

Kontrol *Resume* pada Mesin 3D Printer 2×2×2 Meter berbasis MCU Bigtree

BUDHY SETIAWAN, DEVI NUSLIKA PURWANTI, DENDA DEWATAMA

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Indonesia
Email: budhy.setiawan@polinema.ac.id

Received 16 Januari 2023 | *Revised* 7 Februari 2023 | *Accepted* 9 Februari 2023

ABSTRAK

Dalam sebuah perusahaan manufaktur, produk yang dihasilkan selalu mengalami proses pengembangan tertentu yang mencakup pembuatan desain hingga menjadi prototype dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Salah satu mesin yang tepat dan efektif untuk pembuatan prototype adalah 3D printer. Energi listrik dibutuhkan selama proses printing, jika suplai energi listrik terhenti maka mesin 3D printer akan berhenti bekerja. Sehingga ketika suplai energi listrik tersambung kembali proses printing harus mengulang dari awal. Hal ini menyebabkan kerugian material dan waktu, semakin besar ukuran prototype yang dicetak maka akan semakin besar kerugian material dan waktunya. Oleh karena itu, mesin 3D printer memerlukan suatu kemampuan untuk menyimpan data posisi dan melanjutkan proses printing berdasarkan data tersebut. Berdasarkan pengujian akurasi penyimpanan data posisi ekstruder terhadap sumbu X, Y, Z, menggunakan AS5600 magnetic encoder didapatkan persentase error sebesar 0.004928649% pada sumbu X, 0.025628032% pada sumbu Y, 0.020581289% pada sumbu Z.

Kata kunci: 3D Printer, AS5600 Magnetic Encoder, Bigtree, Cartesian, Firmware Marlin, Resume

ABSTRACT

In a manufacturing company, the products produced always undergo a certain development process which includes making designs to becoming prototypes with the aim of meeting consumer needs. One of the right and effective machines for prototyping is a 3D printer. Electrical energy is needed during the printing process, if the supply of electrical energy stops, the 3D printer engine will stop working. So that when the supply of electrical energy is reconnected the printing process has to repeat from the beginning. This causes material and time losses, the larger the printed prototype size, the greater the material and time losses. Therefore, a 3D printer machine requires the ability to store position data and continue the printing process based on that data. Based on testing the accuracy of ekstruder position data storage on the X, Y, Z planes, using the AS5600 magnetic encoder, the percentage error is 0.004928649% on the X axis, 0.025628032% on the Y axis, 0.020581289% on the Z axis.

Keywords: 3D Printer, AS5600 Magnetic Encoder, Bigtree, Cartesian, Marlin Firmware, Resume

1. PENDAHULUAN

Produk yang dihasilkan dalam suatu perusahaan manufaktur selalu melalui proses pengembangan yang meliputi mengubah desain menjadi bentuk fisik atau *prototype* dengan tujuan untuk memenuhi kebutuhan konsumen yang dikenal dengan istilah *prototyping*. Bertambahnya tahun membuat bertambahnya teknologi baru yang telah muncul, memberikan banyak manfaat bagi mereka yang membutuhkan teknologi *rapid prototyping* (**Kamran & Saxena, 2016**). 3D *printer* adalah salah satu teknologi tersebut. Teknologi ini memiliki aplikasi di banyak bidang, seperti *aerospace*, kedokteran, arsitektur, dan sebagainya (**Ngo, dkk, 2018**).

Beberapa manfaat utama menggunakan 3D *printer* adalah waktu yang dibutuhkan untuk membuat produk lebih singkat (**Amri & Sumbodo, 2018**), penggunaan bahan lebih efisien sehingga menghasilkan biaya bahan yang lebih rendah (**Hossain, dkk, 2020**) (**Malaeb, dkk, 2019**), konstruksi mesin yang relatif sederhana, dapat digunakan untuk membuat produk dengan struktur kompleks atau rumit (**Yin, dkk, 2018**), dan keamanan lebih untuk dioperasikan daripada mesin konvensional (**Hager, dkk, 2016**).

3D *printer* membutuhkan energi listrik untuk mencetak; tanpanya, 3D *printer* tidak dapat berfungsi. Jika catu daya terputus, mesin 3D *printer* akan berhenti bekerja. Akibatnya, saat catu daya pulih, proses pencetakan harus mengulang dimulai dari awal. Semakin besar ukuran *prototype* yang dicetak, semakin besar kerugian material dan waktu. Oleh karena itu, mesin 3D *printer* diharapkan mampu menyimpan data posisi untuk mengatasi masalah proses pencetakan *prototype* yang harus diulang dari awal karena suplai energi listrik terputus dan melanjutkan proses pencetakan tersebut tanpa mengulang dari awal (*resume*).

