

IMPLEMENTASI PERGERAKAN INTERPOLASI MOTOR STEPPER DENGAN MENGGUNAKAN METODE *BRESENHAM* PADA MESIN GRAFIR 3D BERBASIS *RASPBERRY PI 3*

Muhammad Edo Fadilah
Gungun Maulana, S.Pd., M.T., dan Hendy Rudiansyah, S.T., M. Eng.

Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung
Jl. Kanayakan 21, Bandung 40135, Indonesia

ABSTRAK

Mesin grafir 3D adalah mesin yang digunakan untuk melakukan pemakanan pada permukaan benda kerja sesuai dengan keinginan pengguna. Terdapat empat buah penggerak pada mesin, yaitu tiga buah motor stepper bipolar dua fase untuk menggerakkan sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z dan sebuah motor DC untuk memutar spindle. Mesin ini menggunakan mikrokomputer *Raspberry PI 3* model B sebagai pengendali dan *Labview 2014* sebagai antarmuka.

Pada mesin grafir 3D diperlukan kemampuan interpolasi agar mesin dapat bergerak secara simultan menggunakan sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z sehingga dihasilkan pergerakan linear. Untuk melakukan interpolasi tiga sumbu antara sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z digunakan metode *Bresenham*. Algoritma *Bresenham* diimplementasikan pada mikrokomputer *Raspberry PI 3* model B dengan menggunakan pemrograman Python. Driver motor stepper yang digunakan pada mesin ini adalah *Toshiba TB 6560*.

Metode *Bresenham* digunakan untuk menghasilkan interpolasi linear. Hasil perhitungan *Bresenham* dapat digunakan untuk menggerakkan motor stepper dan menampilkan simulasi pergerakan pada antarmuka *Labview 2014*. Pengujian hardware dilakukan dengan mengukur hasil interpolasi yang dihasilkan oleh mesin.

Kata kunci: Mesin Grafir 3D, *Bresenham*, Interpolasi.

1. PENDAHULUAN

1.1 Tujuan

Tujuan dari proyek akhir ini adalah sebagai berikut:

- Membuat kontrol mesin CNC grafir 3D berbasis mikrokomputer *Raspberry PI* yang mampu melakukan pergerakan secara manual dan pergerakan secara otomatis menggunakan *G-Code* hasil konversi sehingga dihasilkan pola tertentu; dan
- Mampu menerapkan metode *Bresenham* sebagai metode interpolasi linear pada mesin CNC grafir 3D; dan
- Menguji hasil interpolasi linear pada sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z dengan menggunakan metode *Bresenham*.

1.2 Teknologi

Teknologi yang digunakan pada proyek akhir ini secara keseluruhan adalah teknologi mesin produksi yang melibatkan teknik kendali. Berikut adalah perangkat-perangkat yang digunakan untuk merealisasikan mesin grafir 3D.

1.2.1 Unit umum

- Unit antarmuka: PC/Komputer (*LabView 2014*)
- Unit pengendali: Mikrokomputer – *Raspberry PI 3 Model B*
- Unit mekanik: *Plant CNC Engraving 2.5D 3040ZA – Q17*

1.2.2 Perangkat keras

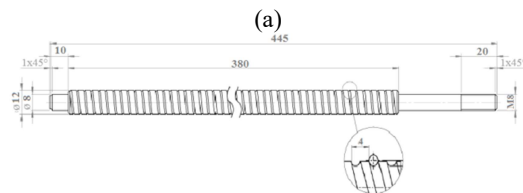
- Motor Stepper : *Two-Phase-hybrid-stepping motor 57BYGH56-4011YD 24 VDC, 1.4A/phase, 1.8°/step*
- Motor DC: 24 VDC – 500 Watt
- Driver Stepper: *Toshiba TB6560*
- Driver DC : IC IR2110 & MOSFET IRF540

