer 3D, *G-Code* berisi perintah untuk mengatur gerakan motor stepper dalam sumbu X,Y dan Z dalam printer 3D . *G-code* terdiri dari G-dan M-perintah yang memiliki gerakan atau tindakan yang akan dilakukan.[4]

B. CNC (Computer Numerical Control)

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).[5]

C. Arduino Mega

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.



Gambar 1. Arduino Mega [1]

Dengan penggunaan yang cukup sederhana, anda tinggal menghubungkan power dari USB ke PC anda atau melalui adaptor AC/DC ke jack DC.[6]

D. Mosfet

MOSFET (*Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor*) adalah suatu transistor dari bahan semikonduktor (silikon) dengan tingkat konsentrasi ketidakmurnian tertentu.[7]Tingkat dari ketidakmurnian ini akan menentukan jenis transistor tersebut, yaitu transistor MOSFET tipe-N (NMOS) dan transistor MOSFET tipe-P (PMOS). Bahan silikon digunakan sebagai landasan (*substrat*) dari penguras (*drain*), sumber (*source*), dan gerbang (*gate*). Selanjutnya transistor dibuat sedemikian rupa agar antara substrat dan gerbangnya dibatasi oleh oksida silikon yang sangat tipis. Oksida ini diendapkan di atas sisi kiri dari kanal, sehingga transistor MOSFET akan mempunyai kelebihan dibanding dengan transistor BJT (*Bipolar Junction Transistor*), yaitu menghasilkan disipasi daya yang rendah.

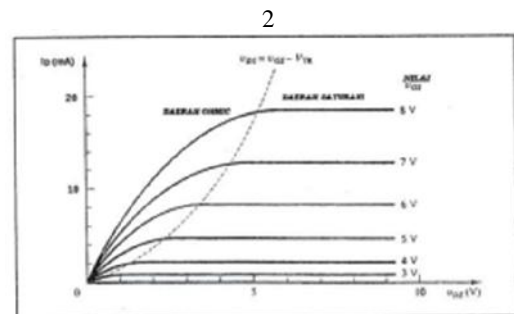
Pada MOSFET terdapat tiga daerah operasi yaitu daerah *cut-off*, linear dan saturasi. Pada daerah *cut-off*, tegangan gerbang lebih kecil dari tegangan ambang, sehingga tidak terbentuk saluran, dan arus tidak dapat mengalir ($I_D = 0$).

Pada daerah linear, pada awalnya gerbang diberi tegangan hingga terbentuk saluran. Apabila *drain* diberi tegangan yang kecil, maka elektron akan mengalir dari *source* menuju *drain* atau arus akan mengalir dari *drain* ke *source*. Selanjutnya saluran tersebut akan bertindak sebagai suatu tahanan, sehingga arus *drain* (I_D) akan sebanding dengan tegangan *drain*.

$$I_D (\text{LIN}) = k_n \left[(V_{GS} - V_T) V_{DS} - \frac{V_{DS}^2}{2} \right]$$

$$I_D (\text{SAT}) = \frac{k_n}{2} (V_{GS} - V_T)^2 \quad (1)$$

Apabila tegangan *drain* terus ditingkatkan hingga tegangan pada *gate* menjadi netral, lapisan inversi saluran pada sisi *drain* akan hilang, dan mencapai suatu titik yang disebut titik pinch-off. Pada titik pinch-off ini merupakan permulaan dari daerah kerja saturasi. Apabila melebihi titik ini, peningkatan tegangan *drain* tidak akan mengubah arus *drain*, sehingga arus *drain* tetap (konstan).



Gambar2. Grafik karakteristik MOSFET arus I_D sebagai fungsi V_{DS} dengan parameter V_{GS} . [8]

Bentuk operasi untuk MOSFET saluran-p adalah sama seperti pada transistor MOSFET saluran-n. pernyataan arus *drain* identik dengan polaritas tegangan dan arah arus terbalik. [7]

$$\bullet \text{ Cut off} = V_{SG,P} - V_{TP} \quad (3)$$

$$I_D(\text{Off}) = 0$$

$$\bullet \text{ Linear} = V_{SG,P} - V_{TP} \text{ dan } V_{SD} = V_{SG,P} + V_{TP} \quad (4)$$

$$I_{D,P}(\text{LIN}) = K_p[(V_{SG,P} - V_{TP})V_{SD,P} - \frac{V_{SD,P}^2}{2}] \quad (5)$$