2. METODE

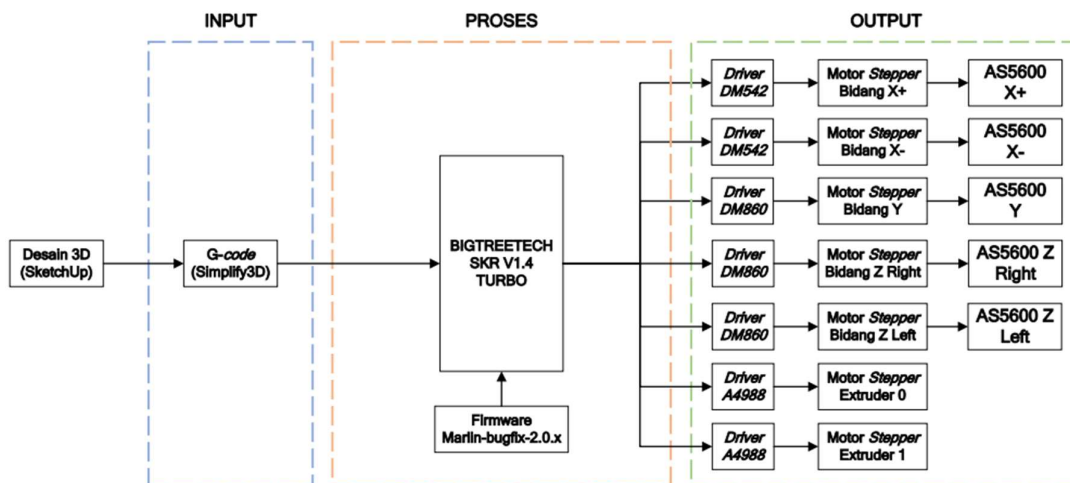
2.1 3D Printer

3D *Printer* adalah mesin yang menghasilkan objek padat bervolume bentuk tiga dimensi dari sebuah desain digital (**Muliyawan, 2017**). 3D *Printer* sangat berbeda dari mesin konvensional atau dikenal proses subtraktif yaitu menghasilkan produk dengan cara mereduksi bahan melalui proses seperti pemotongan, pengeboran dan penyayatan (**Sulayman & Febriantoko, 2015**) sehingga 3D *Printer* tidak menghasilkan limbah produksi (**Faludi, dkk, 2015**).

Proses pencetakan objek 3D menggunakan 3D *Printer* diawali dengan desain objek dikonversi menjadi format *file* yang relevan dengan *firmware* yang digunakan (**Stopforth, 2021**), yaitu *G-Code*, sebelum dicetak pada 3D *Printer*. Perangkat lunak CAD digunakan untuk menghasilkan desain atau model 3D. *Computer-Aided Design* (CAD) adalah jenis otomatisasi yang memungkinkan seorang desainer menggunakan komputer untuk melakukan desain objek 3D (**Kamran & Saxena, 2016**) dan kemudian mengirisnya menggunakan aplikasi *licer* untuk membuat *file* format *G-Code*. Kontrol 3D *Printer* adalah program yang dapat membuka hasil pengiris, menyesuaikan gerakan 3D *Printer*, mengontrol dan memantau suhu pemanasan *bedplate* dan ekstruder, menjalankan (*start*), menjeda (*pause*), dan membatalkan (*cancel*) perintah pencetakan (**Tran, dkk, 2017**).

2.2 Diagram Blok Sistem

Berikut Gambar 1 merupakan gambaran diagram blok sistem yang mencakup *input*, proses, dan *output*.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

a. *Input*

G-Code adalah *file* yang berisi instruksi untuk mengendalikan motor *stepper* di sumbu X, Y, dan Z. *G-Code* dihasilkan melalui proses pengirisan desain 3D menggunakan perangkat lunak *Slicer* seperti Simplify3D, Cura, Octoprint, dan lainnya. Perangkat lunak CAD, seperti SketchUp, SolidWorks, dan AutoCAD, digunakan untuk membuat desain 3D yang diiris. *File* desain 3D tersebut disimpan dengan ekstensi *.stl* (Abdulhameed, dkk, 2019).

b. *Proses*

Mesin 3D *printer* 2×2×2 meter dalam penelitian ini menggunakan MCU (*Micro Controller Unit*) Bigtreetech SKR V1.4 Turbo dan *driver firmware* Marlin-Bugfix-2.0.x. Marlin-Bugfix-2.0.x adalah versi stabil terbaru dari *firmware* untuk mesin 3D *printer* dan bersifat *open source*. Mesin 3D *printer* yang dapat melanjutkan pencetakan setelah pasokan energi listrik terputus (*resume*), membutuhkan program dan *library* tambahan yang digunakan untuk menyimpan data posisi ekstruder saat proses pencetakan berjalan dan melanjutkan pencetakan berdasarkan data posisi ekstruder yang terakhir sebelum pasokan energi listrik terputus. Data posisi ekstruder disimpan dan diperbarui secara *realtime* selama proses pencetakan sehingga proses pencetakan sebelumnya saat sumber listrik terputus dapat dilanjutkan di posisi yang tepat tanpa mengulang dari awal (*resume*).

c. *Output*

G-Code yang telah diproses oleh MCU Bigtreetech SKR V1.4 Turbo digunakan untuk menggerakkan setiap motor *stepper* di masing-masing sumbu yaitu sumbu X yang bergerak ke arah kanan-kiri, sumbu Y yang bergerak ke arah depan-belakang (Nuñez, dkk, 2015), sumbu Z yang bergerak ke arah atas-bawah (Khan, dkk, 2014), dan motor *stepper* yang digunakan untuk mendorong plastik *filament* pada mesin 3D *printer* melalui *driver* motor *stepper* kemudian disimpan ke dalam *file* PLR.*file* yang merupakan *file* data *Power Loss Recovery* pada penyimpanan kartu SD. Perintah yang ada didalam PLR.*File* ini selalu diperbarui secara *realtime* selama proses pencetakan berlangsung.