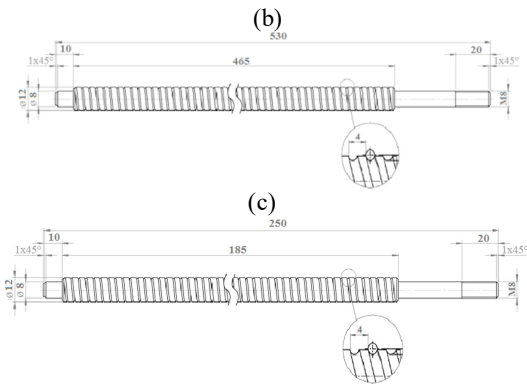
1.2.3 Perangkat lunak

- LabVIEW 2014*, digunakan untuk membuat program antarmuka mesin;
- Python 3.6.4*, digunakan untuk membuat program inti yang mengendalikan pergerakan mesin;
- Proteus 8.6*, digunakan untuk membuat desain PCB dan skematik unit pengendali motor DC;
- Solidworks 2016*, digunakan untuk membuat desain panel kontrol; dan
- Autodesk Fusion 360*, digunakan untuk konversi *G-Code*.

1.2.4 Konstruksi mekanik

Gambar di bawah ini adalah spesifikasi *ball screw* pada *plant*.





Gambar 1.1 (a) *Ball screw* sumbu X, (b) *ball screw* sumbu Y, (c) *ball screw* sumbu Z. [5]

1.3 Metodologi Penulisan

Penyelesaian masalah dalam proyek akhir ini menggunakan metode sebagai berikut.

- Studi pustaka, yaitu melakukan pengumpulan data dari buku-buku, jurnal, dan artikel di internet.
- Studi analisis, yaitu melakukan analisis dari teori dan hasil pengamatan.
- Metode wawancara, yaitu dengan mendapatkan informasi dari alumni, serta melalui bimbingan dengan dosen-dosen, terutama dosen pembimbing.
- Studi lapangan, yaitu melakukan pengumpulan data dari hasil pengamatan.

2. PROSES PENYELESAIAN PROYEK

2.1 Gambaran Umum Sistem

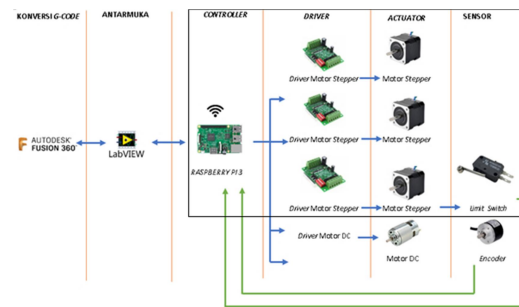
Mesin CNC grafir 3D menggunakan tiga buah motor stepper bipolar dan sebuah motor DC yang berfungsi sebagai spindle. Masing-masing poros motor stepper dihubungkan dengan poros ball screw menggunakan coupling. Ball screw berfungsi untuk mengubah gerakan rotasi menjadi gerakan linear. Ball screw dipilih untuk mengurangi terjadinya backlash. Sementara poros motor DC dihubungkan langsung dengan spindle untuk memutar alat potong.

Gambar 2.1 menjelaskan gambaran umum sistem mesin CNC grafir 3D yang dikerjakan. User menyiapkan 3D File berbentuk stl dan memanggil software G-Code Converter (Autodesk Fusion 360) untuk mengonversi 3D File menjadi G-Code, F-Code, M-Code, dan S-Code. Hasil konversi disusun, diurutkan, dan dikirim oleh antarmuka LabView ke pengendali Raspberry Pi berupa data string. Pemrograman Python akan melakukan parsing data pada tiap baris dan memproses data tersebut.

Data G-Code dan F-Code diolah oleh Python untuk diimplementasikan pada algoritma Bresenham sehingga didapatkan informasi berupa posisi dan kecepatan yang dikirim berupa Pulse Width Modulation (PWM) ke driver motor stepper untuk diolah menjadi pulsa eksitasi motor stepper. Sementara itu, Data S-Code dan M-Code diolah untuk diimplementasikan menjadi informasi

pergerakan spindle berbasis kendali Proportional Integral (PI) yang dijadikan PWM untuk dikirim ke driver motor DC untuk diolah menjadi tegangan eksitasi motor DC.

Sinyal digital Limit Switch dikonversi menjadi tanda batas pergerakan sumbu sedangkan pulsa encoder dikonversi menjadi informasi pergerakan spindle yang akan mempengaruhi umpan balik kendali PI spindle. Informasi pergerakan sumbu dan spindle di umpan balik ke antarmuka sehingga user dapat mengetahuinya.



Gambar 2.1 Rancangan perangkat keras sistem.