$$\bullet \text{ Saturasi} = V_{SG} - V_{TP} \text{ dan}$$

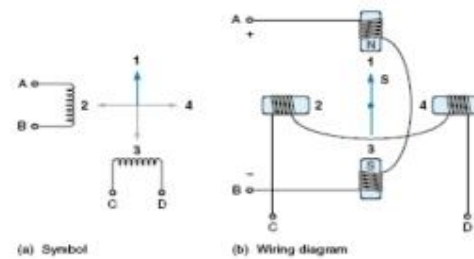
$$V_{SD,P} = V_{SD,P} + V_{TP} \quad (6)$$

$$I_{D(\text{SAT})} = \frac{K_p}{2}(V_{SG,P} - V_{TP})^2 \quad (7)$$

E. Motor Stepper

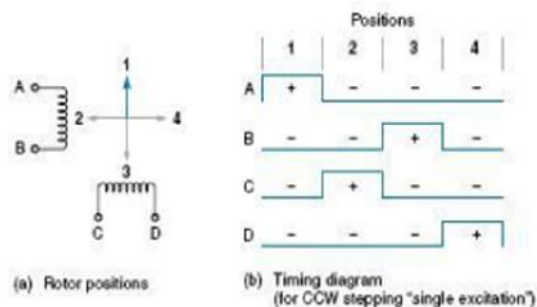
Motor stepper merupakan motor DC yang tidak mempunyai komutator. Motor stepper dapat berputar atau berotasi dengan sudut *step* yang bisa bervariasi tergantung motor yang digunakan. Ukuran *step* (*step size*) dapat berada pada *range* 0,90 sampai 900. Misalnya sudut *step* $7,5^0$; 15^0 ; 30^0 dan seterusnya tergantung aplikasi atau kebutuhan yang diinginkan. Posisi putarannya pun relatif eksak dan stabil.

Operasi motor stepper dalam keadaan *open-loop* harus memberikan *step* (langkah putaran) sesuai dengan perintah atau kontrol yang diberikan pada motor stepper tersebut. Jika beban terlalu besar motor tak dapat bergerak normal atau diam sama sekali, hal ini disebabkan karena boleh jadi tidak cukup torsi (*torque*) untuk melakukan *stepping*. Dalam keadaan demikian, mungkin rotor dapat bergerak sedikit ketika mendapat *step pulse* (pulsa) tetapi kemudian jatuh kembali ke posisi semula. Keadaan ini disebut *stalling*. Jika tidak digunakan *feedback* (umpan balik), kontroler tidak dapat mengetahui apakah terjadi kegagalan *stepping*.



Gambar 3. Symbol dan Wiring Diagram Motor Stepper Bipolar [7]

Motor stepper dua-phase (bipolar) mempunyai konstruksi yang mirip dengan jenis unipolar, hanya tidak terdapat *tap* pada kumparannya (gambar 7). Penggunaan motor stepper jenis bipolar memerlukan rangkain yang agak lebih rumit untuk mengatur agar motor ini dapat berputar dalam dua arah. Untuk menggerakkan motor stepper jenis ini biasanya diperlukan sebuah *driver* motor yang dikenal dengan nama *H bridge*. Rangkaian ini akan mengontrol setiap kumparan secara terpisah (*independent*) termasuk polaritas untuk setiap kumparan.



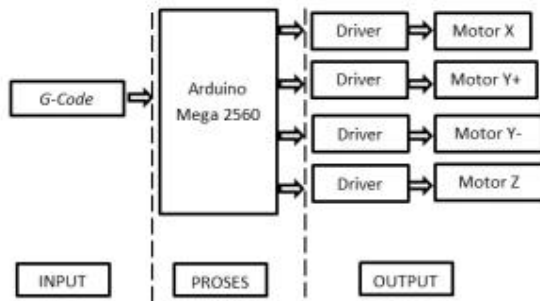
Gambar 4. Operasi Motor Stepper Dua Phase (Bipolar) [7]

Rangkaian kontroler berbasis mikroprosesor/mikrokontroler atau berupa rangkaian digital seperti yang ditunjukkan pada gambar 18(a) dapat digunakan untuk mem-bangkitkan bentuk-gelombang pewaktu (*timing waveform*) Pencacah maju/mundur (*up/down counter*) 2-bit yang mencacah setiap pulsa yang diterima pada masukan naik (*up input*) dan mencacah turun untuk setiap pulsa yang diterima pada masukan turun (*down input*). Q_a dan Q_b dari pencacah maju/mundur didekodekan pada *decoder* 2-ke-4. Sebagai pencacah adalah selalu berada pada salah satu dari empat keadaan (00, 01, 10, 11), satu (dan hanya satu) dari keluaran decoder yang "high" pada satu waktu. Gambar 18(b) menunjukkan keluaran dekoder bila *counter* mencacah naik (hasil pulsa CCW dari kontroler). [8]