2.3 Prinsip Kerja

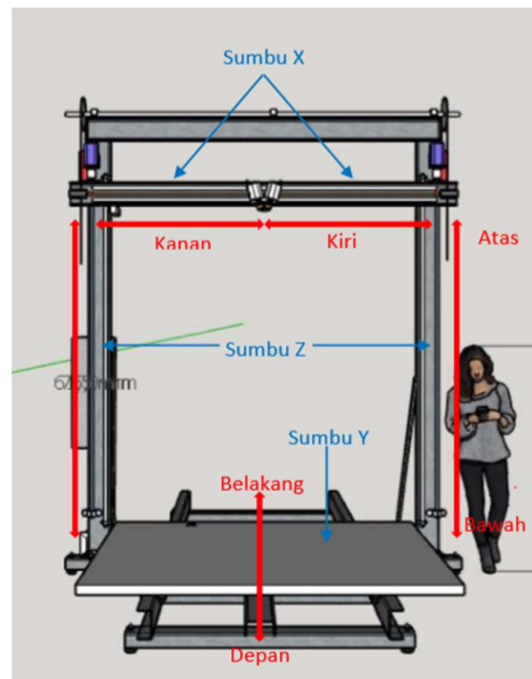
Firmware marlin melakukan pengecekan *file* data *Power Loss Recovery* (PLR.file) pada penyimpanan *SD card* untuk *mode resume*, yaitu untuk melanjutkan proses *printing* sebelumnya yang belum terselesaikan karena suplai listrik yang terputus. PLR.file berisi data posisi dari ekstruder dalam sebuah *file G-code* yang selalu diperbarui sesuai dengan metode penyimpanan data posisi dari ekstruder yang digunakan.

Terdapat 3 jenis metode penyimpanan data posisi ekstruder yaitu data *layer*, data *time interval*, dan data *command*. Jika metode penyimpanan data posisi yang digunakan data *layer* maka data posisi dari ekstruder akan diperbarui setiap pergantian *layer*, jika metode penyimpanan data posisi yang digunakan data *time interval* maka data posisi dari ekstruder akan diperbarui setiap interval waktu yang ditentukan, dan jika metode penyimpanan data posisi yang digunakan data *command* maka data posisi dari ekstruder akan diperbarui setiap pergantian *command* yang sedang dieksekusi oleh MCU Bigtreetech SKR V1.4 Turbo.

Mode resume dapat dijalankan apabila terdapat *file* PLR.file dan *file G-code* dari proses *printing* sebelumnya yang belum terselesaikan karena suplai listrik terputus pada penyimpanan *SD card*. Jika tidak ada *file* PLR.file atau *file G-code* atau tidak menjalankan *mode resume* maka *firmware* marlin akan melakukan pembacaan *file G-code* baru pada penyimpanan *SD card*.

2.4 Perancangan Mekanik

Rancangan mekanik mesin 3D *printer* 2×2×2 meter ditunjukkan pada Gambar 2.



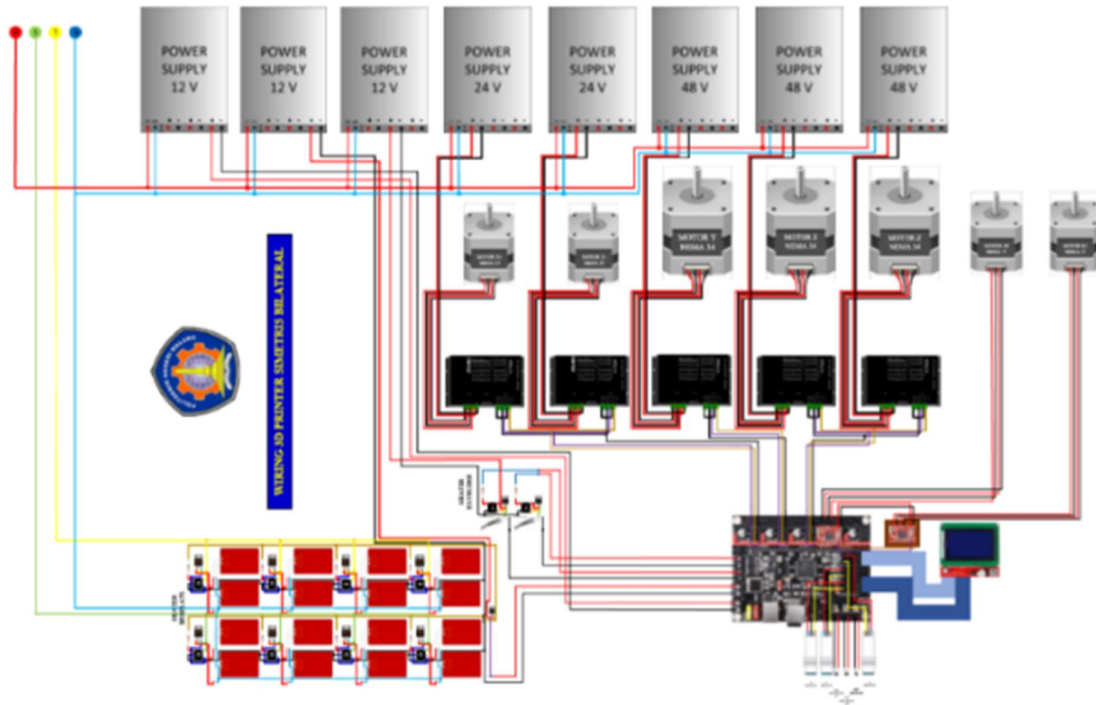
Gambar 2. Rancangan Mekanik Mesin 3D *Printer* 2×2×2 Meter