2.2 Subsistem *Hardware Stepper* dan pengujian

2.2.1 Pemilihan *driver motor stepper*

Driver yang digunakan untuk motor *stepper* adalah Toshiba TB6560 karena penggerak asli dari *plant* yang digunakan adalah penggerak ini. *Driver* ini memiliki keunggulan yaitu eksitasi yang langsung diatur di *driver* sehingga mengurangi *port I/O* pengendali. Selain itu mudah untuk mengatur fitur lainnya seperti *running current*, *stop current*, dan *decay setting*.



Gambar 2.2 *Driver* Toshiba TB6560. [2]

Driver TB6560 memiliki tiga fitur, yaitu *stop current*, *running current*, dan *decay setting*. *Stop current* adalah fitur untuk mengurangi arus pada kumparan ke nilai yang diperlukan untuk memastikan rotor tetap pada posisi yang stabil. *Running current* memiliki rentangan 0.3 A – 3 A dengan pemilihan tergantung dengan karakteristik motor yang digunakan dan kondisi pengoperasian motor sehingga pemilihan yang tepat menghasilkan sinyal yang mendekati gelombang sinusoidal. Sedangkan *decay setting* adalah pengaturan yang digunakan untuk menentukan kecepatan proses pembuangan arus sehingga arus yang dihasilkan mendekati gelombang sinusoidal.

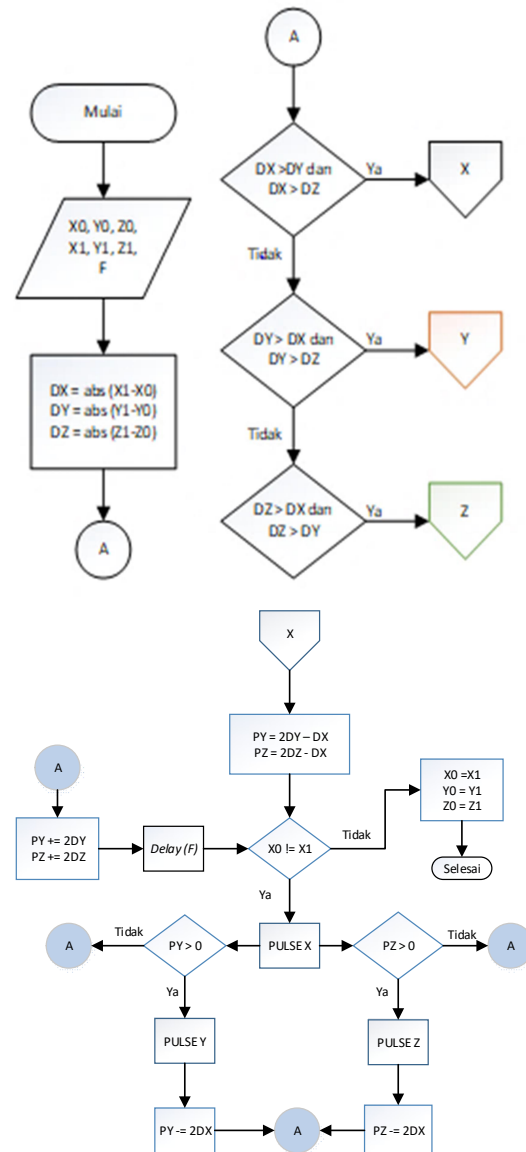
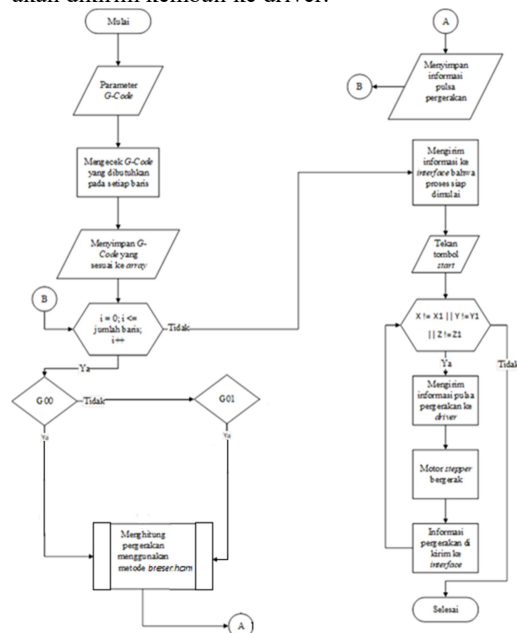
2.2.2 Perancangan subsistem pengendali motor stepper