III. METODE PENELITIAN

A. Diagram Blok Sistem



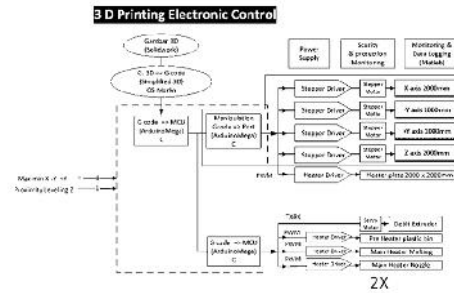
Gambar 5. Diagram Blok Sistem

Alur Prinsip Kerja dari alat *3D Printer* terbagi menjadi 3 bagian yaitu *G-Code* sebagai input, *Arduino Mega* sebagai proses, dan *Motor Stepper* sebagai output. Desain 3D yang di desain menggunakan *software SolidWorks* merupakan objek simetris bilateral. Desain 3D disimpan dalam bentuk format file *STL*. Format file *STL* akan dimasukkan pada *software simplify 3D* dimana berfungsi untuk menghasilkan *G-Code* dari desain 3D yang dibuat. *Software simplify 3D* akan mengiris bagian- bagian dari desain 3D yang telah dibuat. Lalu bagian – bagian yang teriris akan ditampilkan berupa koordinat dengan *G-Code*. Setelah *G-Code* diketahui, maka kode – kode tersebut akan dimasukkan pada *Arduino Mega* untuk menggerakkan aktuator. *Arduino Mega* hanya memahami bahasa C, maka dari itu perlu adanya konversi dari *G-Code* menjadi bahasa C agar dapat dipahami oleh *Arduino Mega* dengan menggunakan firmware yang terdapat dalam *Arduino Mega* yaitu *firmware Marlin*. Setelah *G-Code* diketahui, maka kode – kode tersebut akan dimasukkan pada *Arduino Mega* untuk menggerakkan motor. Output dari *G-code* yang telah dikonversi dalam *Arduino Mega* akan menggerakkan aktuator, yaitu *Motor Stepper*. *Motor Stepper X* berada pada sumbu X dimana digunakan untuk pergerakan maju dan mundur pada *bedplate*. *Motor Stepper Y* berada pada sumbu Y. Pada bagian ini terdapat 2 sumbu yaitu Y+ dan Y- yang bergerak dengan jarak yang sama namun berlawanan arah. Karena terdapat 2 sumbu maka terdapat *double nozzle*. Karena terdapat *double nozzle* maka terdapat 2 motor stepper sebagai aktuator. Sedangkan *Motor Stepper Z* berada pada sumbu Z dimana digunakan untuk pergerakan *nozzle* saat ke atas dan ke bawah.

Untuk proses *heating* pada *extruder* dan *bedplate* terdapat *heater extruder* dan *heater bedplate*. *Heater Extruder*

adalah heater yang berada pada *extruder* yang berfungsi sebagai pemanas biji plastik yang akan dicetak. *Heater Extruder* menggunakan *heat rod* sebagai komponen pemanas. Sedangkan *Heater bedplate* adalah heater yang berada pada *bedplate* yang berfungsi sebagai pemanas agar hasil cetakan yang sudah jadi tidak menempel pada dasar *bedplate* tersebut.

B. Electronic Control



Gambar 6. Electronic Control.

C. Perencanaan Mekanik

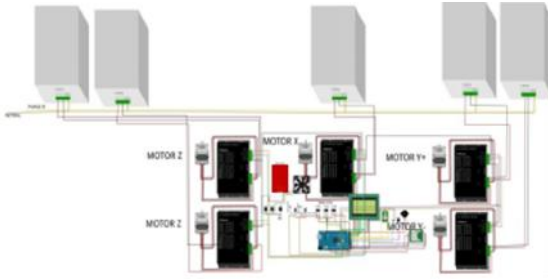
- a. Dimensi :
 1. Panjang : 2 m
 2. Lebar : 2 m
 3. Tinggi : 2 m
 4. Berat: 1000 kg
- b. Jenis Motor : Motor Stepper Bipolar 2 phase Nema 34, Motor Stepper Bipolar 2 phase Nema 23
- c. Jenis Prosesor : *Arduino Mega 2560*
- d. Bahan case/ base : Besi, stainless steel
- e. Sumber Daya : DC Power Supply 48 volt 10 ampere, DC Power Supply 24 volt 10 ampere