Mesin 3D *printer* 2×2×2 meter merupakan 3D *printer* model *cartesian* yang menggunakan teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM) (Melnikova, dkk, 2014). Model *Cartesian* dinamai demikian karena model 3D *Printer* ini menggerakkan ekstruder dalam tiga dimensi berdasarkan sistem koordinat, yaitu sumbu X yang bergerak ke arah kanan-kiri, sumbu Y yang bergerak ke arah depan-belakang (Nuñez, dkk, 2015), dan sumbu Z yang bergerak ke arah

atas-bawah (Khan, dkk, 2014). Teknologi *Fused Deposition Modeling* (FDM), juga dikenal sebagai FFF (*Fused Filament Fabrication*), bekerja dengan melelehkan plastik *filament* dan mendeposisikan sesuai dengan koordinat objek yang dicetak melalui ekstruder (Taufik & Jain, 2016). Plastik *filament* yang umumnya dipakai teknologi FFF biasanya terbuat dari bahan termoplastik seperti PLA dan ABS (Paolini, dkk, 2019).

2.5 Perancangan Elektrik

Skema rangkaian keseluruhan MCU Bigtreeech SKR V1.4 Turbo pada mesin 3D *printer* 2×2×2 meter ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Skema Rangkaian Keseluruhan pada Mesin 3D *Printer* 2×2×2 Meter

Adapun penjelasan *wiring driver* motor *stepper* pada skema rangkaian keseluruhan pada mesin 3D *printer* 2×2×2 meter dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Wiring Driver Motor Stepper pada Mesin 3D Printer 2×2×2 Meter

Axis-	Driver Motor	Pin	Keterangan
X+ dan X- Axis	DM542	VCC	Dihubungkan ke sumber tegangan 24 VDC
		GND	Dihubungkan ke <i>Ground</i>
		ENA-	Dihubungkan ke X <i>Ground</i> Bigtreetech SKR V1.4 Turbo
		ENA+	Tidak dihubungkan
		DIR -	Dihubungkan ke X <i>Ground</i> Bigtreetech SKR V1.4 Turbo
		DIR+	Pin X DIR Bigtreetech SKR V1.4 Turbo
		PUL -	Dihubungkan ke X <i>Ground</i> Bigtreetech SKR V1.4 Turbo
		PUL +	Pin X STP Bigtreetech SKR V1.4 Turbo
		A-, A+	<i>Coil 1 stepper</i> motor X+ dan X- Axis
		B-, B+	<i>Coil 2 stepper</i> motor X+ dan X- Axis
Y Axis	DM860A	VCC	Dihubungkan ke sumber tegangan 48 VDC
		GND	Dihubungkan ke <i>Ground</i>
		ENA-	Dihubungkan ke Y <i>Ground</i> Bigtreetech SKR V1.4 Turbo
		ENA+	Tidak dihubungkan
		DIR -	Dihubungkan ke Y <i>Ground</i> Bigtreetech SKR V1.4 Turbo
		DIR+	Pin Y DIR Bigtreetech SKR V1.4 Turbo
		PUL -	Dihubungkan ke Y <i>Ground</i> Bigtreetech SKR V1.4 Turbo
		PUL +	Pin Y STP Bigtreetech SKR V1.4 Turbo
		A-, A+	<i>Coil 1 stepper</i> motor Y Axis
		B-, B+	<i>Coil 2 stepper</i> motor Y Axis
Z Axis	DM860A	VCC	Dihubungkan ke sumber tegangan 48 VDC
		GND	Dihubungkan ke <i>Ground</i>
		ENA-	Dihubungkan ke Z <i>Ground</i> Bigtreetech SKR V1.4 Turbo
		ENA+	Tidak dihubungkan
		DIR -	Dihubungkan ke Z <i>Ground</i> Bigtreetech SKR V1.4 Turbo
		DIR+	Pin Z DIR Bigtreetech SKR V1.4 Turbo
		PUL -	Dihubungkan ke Z <i>Ground</i> Bigtreetech SKR V1.4 Turbo
		PUL +	Pin Z STP Bigtreetech SKR V1.4 Turbo
		A-, A+	<i>Coil 1 stepper</i> motor Z Axis
		B-, B+	<i>Coil 2 stepper</i> motor Z Axis

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari rancangan mekanik mesin 3D *printer* 2×2×2 meter dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Mesin 3D *Printer* 2×2×2 Meter

Sedangkan hasil desain rangkaian elektrik mesin 3D *printer* 2×2×2 meter ditunjukkan pada Gambar 5.



(a)



(b)

Gambar 5. Rangkaian Elektrik Mesin 3D *Printer* 2×2×2 Meter (a) Rangkaian Elektrik Keseluruhan dan (b) Rangkaian Elektrik pada MCU Bigtretech SKR V1.4 Turbo

Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengujian akurasi antara data posisi terakhir ekstruder saat sumber listrik dimatikan dan posisi ekstruder saat melanjutkan proses *printing* terhadap sumbu X, Y, Z 3D *printer* 2×2×2 meter dengan menggunakan sensor AS5600 *magnetic encoder*. Sensor AS5600 *magnetic encoder* membaca gerak rotasi (putaran sudut) motor *stepper* pada sumbu X, Y, Z. Putaran sudut motor *stepper* yang diperoleh dari pembacaan AS5600 *magnetic encoder* dapat digunakan untuk memperoleh nilai *linear position* dari sumbu X, Y, dan Z dengan menggunakan Persamaan (1).

$$L = \frac{\alpha^\circ \times p}{360^\circ} \quad (1)$$

di mana:

L = linear position

p = pitch ulir (*pitch* ulir sumbu X = 8 mm, *pitch* ulir sumbu Y dan Z = 5 mm)

α = sudut putaran motor *stepper*

Pengujian alat yang dilakukan akan menghasilkan perbedaan atau *error* antara nilai parameter yang diinginkan, dalam hal ini adalah capaian jarak saat sumber listrik dimatikan dan nilai parameter yang terukur, dalam hal ini adalah capaian jarak saat *mode resume*. Persentase *error* capaian jarak yang dihasilkan didasarkan pada Persamaan (2).