a. Mode otomatis

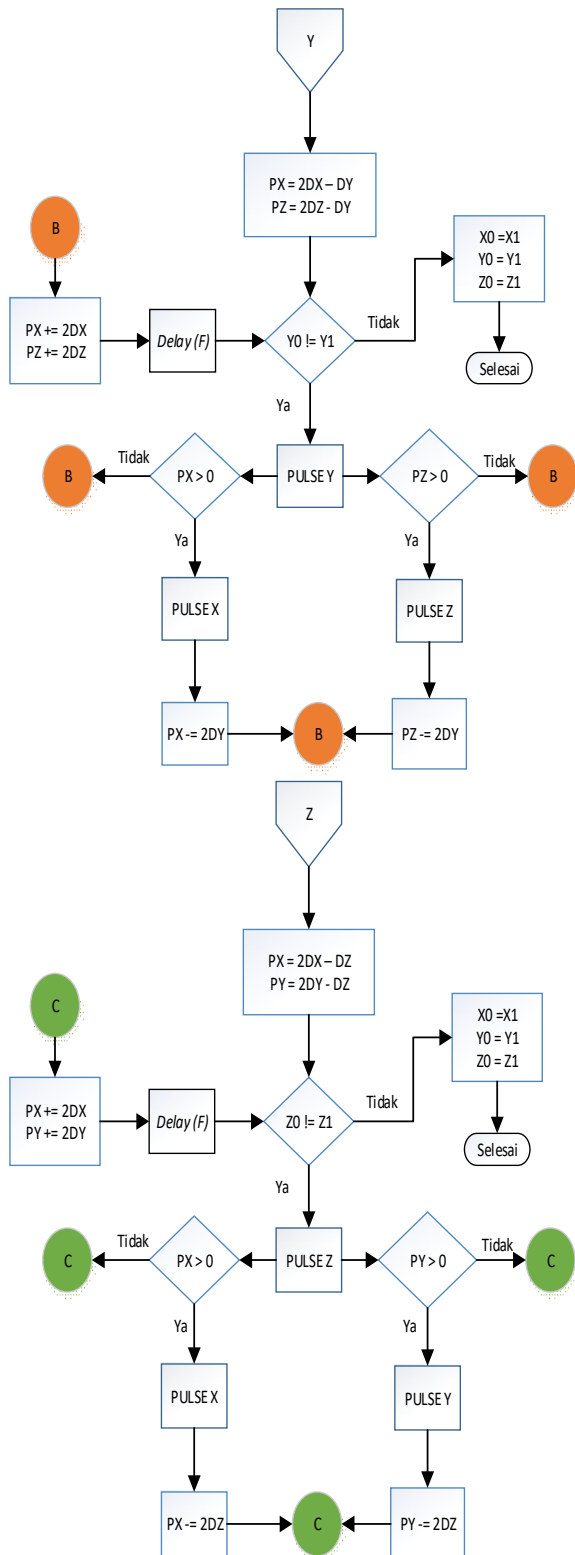
Mode otomatis digunakan oleh user dengan memasukkan G-Code yang sesuai standar pada antarmuka atau dengan melakukan konversi file .dxf 3D terlebih dahulu ke software konversi G-Code. Setelah selesai, G-Code akan dikirim oleh antarmuka ke pengendali untuk dilakukan parsing data. Parsing data adalah mencari dan mencocokkan G-Code yang akan dipakai dengan data yang dikirim oleh antarmuka. Setelah melakukan parsing data, data yang sesuai akan dimasukkan ke dalam array berdasarkan kelompok datanya masing-masing. Data yang disimpan di Array digunakan untuk melakukan keputusan pergerakan.

Terdapat dua buah keputusan pergerakan yaitu G00 (rapid positioning), G01 (interpolasi linear). G00 adalah pergerakan tanpa pemakanan benda kerja, G01 adalah pergerakan interpolasi linear yang melakukan pemakanan benda kerja. Keputusan pergerakan interpolasi ini diseleksi menggunakan metode Bresenham.