Gambar 7. Alat Keseluruhan



D. Perencanaan Elektronik Sistem



Gambar 8. Rangkaian Sistem Keseluruhan

Rangkaian elektronika sistem secara keseluruhan ini terdiri dari :

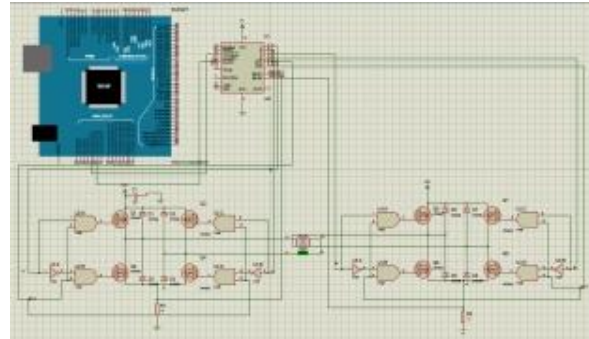
1. Arduino Mega sebagai Mikrokontroler
2. LCD sebagai display setting 3D Printer
3. Driver DM 860, DM 542 sebagai driver motor stepper
4. Motor Stepper Bipolar 2 Phase Nema 23 1,8° /rev Nema 23 dan Nema 34 sebagai actuator
5. Sensor Proximity sebagai homing saat kalibrasi pada sumbu X, Y, Z
6. Limit Switch sebagai sistem safety pada sumbu X, Y, Z
7. Sensor Encoder sebagai alat sensor jarak translasi yang dihasilkan motor pada sumbu X, Y, Z.
8. Sensor ACS sebagai alat sensor arus pada tiap – tiap power supply
9. Rangkaian Driver Heater AC sebagai heater bedplate
10. Rangkaian Driver Heater DC (HeatRod) sebagai Driver Heater Extruder
11. Power supply 12 V sebagai sumber tegangan untuk Mikrokontroler
12. Power Supply 24 V sebagai sumber tegangan untuk Motor Stepper Nema 23
13. Power Supply 48 V sebagai sumber tegangan untuk Motor Stepper Nema 34

Pin –pin yang digunakan Arduino Mega pada rangkaian elektronik keseluruhan 3D Printer adalah sebagai berikut :

1. Pin A0 = X-step
2. Pin A1 = X-dir
3. Pin D38 = X-enable
4. Pin A6 = Y-step
5. Pin A7 = Y-dir
6. Pin A1 = Y-enable
7. Pin D46 = Z-step
8. Pin D48 = Z-dir
9. Pin A8 = Z-enable
10. Pin D38 = X-min (proximity X)

11. Pin D14 = Y-min (proximity Y)
12. Pin D18 = Z-min (proximity Z)
13. Pin A13 = Thermistor 0
14. Pin A14 = Thermistor 1
15. Pin A15 = Thermistor

E. Perencanaan Driver Motor Stepper



Gambar 9. Rangkaian Elektronik Driver Motor Stepper

Rangkaian diatas merupakan rangkaian driver motor stepper yang digunakan pada Sumbu Y. Motor yang digunakan pada sumbu Y merupakan motor stepper nema 23 dengan spesifikasi motor tersebut membutuhkan tegangan input sebesar 24V dan membutuhkan arus sebesar 4,2 A. Berdasarkan spesifikasi motor tersebut maka dibutuhkan driver yang sesuai sehingga dapat me-*drive* motor tersebut.

Rangkaian Driver diatas menggunakan Arduino Mega sebagai Mikrokontroler, IC L297 sebagai penerima clock/ pulse dari mikrokontroler, serta rangkaian *dual-bridge* menggunakan mosfet n-channel IRF 540.