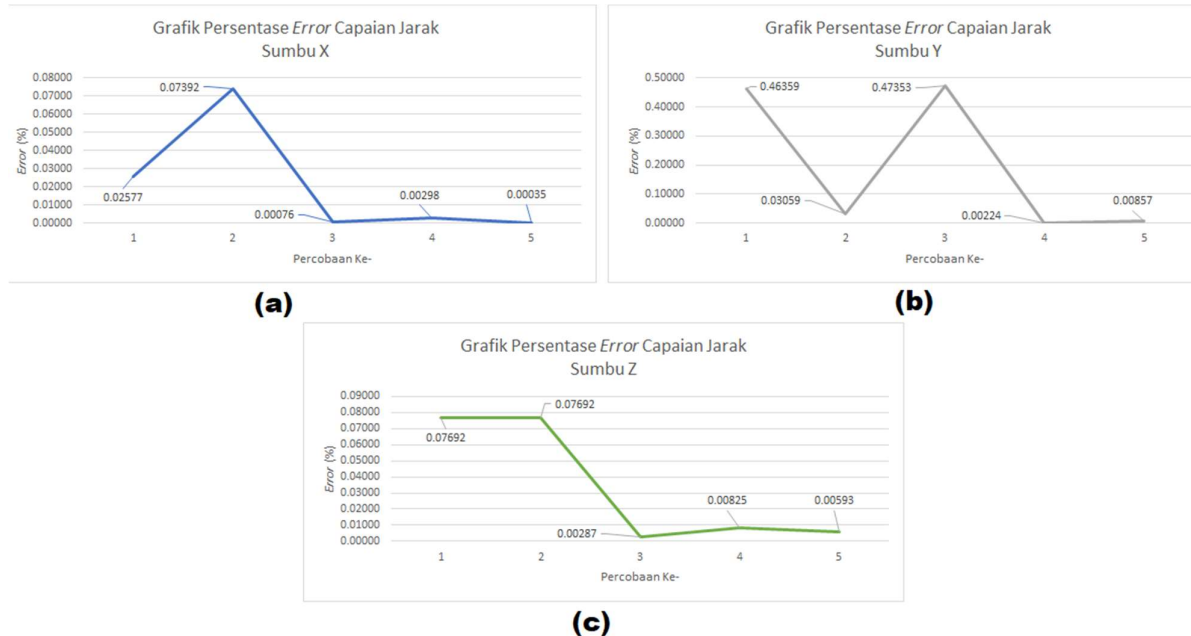
$$\text{Error (\%)} = \frac{\text{nilai parameter yang diinginkan} - \text{nilai parameter yang terukur}}{\text{nilai parameter yang diinginkan}} \times 100\% \quad (2)$$

Sedangkan besar rata-rata *error* capaian jarak didapatkan dengan menggunakan Persamaan (3).

$$\text{Rata - Rata Error} = \frac{\sum \text{Persentase Error (\%)}}{\text{Jumlah Data}} \times 100\% \quad (3)$$

3.1 Pengujian Akurasi Metode Penyimpanan Data *Layer* Terhadap Sumbu X, Y, dan Z 3D *Printer* 2×2×2 Meter

Grafik pada Gambar 6 menunjukkan persentase *error* capaian jarak metode penyimpanan data *layer* pada sumbu X, Y dan Z 3D *printer* 2×2×2 meter.



Gambar 6. Grafik Presentase Error Capaian Jarak Metode Penyimpanan Data *Layer* 3D *Printer* 2×2×2 Meter (a) Sumbu X (b) Sumbu Y (c) Sumbu Z

Pada Tabel 2, merupakan data pengujian akurasi metode penyimpanan data *layer* terhadap sumbu X, Y, Z 3D *printer* 2×2×2 meter menggunakan sensor AS5600 *magnetic encoder*.

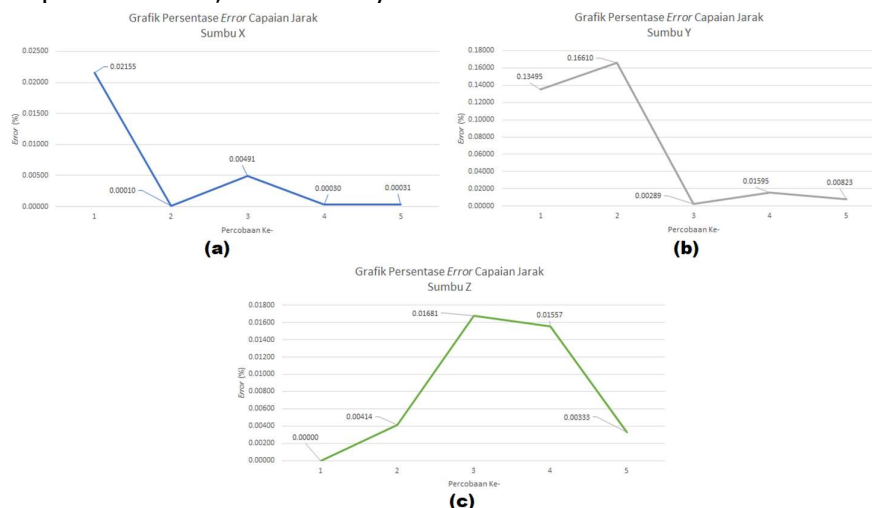
Tabel 2. Data Pengujian Pada Metode Penyimpanan Data Layer Menggunakan AS5600 Magnetic Encoder