Koordinat yang dihasilkan dari metode Bresenham digunakan sebagai informasi pulsa pergerakan. Selanjutnya user harus menekan tombol start sehingga informasi pulsa pergerakan yang dihasilkan akan dikirim ke driver supaya motor stepper bergerak. Lalu pengendali akan kembali mengecek apakah masih ada baris yang harus dieksekusi. Apabila ada, akan dilakukan kembali penyeleksian metode Bresenham. Setelah penyeleksian dan perhitungan Bresenham selesai, maka informasi pulsa pergerakan yang dihasilkan akan dikirim kembali ke driver.



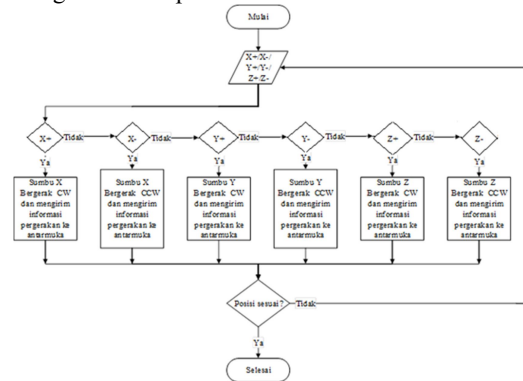
Gambar 2.3 Diagram alir pergerakan motor stepper mode otomatis.



Gambar 2.4 Diagram alir sub sistem metode Bresenham.

b. Mode manual

Mode manual digunakan apabila user akan melakukan *setting origin* atau *setting home position*. Untuk menggerakkan secara manual, user hanya perlu menekan tombol X+/X-/Y+/Y-/Z+/Z- sesuai dengan kebutuhan user hingga posisi yang diinginkan tercapai.



Gambar 2.5 Diagram alir pergerakan motor *stepper* mode manual.

2.2.3 Pembuatan program interpolasi

Interpolasi adalah kemampuan suatu mesin untuk bergerak pada sumbu-sumbu secara bersamaan sesuai dengan jenis pergerakan dan koordinat-koordinat posisi yang telah ditentukan. Konsep utama dalam bresenham adalah penambahan koordinat ditentukan oleh sumbu penggerak, untuk menentukan sumbu penggerak dilihat dari selisih antara koordinat awal dan koordinat akhir, lalu selisih tersebut dibandingkan dengan sumbu yang lain, sumbu yang selisihnya terbesar akan menjadi sumbu penggerak, koordinat dari sumbu yang selisihnya terbesar akan berubah terlebih dahulu, jika ada dua sumbu dengan selisih yang sama maka nilai koordinat dari kedua sumbu tersebut akan berubah bersamaan dan kedua sumbu tersebut akan menjadi penggerak, begitu pula jika ada ketiga sumbu dengan selisih yang sama. Setiap satu perubahan koordinat dari setiap sumbu akan menghasilkan sebuah pergerakan pada stepper sebesar 1 BLU. 1 BLU didapatkan dengan membandingkan antara pitch ball screw dengan pergerakan satu step motor stepper. Untuk mengaktifkan kapasitas memori mikrokomputer digunakan BLU 0.02 mm.

Konfigurasi *full step*:

$$1 \text{ step} = 1.8^\circ$$

$$1 \text{ pitch ballscrew} = 4 \text{ mm} = 360^\circ$$

$$1 \text{ putaran} = \frac{\text{pitch ballscrew}}{1.8^\circ} = 4 \text{ mm} = \frac{360^\circ}{1.8^\circ} = 200 \text{ step}$$

$$1 \text{ step} = \frac{1}{200} \text{ putaran} = 1 \text{ BLU} = \frac{1.8^\circ}{360^\circ} \times 4 \text{ mm} = 0.02 \text{ mm}$$

Konfigurasi *half step*:

$$1 \text{ step} = 0.9^\circ$$

$$1 \text{ pitch ballscrew} = 4 \text{ mm} = 360^\circ$$

$$1 \text{ putaran} = \frac{\text{pitch ballscrew}}{0.9^\circ} = 400 \text{ step}$$

$$1 \text{ step} = \frac{1}{400} \text{ putaran} = 1 \text{ BLU} = \frac{0.9^\circ}{360^\circ} \times 4 \text{ mm} = 0.01 \text{ mm}$$

a. Interpolasi linear

Interpolasi adalah kemampuan suatu mesin untuk bergerak pada sumbu-sumbunya secara bersamaan sesuai dengan jenis pergerakan dan koordinat-koordinat yang telah ditentukan. Prinsip dasar dari Algoritma Bresenham adalah memilih raster yang optimal untuk sebagai representasi dari garis tersebut. Karena bresenham bergerak sesuai raster, maka digunakanlah microstep (1/8) untuk mendapatkan ketelitian yang cukup teliti.