IC L297 biasanya digunakan dengan *dual-bridge* driver, darlington, dan power diskrit untuk *driving* stepper motor. IC L297 menerima step clock, direction, dan mode sinyal dari sistem controller. Translator pada IC L297 akan membangkitkan pulse yang diterima dari mikrokontroler. Translator akan men-*drive* motor dengan beberapa mode, seperti *normal drive*, *wave drive*, dan mode *half-step*. Berikut pin – pin yang digunakan pada IC L297 dan fungsinya :

- Pin Half/Full : pin yang digunakan untuk memilih mode *driving* motor
- Pin CW/CCW : pin yang digunakan untuk menentukan arah rotasi motor
- Pin clock : pin untuk menerima pulse dari mikrokontroler
- Pin A,B,C,D : pin output untuk menggerakkan coil motor stepper dengan menghubungkannya pada rangkaian H-bridge



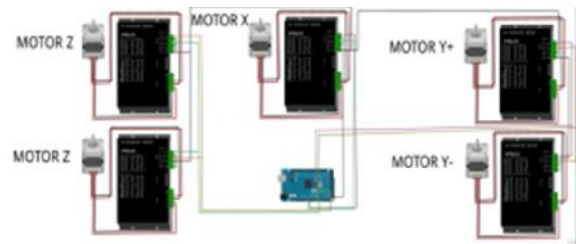
- Pin INH 1, INH 2: pin yang langsung connect dengan input L298 dan digunakan untuk mempercepat penghilangan arus saat coil motor *de-energized*
- Pin sense 1,2 : pin yang berfungsi untuk mereset flip flop dan memotong arus saat mencapai maksimum

Output dari IC L298 adalah pulse dimana pulse tersebut akan menjadi inputan pada rangkaian H-Bridge *driving* motor. Rangkaian H-bridge yang digunakan terdiri atas 2 buah rangkaian H-bridge atau yang disebut *dual-bridge*. Rangkaian *dual-bridge* tersebut menggunakan mosfet n-channel IRF540. Pada rangkaian *dual-bridge* tersebut tampak bahwa pada masing-masing kaki gate mosfet H-bridge dihubungkan dengan sebuah gerbang logika AND yang salah satu kaki inputnya digabung dan dihubungkan dengan kaki A+ (input 1) dan A- (Input 2). Kemudian input salah satu gerbang AND (yaitu gerbang AND bagian bawah) diberi inverter (pembalik kondisi) yang berfungsi untuk pembalik sinyal. Selanjutnya kaki input yang kedua pada keempat gerbang AND dihubungkan dengan kaki EnA (Enable A). Kaki EnA berfungsi untuk mengaktifkan atau menonaktifkan rangkaian H-bridge mosfet dimana dihubungkan dengan pin INH 1 dan ONH 2 pada IC L297.

Berdasar penjelasan diatas, maka terdapat beberapa pin pada rangkaian *dual-bridge* yang digunakan untuk menggerakkan motor stepper :

1. Input A+, A-, B+, B- (pada kaki ic not) : input tersebut mendapat inputan dari IC L297 dimana diatur secara bersamaan namun berkebalikan logikanya dimana digunakan untuk mengatur arus yang masuk pada coil motor stepper sehingga dapat menentukan arah putar motor stepper
2. Kaki Enable A (EN A) dan Enable B (EN B) : kaki enable a dan b tersebut dihubungkan dengan IC L297 pada pin INH 1, dan INH 2 dimana berfungsi untuk mengaktifkan atau menon-aktifkan rangkaian *dual-bridge*. Rangkaian tersebut akan aktif saat diberi logika HIGH (7 volt) pada kaki enable dan tidak aktif apabila diberi logika LOW (0 volt) pada kaki enable.
3. Dioda : rangkaian diode pada rangkaian berfungsi untuk mencegah terjadinya induksi balik dari motor stepper atau GGL induksi motor stepper saat motor stepper off karena pada lilitan masih terdapat muatan listrik sehingga tidak merusak rangkaian *dual-bridge*.

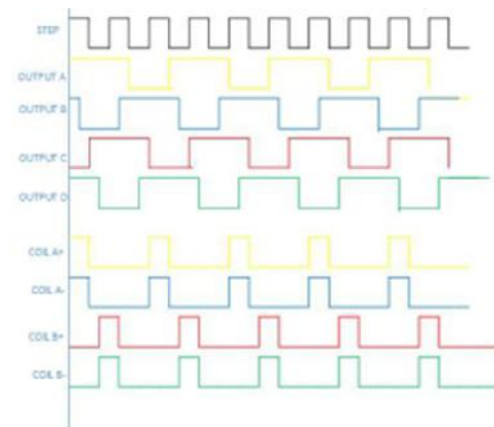
F. Perencanaan Motor Stepper



Gambar 10. Rangkaian Motor Stepper

Pada alat 3D Printer yang terdiri atas sumbu X, Y, Z menggunakan actuator berupa Motor Stepper. Pada Sumbu X menggunakan 1 buah motor stepper, pada sumbu Y menggunakan 2 buah motor stepper yang disusun parallel, dan disumbu Z menggunakan 2 buah motor stepper yang disusun parallel. Motor Stepper yang digunakan pada sumbu X menggunakan motor stepper Nema 34 dengan torsi 12Nm dan driver DM860, pada sumbu Y menggunakan motor stepper Nema 23 dengan torsi 3,6 Nm, dan pada sumbu Z menggunakan motor stepper Nema 34 dengan torsi 12Nm.