Pengujian Ke-	Sumbu	Pembacaan AS5600 Magnetic Encoder				Error Capaian Jarak	
		Rotation (°)		Linear Position (mm)		Dalam (mm)	Dalam (%)
		Saat Sumber Listrik Dimatikan	Saat Mode Resume	Saat Sumber Listrik Dimatikan	Saat Mode Resume		
1	X	33259.5	32402.25	739.1	720.05	19.05	0.02577
	Y	9194.4	4932	127.7	68.5	59.2	0.46359
	Z	9.36	10.08	0.13	0.14	0.01	0.07692
2	X	32751	35172	727.8	781.6	53.8	0.07392
	Y	5414.4	5248.8	75.2	72.9	2.3	0.03059
	Z	9.36	10.08	0.13	0.14	0.01	0.07692
3	X	35572.5	35599.5	790.5	791.1	0.6	0.00076
	Y	10065.6	5299.2	139.8	73.6	66.2	0.47353
	Z	251.28	252	3.49	3.5	0.01	0.00287
4	X	33984	33882.75	755.2	752.95	2.25	0.00298
	Y	9986.4	10008.72	138.7	139.01	0.31	0.00224
	Z	610.56	605.52	8.48	8.41	0.07	0.00825
5	X	34957.35	34969.5	776.83	777.1	0.27	0.00035
	Y	4872.96	4831.2	67.68	67.1	0.58	0.00857
	Z	606.96	610.56	8.43	8.48	0.05	0.00593

Berdasarkan data pada Tabel 2 tersebut diperoleh nilai *error* rata-rata capaian jarak sebesar 15.19 mm pada sumbu X, 25.718 mm pada sumbu Y, 0.03 mm pada sumbu Z dengan persentase 0.02076 % pada sumbu X, 0.19570 % pada sumbu Y, 0.03418 % pada sumbu Z.

3.2 Pengujian Akurasi Metode Penyimpanan Data Time Interval Terhadap Sumbu X, Y, dan Z 3D Printer 2x2x2 Meter

Grafik pada Gambar 7 menunjukkan persentase *error* capaian jarak metode penyimpanan data *time interval* pada sumbu X, Y dan Z 3D printer 2x2x2 meter.



Gambar 7. Grafik Persentase Error Capaian Jarak Metode Penyimpanan Data Time Interval 3D Printer 2x2x2 Meter (a) Sumbu X (b) Sumbu Y (c) Sumbu Z

Pada Tabel 3, merupakan data pengujian akurasi metode penyimpanan data *time interval* terhadap sumbu X, Y, Z 3D *printer* 2×2×2 Meter menggunakan sensor AS5600 *magnetic encoder*.

Tabel 3: Data Pengujian Pada Metode Penyimpanan Data *Time Interval* Menggunakan AS5600 *Magnetic Encoder*

Pengujian Ke-	Sumbu	Pembacaan AS5600 <i>Magnetic Encoder</i>				Error Capaian Jarak	
		<i>Rotation</i> (°)		<i>Linear Position</i> (mm)		Dalam (mm)	Dalam (%)
		Saat Sumber Listrik Dimatikan	Saat Mode Resume	Saat Sumber Listrik Dimatikan	Saat Mode Resume		
1	X	26419.5	26988.75	587.1	599.75	12.65	0.02155
	Y	5837.04	6624.72	81.07	92.01	10.94	0.13495
	Z	9.36	9.36	0.13	0.13	0	0.00000
2	X	27762.75	27765.45	616.95	617.01	0.06	0.00010
	Y	5262.48	4388.4	73.09	60.95	12.14	0.16610
	Z	347.76	349.2	4.83	4.85	0.02	0.00414
3	X	26952.75	26820.45	598.95	596.01	2.94	0.00491
	Y	7471.44	7493.04	103.77	104.07	0.3	0.00289
	Z	428.4	421.2	5.95	5.85	0.1	0.01681
4	X	28396.8	28388.25	631.04	630.85	0.19	0.00030
	Y	8935.2	9077.76	124.1	126.08	1.98	0.01595
	Z	601.2	610.56	8.35	8.48	0.13	0.01557
5	X	29103.75	29112.75	646.75	646.95	0.2	0.00031
	Y	9716.4	9796.32	134.95	136.06	1.11	0.00823
	Z	865.44	862.56	12.02	11.98	0.04	0.00333