3. HASIL IMPLEMENTASI

3.1 Pengujian Hasil Perhitungan Bresenham

Untuk mengetahui hasil metode Bresenham yang diaplikasikan pada pemrograman ditampilkan hasil pada python shell. Rasio yang digunakan pada pengujian adalah 1:1, 1:2, dan 1:3, dengan nilai awal dan akhir $X = 0:5$, $Y = 0:5$, dan $Z = 0:5$ pada rasio 1:1, $X = 0:2$, $Y = 0:4$, dan $Z = 0:6$ pada rasio 1:2, dan $X = 0:5$, $Y = 0:6$, dan $Z = 0:9$ pada rasio 1:3. Pada rasio 1:1 nilai sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z berubah bersamaan, pada rasio 1:2 dan rasio 1:3 ketika nilai sumbu Y dan Z berubah, nilai dari sumbu X tidak berubah dikarenakan sumbu X memiliki selisih nilai awal dan nilai akhir terkecil dari sumbu lain.

(a) rasio 1:1

`[(0, 0, 0), (1, 1, 1), (2, 2, 2), (3, 3, 3), (4, 4, 4), (5, 5, 5)]`

(b) rasio 1:2

`[(0, 0, 0), (0, 1, 1), (1, 1, 2), (1, 2, 3), (1, 3, 4), (2, 3, 5), (2, 4, 6)]`

(c) rasio 1:3

`[(0, 0, 0), (0, 1, 1), (1, 2, 2), (1, 2, 3), (1, 3, 4), (1, 4, 5), (2, 5, 6), (2, 5, 7), (2, 6, 8), (2, 7, 9), (3, 8, 10), (3, 8, 11), (3, 9, 12)]`

Gambar 3.1 Hasil perhitungan Bresenham

3.2 Pengujian Interpolasi

a. Interpolasi linear

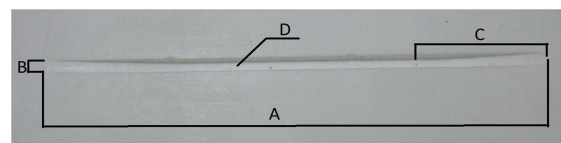
Pengujian interpolasi dilakukan untuk mengetahui kesesuaian hasil yang diinginkan dengan aktualisasinya. Pada pengujian ini diberikan rasio perbandingan sumbu X dan Y sebesar 1:1, 1:3, dan 1:5. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa hasil pengukuran yang dihasilkan oleh interpolasi sumbu X dan sumbu Y sudah sesuai dengan nilai yang dimasukkan pada G-Code dengan akurasi yang sangat tinggi yaitu 0% error.

Tabel 3.1 Hasil pengujian akurasi interpolasi linear

No	Percobaan	Rasio	Jarak yang dimasukkan (mm)		Hasil Pengukuran (mm)		Error (%)
			X	Y	X	Y	
1	1	1:1	1	1	1	1	0
2	2				1	1	0
3	3				1	1	0
4	4				1	1	0
5	5				1	1	0
6	1		25	25	25	25	0
7	2				25	25	0
8	3				25	25	0
9	4				25	25	0
10	5				25	25	0
11	1	1:3	20	60	20	60	0
12	2				20	60	0
13	3				20	60	0
14	4				20	60	0
15	5				20	60	0
16	1		50	150	50	150	0
17	2				50	150	0
18	3				50	150	0
19	4				50	150	0
20	5				50	150	0
21	1	1:5	20	100	20	100	0
22	2				20	100	0
23	3				20	100	0
24	4				20	100	0
25	5				20	100	0

b. Interpolasi linear 3D dengan pemakanan

Pada pengujian interpolasi linear 3D ini dilakukan suatu uji pergerakan untuk mengetahui keakuratan dari metode Bresenham yang digunakan. Pengujian dilakukan dengan input Stl yang dikonversikan menjadi G-code dan diimplementasikan dengan media teflon sebagai benda kerja.



Gambar 3.2 Hasil pengujian interpolasi linear 3D.