Berikut adalah timing diagram pulse motor stepper :

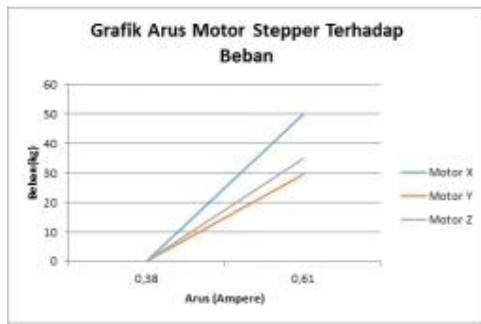


Gambar 11. Timing Diagram Pulse Motor Stepper

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

- A. *Pengujian Arus Motor Stepper Tidak Berbeban dan Dengan Beban*





Gambar 12. Grafik Arus Motor Stepper Tidak Berbeban dan Dengan Beban

Berdasarkan grafik diatas maka arus motor stepper akan naik apabila diberi beban. Sehingga hubungan antara arus motor stepper dan beban motor berbanding lurus. Hal ini dikarenakan mengacu pada perhitungan torsi di Bab 3., bahwa semakin berat beban yang digerakkan oleh motor maka semakin naik juga torsi yang dibutuhkan motor untuk memutar beban tersebut. Hal tersebut dapat dilihat dari persamaan berikut.

$$T_a = \phi I_a \quad (8)$$

Keterangan =

T_a = Torsi Motor
 ϕ = fluks magnet
 I_a = arus motor

Karena motor beroperasi dengan tegangan sumber yang konstan, fluks magnet juga konstan, sehingga persamaan (1) dapat dinyatakan sebagai:

$$T_a \approx I_a \quad (9)$$

Dengan demikian, hubungan antara Torsi dan Arus berbanding lurus. Jadi, beban yang digerakkan motor berbanding lurus dengan torsi dan torsi berbanding lurus dengan arus.

B. Pengujian Pulse Motor Stepper dengan Jarak Translasi Motor Stepper

a. Motor X



Gambar 13. Grafik Pulse Motor X Terhadap Jarak Translasi

Pulse motor diperoleh berdasarkan hitungan berikut ini .

Diketahui :

Pitch Ulir = 5mm

Microstep Driver = 800 pulse/rev

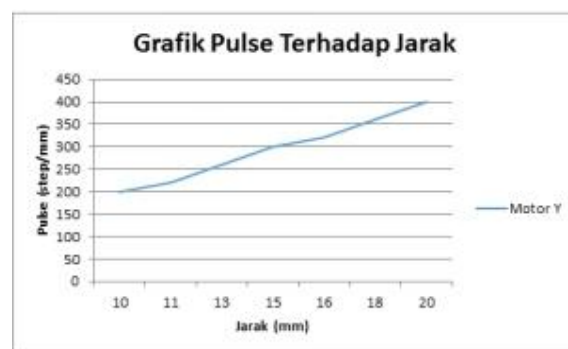
Axis Step per Unit = Microstep Driver/Axis Stepper Unit

$$= \frac{800}{5}$$

=160 step/mm

Berdasarkan perhitungan diatas maka saat microstep driver diinputkan 800 pulse/rev maka axis step per unit yang sesuai adalah 160 step/mm. Hal ini dapat dilihat pada tabel, saat perintah G-Code diinputkan G0 X50 yang artinya motor berpindah 50mm, axis step per unit di set 160 step/mm akan menghasilkan jarak yang sesuai dengan perintah G-Code.

b. Motor Y



Gambar 14. Grafik Pulse Motor Y Terhadap Jarak Translasi

Pulse motor diperoleh berdasarkan hitungan berikut ini .