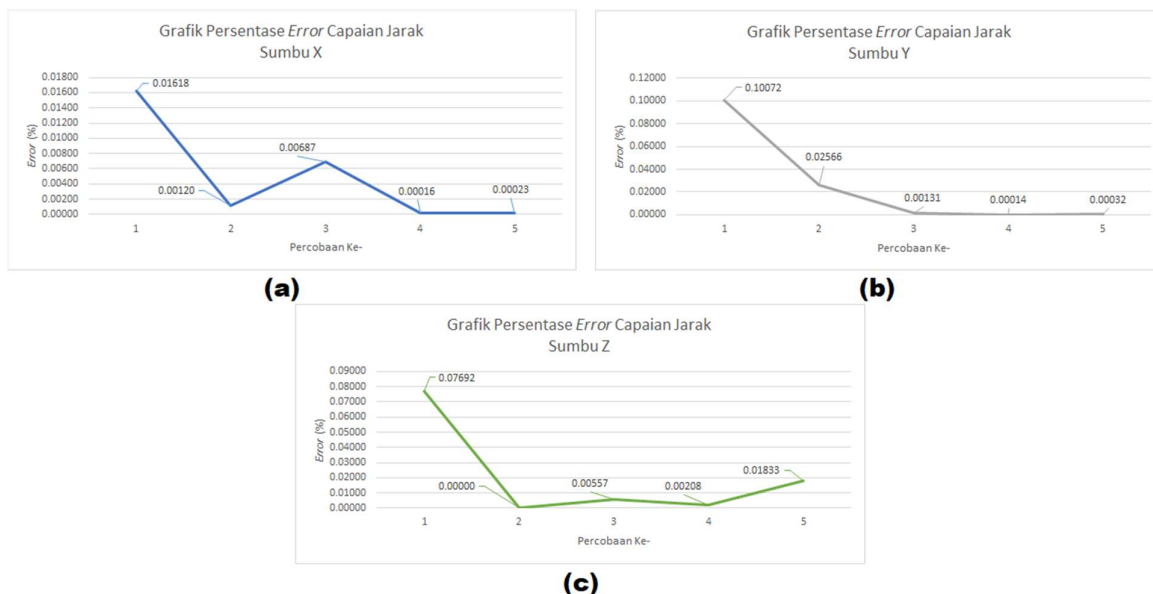
Berdasarkan data pada Tabel 3 tersebut diperoleh nilai *error* rata-rata capaian jarak sebesar 3.21 mm pada sumbu X, 5.294 mm pada sumbu Y, 0.058 mm pada sumbu Z dengan persentase 0.00543 % pada sumbu X, 0.06562 % pada sumbu Y, 0.00797 % pada sumbu Z.

Dibandingkan dengan metode penyimpanan sebelumnya yaitu data *layer*, metode penyimpanan *time interval* menunjukkan peningkatan akurasi posisi terhadap sumbu X, Y, Z 3D *printer* 2×2×2 meter. Sehingga dapat dianalisa bahwa pembaruan data posisi ekstruder dalam interval waktu yang ditentukan lebih akurat daripada pembaruan data posisi ekstruder tiap pergantian *layer*.

3.3 Pengujian Akurasi Metode Penyimpanan Data *Command* Terhadap Sumbu X, Y, dan Z *Printer* 2×2×2 Meter

Grafik pada Gambar 8 menunjukkan persentase *error* capaian jarak metode penyimpanan data *command* pada sumbu X, Y dan Z 3D *printer* 2×2×2 meter.

Kontrol *Resume* pada Mesin 3D *Printer* 2×2×2 Meter Berbasis MCU Bigtree



Gambar 8. Grafik Persentase *Error* Capaian Jarak Metode Penyimpanan Data *Command* 3D *Printer* 2×2×2 Meter (a) Sumbu X (b) Sumbu Y (c) Sumbu Z

Pada Tabel 4, merupakan data pengujian akurasi metode penyimpanan data *command* terhadap sumbu X, Y, Z 3D *printer* 2×2×2 meter menggunakan sensor AS5600 *magnetic encoder*.

Tabel 4. Data Pengujian pada Metode Penyimpanan Data *Command* Menggunakan AS5600 *Magnetic Encoder*

Pengujian Ke-	Sumbu	Pembacaan AS5600 <i>Magnetic Encoder</i>				<i>Error</i> Capaian Jarak	
		<i>Rotation</i> (°)		<i>Linear Position</i> (mm)		Dalam (mm)	Dalam (%)
		Saat Sumber Listrik Dimatikan	Saat Mode <i>Resume</i>	Saat Sumber Listrik Dimatikan	Saat Mode <i>Resume</i>		
1	X	31142.25	30638.25	692.05	680.85	11.2	0.01618
	Y	8335.44	7495.92	115.77	104.11	11.66	0.10072
	Z	9.36	10.08	0.13	0.14	0.01	0.07692
2	X	33756.75	33716.25	750.15	749.25	0.9	0.00120
	Y	10944.72	10663.92	152.01	148.11	3.9	0.02566
	Z	9.36	9.36	0.13	0.13	0	0.00000
3	X	32940.45	32714.1	732.01	726.98	5.03	0.00687
	Y	7696.08	7706.16	106.89	107.03	0.14	0.00131
	Z	258.48	259.92	3.59	3.61	0.02	0.00557
4	X	34333.65	34339.05	762.97	763.09	0.12	0.00016
	Y	10295.28	10296.72	142.99	143.01	0.02	0.00014
	Z	346.32	345.6	4.81	4.8	0.01	0.00208
5	X	31180.95	31188.15	692.91	693.07	0.16	0.00023
	Y	9074.16	9071.28	126.03	125.99	0.04	0.00032
	Z	432	439.92	6	6.11	0.11	0.01833

Berdasarkan data pada Tabel 4 tersebut diperoleh nilai *error* rata-rata capaian jarak sebesar 3.48 mm pada sumbu X, 3.152 mm pada sumbu Y, 0.03 mm pada sumbu Z dengan persentase

0.004928649 % pada sumbu X, 0.025628032 % pada sumbu Y, 0.020581289 % pada sumbu Z.