Tabel 3.2 Hasil pengujian akurasi interpolasi linear 3D

<i>Bagian</i> <i>n</i>	<i>Ukuran Benda (mm)</i>	<i>Hasil Ukur (mm)</i>			<i>Rata-Rata Pengukuran</i>	<i>Error (%)</i>
		<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>		
A	150	150.2	150.1	150.3	150.2	0.13
B	4	3.76	3.72	3.78	3.75	6.25
C	30.27	30.3	30.2	30.1	30.2	0.23
D	4	4.1	4.1	4.2	4.13	3.25
<i>Rata-rata Error (%)</i>						2.46

Tabel diatas merupakan hasil pengujian keakurasian pada interpolasi linier 3D yang diukur dengan menggunakan jangka sorong. Interpolasi linier diatas menghasilkan % error rata-rata sebesar 2.46 %,

4. PENUTUP

4.1 Ketercapaian Tujuan dan Tuntutan

Ketercapaian tujuan dan tuntutan pada proyek akhir ini adalah:

- Membuat kontrol mesin CNC grafir 3D berbasis mikrokomputer Raspberry PI yang mampu melakukan pergerakan secara manual dan pergerakan secara otomatis menggunakan G-Code hasil konversi;
- Mampu menerapkan metode Bresenham sebagai metode interpolasi linear pada mesin CNC grafir 3D; dan
- Implementasi pergerakan interpolasi menghasilkan pengukuran yang akurat dengan nilai error 0% dengan ketelitian alat ukur 0.5 mm.

4.2 Permasalahan yang Ditemukan

Selama pengerjaan, kendala teknis yang berkaitan implementasi pergerakan interpolasi adalah:

- sulitnya untuk mendapatkan referensi dan data *driver* Toshiba *TB6560*;
- terbatasnya kemampuan konversi G-Code.

4.3 Solusi Permasalahan

Dari permasalahan yang ditemukan didapatkan solusi sebagai berikut:

- Memperdalam materi mikrokontroler, digital, elektronika, dan teknik penggerak sehingga mempermudah analisis driver motor stepper.
- Mengembangkan pemrograman konversi G-Code.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Case, J, Boldt, E. (2018). Pulse width modulation with analogwrite. [Online]. Tersedia di: <http://robotic-controls.com/book/export/html/57/>. Diakses pada 5 Juni 2019.
- [2] Eduard. (2016). The driver of stepper motor TB6560-V2. Description, characteristics, recommendations for operation. [Online]. Tersedia di: <http://mypractic.ru/drajver-shagovogo-dvigatelya-tb6560-v2-opisanie-xarakteristiki-rekomendacii-po-ekspluatacii.html>. Diakses pada tanggal 3 Juni 2019.
- [3] Jabar, F. A. (2018). Implementasi pergerakan interpolasi motor stepper dengan menggunakan metode digital differential analyzers (DDA) pada mesin grafir 2.5D. (Proyek Akhir D3). Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung, Bandung.
- [4] GregRS. (t.t). Stepper motors and drives, what is full step, half step and microstepping. [Online]. Tersedia di: <https://www.rs-online.com/designspark/stepper-motors-and-drives-what-is-full-step-half-step-and-microstepping>. Diakses pada tanggal 5 Juni 2019.
- [5] Hambali, F. A. (2016). Pembuatan rangkaian integrasi dan komunikasi data pada pengendali mesin grafir 2.5D. (Proyek Akhir D3). Jurusan Teknik Otomasi Manufaktur dan Mekatronika, Politeknik Manufaktur Bandung, Bandung.
- [6] Koren, Y. (1983). Computer control of manufacturing systems. Singapore: McGraw-Hill.
- [7] Marzuki, A. (t.t). Pulse width modulation (PWM). [Online]. Tersedia di: [http://achamad.staff.ipb.ac.id/wp-content/plugins/as-pdf/andri_mz-Pulse%20Width%20Modulation%20\(PWM\).pdf](http://achamad.staff.ipb.ac.id/wp-content/plugins/as-pdf/andri_mz-Pulse%20Width%20Modulation%20(PWM).pdf). Diakses pada tanggal 5 Juni 2019.
- [8] Wajidi. (2018). Bipolar stepper motor driver connection. [Online]. Tersedia di: <https://motorwallpapers.org/bipolar-stepper-motor-driver-connection/>. Diakses pada tanggal 5 Juni 2019.