Diketahui :

$$\text{Pitch Ulir} = 2\text{mm}$$

$$\text{Microstep Driver} = 400 \text{ pulse/rev}$$

$$\text{Axis Step per Unit} = \frac{\text{Microstep Driver}}{\text{Axis Stepper Unit}}$$

$$= \frac{400}{2}$$

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

Berdasarkan perhitungan diatas maka saat microstep driver diinputkan 800 pulse/rev maka axis step per unit yang sesuai adalah 200 step/mm. Hal ini dapat dilihat pada tabel, saat perintah G-Code diinputkan G0 Y10 yang artinya motor berpindah 10mm, axis step per unit di set 200 step/mm akan menghasilkan jarak yang sesuai dengan perintah G-Code.

c. Motor Z



Gambar 15. Grafik Pulse Motor Z Terhadap Jarak Translasi

Pulse motor diperoleh berdasarkan hitungan berikut ini .

Diketahui :

$$\text{Pitch Ulir} = 5\text{mm}$$

$$\text{Microstep Driver} = 800 \text{ pulse/rev}$$

$$\text{Axis Step per Unit} = \frac{\text{Microstep Driver}}{\text{Axis Stepper Unit}}$$

$$= \frac{800}{5}$$

$$= 160 \text{ step/mm}$$

Berdasarkan perhitungan diatas maka saat microstep driver diinputkan 800 pulse/rev maka axis step per unit yang sesuai

adalah 160 step/mm. Hal ini dapat dilihat pada tabel, saat perintah G-Code diinputkan G0 Z30 yang artinya motor berpindah 50mm, axis step per unit di set 160 step/mm akan menghasilkan jarak yang sesuai dengan perintah G-Code.

C. Analisa Error Jarak Translasi Motor Stepper

Berdasarkan prosentase error jarak translasi dari Motor X, Y, Z pada Motor X memiliki error 0%, pada Motor Y memiliki error > 0%, sedangkan pada Motor Z memiliki error 0%. Pada motor Y terdapat penyebab error > 0% adalah ulir pada sumbu Y mengalami kebengkokan sehingga jarak translasi yang dihasilkan saat pergerakan pada sumbu Y tidak presisi. Pada sumbu Y jika ulir dalam keadaan normal saat 1 putaran akan menghasilkan jarak 2mm, namun karena bengkok jarak yang dihasilkan menjadi tidak sesuai.

D. Pengujian Frekuensi Motor Stepper dengan Kecepatan Motor Stepper



Gambar 16. Grafik Frekuensi Motor X Terhadap Kecepatan



Gambar 17. Grafik Frekuensi Motor Y Terhadap Kecepatan





Gambar 18. Grafik Frekuensi Motor Z Terhadap Kecepatan

Berdasarkan hasil pengujian tersebut maka saat menginputkan G-Code dengan jarak yang sama namun kecepatan berbeda maka akan menghasilkan frekuensi yang berbeda. Semakin besar kecepatan maka semakin besar frekuensi yang dihasilkan. Karena semakin besar frekuensi maka semakin banyak pulse yang dihasilkan tiap satuan waktu sehingga menyebabkan kecepatan bertambah.

$$V = \frac{\text{step angle motor stepper}}{360^\circ} \times \text{Frekuensi} \quad (10)$$

Berdasarkan persamaan tersebut maka dapat diketahui bahwa kecepatan motor stepper sumbu X, Y, dan Z dipengaruhi oleh besar frekuensi.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan, yaitu:

1. Pada Motor Sumbu Y terdapat error > 0% antara jarak translasi yang direncanakan dengan jarak translasi yang terukur karena terdapat kebengkokan pada ulir sumbu Y
2. Berdasarkan pengujian arus motor, semakin besar beban maka arus yang dihasilkan semakin besar karena saat beban meningkat maka torsi motor juga akan meningkat
3. Berdasarkan pengujian pulse terhadap jarak, maka semakin banyak pulse semakin besar jarak translasi motor yang dihasilkan.
4. Berdasarkan pengujian pulse terhadap jarak, pengaturan pulse/mm pada firmware Marlin yang dapat menghasilkan jarak translasi yang presisi adalah pada sumbu X sebesar

160 pulse/mm, pada sumbu Y sebesar 200 pulse/mm, pada sumbu Z sebesar 160 pulse/mm.

5. Berdasarkan pengujian frekuensi terhadap kecepatan, semakin besar frekuensi maka kecepatan motor akan meningkat.
6. Berdasarkan pengujian frekuensi terhadap kecepatan, pada sumbu X motor dapat berputar hingga frekuensi 15kHz, pada sumbu Y motor dapat berputar maksimal pada frekuensi 3,4kHz, pada sumbu Z motor dapat berputar hingga frekuensi 200kHz.