Dibandingkan dengan 2 metode penyimpanan sebelumnya yaitu data *layer* dan data *time interval*, metode penyimpanan *command* menunjukkan peningkatan akurasi posisi terhadap sumbu X, Y, Z 3D *printer* 2×2×2 meter. Sehingga dapat dianalisa bahwa pembaruan data posisi ekstruder tiap pergantian *command* lebih akurat daripada pembaruan data posisi ekstruder yang dilakukan tiap pergantian *layer* dan tiap interval waktu yang ditentukan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dan hasil analisa, maka dapat disimpulkan bahwa penyimpanan data posisi ekstruder terhadap sumbu X, Y, Z memiliki 3 metode, yaitu data *layer*, data *time interval*, dan data *command*. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh persentase rata-rata error capaian jarak masing-masing metode penyimpanan data adalah sebesar 0.02076 % pada sumbu X, 0.19570 % pada sumbu Y, 0.03418 % pada sumbu Z untuk metode penyimpanan data *layer*, sebesar 0.00543 % pada sumbu X, 0.06562 % pada sumbu Y, 0.00797 % pada sumbu Z untuk metode penyimpanan data *time interval*, sebesar 0.004928649 % pada sumbu X, 0.025628032 % pada sumbu Y, 0.020581289 % pada sumbu Z untuk metode penyimpanan data *command*. Metode penyimpanan data posisi ekstruder terhadap sumbu X, Y, Z yang paling efektif adalah metode penyimpanan data *command* dengan rata-rata error akurasi yang dihasilkan sebesar 0.004928649 % pada sumbu X, 0.025628032 % pada sumbu Y, 0.020581289 % pada sumbu Z. Error akurasi masing – masing metode penyimpanan data posisi ekstruder terhadap sumbu X, Y, Z disebabkan oleh jenis teknik penyimpanannya. Semakin sering penyimpanan data dilakukan maka akan semakin akurat data posisi ekstruder terhadap sumbu X, Y, Z yang disimpan.

DAFTAR RUJUKAN

- Abdulhameed, O., Al-Ahmari, A., Ameen, W., & Mian, S. H. (2019). Additive manufacturing: Challenges, trends, and applications. *Advances in Mechanical Engineering*, 11(2), 1687814018822880.
- Amri, A. A. N., & Sumbodo, W. (2018). Perancangan 3D Printer Tipe Core XY Berbasis Fused Deposition Modeling (FDM) Menggunakan Software Autodesk Inventor 2015. *Jurnal Dinamika Vokasional Teknik Mesin*, 3(2), 110-115.
- Faludi, J., Bayley, C., Bhogal, S., & Iribarne, M. (2015). Comparing environmental impacts of additive manufacturing vs traditional machining via life-cycle assessment. *Rapid Prototyping Journal*.
- Hager, I., Golonka, A., & Putanowicz, R. (2016). 3D printing of buildings and building components as the future of sustainable construction?. *Procedia Engineering*, 151, 292-299.
- Hossain, M. A., Zhumabekova, A., Paul, S. C., & Kim, J. R. (2020). A review of 3D printing in construction and its impact on the labor market. *Sustainability*, 12(20), 8492.

- Kamran, M., & Saxena, A. (2016). A comprehensive study on 3D printing technology. *MIT Int J Mech Eng*, 6(2), 63-69.
- Khan, L. A., Mehtab, U., Hasan, E. U., & Hussain, Z. (2014). Design and Fabrication of a CNC Machine for Engraving and Drilling. *International Interdisciplinary Journal of Scientific Research*, 1(3), 1-7.
- Malaeb, Z., AlSakka, F., & Hamzeh, F. (2019). 3D concrete printing: machine design, mix proportioning, and mix comparison between different machine setups. In *3D Concrete printing technology* (pp. 115-136). Butterworth-Heinemann.
- Melnikova, R., Ehrmann, A., & Finsterbusch, K. (2014, August). 3D printing of textile-based structures by Fused Deposition Modelling (FDM) with different polymer materials. In *IOP conference series: materials science and engineering*, 62(1), 012018. IOP publishing.
- Muliyawan, M. D. (2017). Rancang Bangun Konstruksi Rangka Mesin 3D Printer Tipe Cartesian Berbasis Fused Deposition Modeling (Fdm). *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*, 6(4), 252-257.
- Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172-196.
- Nuñez, P. J., Rivas, A., García-Plaza, E., Beamud, E., & Sanz-Lobera, A. (2015). Dimensional and surface texture characterization in fused deposition modelling (FDM) with ABS plus. *Procedia Engineering*, 132, 856-863.
- Paolini, A., Kollmannsberger, S., & Rank, E. (2019). Additive manufacturing in construction: A review on processes, applications, and digital planning methods. *Additive manufacturing*, 30, 100894.
- Stopforth, R. (2021). Conductive polylactic acid filaments for 3D printed sensors: Experimental electrical and thermal characterization. *Scientific African*, 14, e01040.
- Sulayman, D., & Febriantoko, B. W. (2015). *Pengaruh Suhu dari Heater Nozzle Terhadap Produk Printer 3D* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Taufik, M., & Jain, P. K. (2016, August). Computer aided visualization tool for part quality analysis of additive manufacturing process. In *International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference*, 50107, V02AT03A034. American Society of Mechanical Engineers.

- Tran, N. H., Nguyen, V. C., & Nguyen, V. N. (2017). Study on design and manufacture of 3D printer based on fused deposition modeling technique. *Int. J. Eng. Adv. Technol.(IJEAT)*, 6(6).
- Yin, H., Qu, M., Zhang, H., & Lim, Y. (2018). 3D printing and buildings: a technology review and future outlook. *Technology/ Architecture+ Design*, 2(1), 94-111.