B. Saran

Rancangan yang dibuat ini masih perlu adanya perbaikan agar bekerja secara optimal. Ada beberapa hal yang direkomendasikan untuk pengembangan lebih lanjut diantaranya:

1. Komponen rangkaian driver motor harus dilakukan pengecekan terlebih dahulu sebelum dipasang pada suatu sistem
2. Memilih spesifikasi motor yang lebih baik agar perpindahan pergerakan motor pada 3D Printer lebih presisi
3. Untuk aplikasi motor dengan kecepatan dan kepresisian tinggi maka perlu dilakukan riset ulang terhadap firmware yang digunakan

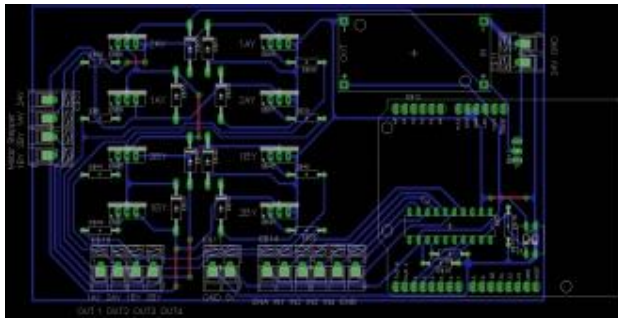
DAFTAR PUSTAKA

- [1] A K.-D. Chu, A. Lacaze, K. Murphy, E. Mottern, K. Corley, and J. Frelk, "3D Printed Rapid Disaster Response," *IEEE International Symposium on Technologies for Homeland Security (HST)*, pp. 1-6, April 2015.
- [2] CHI-HUANG LU, T. CHING-CHIH, "Multivariable Self-Tuning Temperature Control for Plastic Injection Molding Process", *IEEE Journal*, 2000
- [3] K. Rizki Hanani, Alila Damayanti (2015). "Kajian Pirolisis Plastik Low Density Polyethylene Dan Poly Propilene sebagai Bahan Bakar". Thesis Teknik Lingkungan ITS, Surabaya.
- [4] Umbu Kaleka, M. Bili. (2019). Thermistor Sebagai Sensor Suhu. Artikel Pendidikan Fisika Universitas Flores, Nusa Tenggara Timur, 1(4).
- [5] Sulayman, Donny. (2015). Pengaruh Suhu dari Heater Nozzle Terhadap Produk Printer 3D. Tugas Akhir Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah, Surakarta.
- [6] Suryatini, Fitria; Firasanti, Annisa. (2018). Kendali P, PI, dan PID Analog Pada Pengaturan Kecepatan Motor DC Dengan Penalaan Ziegler – Nichols. *JERC (Journal of Electrical and Electronics)*, 6(1).
- [7] Katsuhiko, Ogata. 1997. *Modern Control Engineering Third Edition*. University Of Minnesota.



- [8] Kuspriyanto dan H. Seputro.(2014). Mesin CNC. Jurnal Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Bandung. 46A (1): 1-6
- [9] Sumantri, Dede. 2012. Peningkatan Kinerja Mesin Rapid Prototyping Berbasis Fused Desposition Modelling. *Skripsi*. Jakarta: Universitas Indonesia
- [10] Sumbodo, W.dkk. 2008. *Teknik Produksi Mesin Industri*. Jakarta: Direktorat Pembinaan Sekolah Menengah Kejuruan.
- [11] More, M. P. (2013). 3D Printing Making the Digital Real. *International Journal of Engineering Science & Research Technology*, ISSN 2277-9655, 1822-1925.Hasan, M. Iqbal. 2002. Pokok – Pokok Materi Metodologi Penelitian dan Apikasinya. Bogor: Ghalia, Indonesia.
- [12] S.Xiayoung, C.Liangcheng,M.Hinglin, G.Peng, B.Zhanwei, L.Cheng.” Experimental Analysis of High Temperature PEEK Materials on 3D Printing test”, *IEEE 9th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*, 2017.
- [13] Mila Fauziah. 2012. Praktikum Rangkaian Listrik 1. Malang. Politeknik Negeri Malang
- [14] Maulana Majid. 2016. Implementasi ARDUINO MEGA 2560 untuk Kontrol Miniatur Elevator Barang Otomatid. Semarang: Universitas Negeri Semarang.
- [15] Malik, Shadan. 2005. Enterprise Dashboards – Design and Best Practices for IT. John Wiley & Sons, Inc

LAMPIRAN



Gambar 19. Layout Driver Motor Stepper

