

PERANCANGAN DAN ANALISIS PERFORMA 3D PRINTER CARTESIAN

Yuris Setyoadi^{1*}, Rifki Hermana¹, Rahman Hakim², Achmad Didi Riyadi¹, Hanifah Widiastuti²

¹Program Studi Teknik Mesin, Universitas PGRI Semarang

²Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Batam

*Corresponding author: yurissetyoadi@upgris.ac.id

Article history

Received:

09-01-2023

Accepted:

03-11-2023

Published:

31-12-2023

Copyright © 2023
Jurnal Teknologi dan
Riset Terapan

Open Access

Abstrak

Teknologi mesin 3D printer menawarkan kemampuan cetak benda 3D dengan tingkat akurasi yang hampir sempurna, menjadikannya alat penting dalam industri untuk pembuatan prototipe dengan cepat. Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental untuk merancang sebuah 3D printer Cartesian dengan area cetak sumbu X = 150 mm; Y = 150 mm; dan Z = 200 mm. Akurasi hasil cetakan mesin ini kemudian dibandingkan dengan 3D printer Anycubic Mega Zero yang memiliki area cetak sumbu X = 220 mm; Y = 220 mm; dan Z = 250 mm. Kedua mesin diuji dengan mencetak spesimen balok sebanyak 10 kali. Hasil pencetakan menunjukkan adanya beberapa specimen yang tidak sesuai dengan batas toleransi yang ditentukan. Pada 3D printer Cartesian, terdapat tiga nilai ukuran yang melebihi toleransi pada specimen ke-7 dan ke-8, masing-masing pada dimensi panjang, lebar, dan tinggi. Sementara pada 3D printer Anycubic Mega Zero, terdapat lima nilai ukuran yang melebihi toleransi pada specimen ke-6, ke-8, dan ke-9, dengan satu dimensi lebar dan dua dimensi panjang dan tinggi. Dari hasil tersebut, dapat disimpulkan bahwa 3D printer cartesian menunjukkan tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan 3D printer Anycubic Mega Zero.

Kata Kunci: 3D Printer Cartesian, Akurasi Cetak, Pembuatan Prototipe, Perbandingan 3D Printer, Teknologi Cetak 3D

Abstract

3D printer technology offers the capability to print 3D objects with nearly perfect accuracy, making it a crucial tool in the industry for rapid prototyping. This study employs an experimental approach to design a Cartesian 3D Printer with a printing area of X-axis 150 mm, Y-axis 150 mm, and Z-axis 200 mm, and subsequently compares the printing accuracy with the Anycubic Mega Zero 3D printer, which has a printing area of X-axis 220 mm, Y-axis 220 mm, and Z-axis 250 mm. Both machines underwent testing by printing block specimens 10 times each. The printing results revealed several specimens that did not meet the specified tolerance limits. In the Cartesian 3D Printer, three dimensional measurements exceeded tolerance levels in specimens 7 and 8, specifically in length, width, and height dimensions. Meanwhile, in the Anycubic Mega Zero 3D Printer, five measurements exceeded tolerance limits in specimens 6, 8, and 9, with one width dimension and two length and height dimensions. From these findings, it can be concluded that the Cartesian 3D Printer demonstrates higher accuracy compared to the Anycubic Mega Zero 3D Printer.

Keywords: Cartesian 3D Printer, Printing Accuracy, Prototype Manufacturing, 3D Printer Comparison, 3D Printing Technology

1.0 PENDAHULUAN

Dengan pesatnya kemajuan teknologi di era modern, terutama dalam industri, sektor manufaktur telah mengarah ke era industri 4.0 yang terus berkembang. Dalam konteks industri manufaktur, pembuatan prototipe dari desain produk menjadi aspek krusial dalam pengembangan produk [1]. Namun, proses *prototyping* sering memakan waktu yang cukup lama, sehingga

industri membutuhkan mesin dengan akurasi tinggi dan waktu produksi yang efisien [2]. Salah satu solusi efisien untuk memangkas waktu dalam pembuatan prototipe adalah dengan menggunakan mesin 3D printer [3-4].

Mesin 3D printer adalah perangkat cetak yang menggunakan teknologi mutakhir untuk mencetak objek 3D dengan tingkat kemiripan yang hampir sempurna. Keuntungan utama penggunaan 3D printer dalam

pembuatan prototipe adalah kemampuannya untuk mencetak dalam waktu yang singkat. Oleh karena itu, *3D printer* telah menjadi alat penting dalam industri untuk mempercepat proses pembuatan prototipe [5]. Namun, meskipun potensi teknologi ini besar, penggunaannya masih terbatas di kalangan industri karena biayanya yang tinggi [6]. Selain itu, penggunaan berbagai jenis material filament, seperti PLA [7] dan ABS [8], serta material khusus [9], juga memengaruhi minat industri dalam menggunakan *3D printer* [10]. Untuk menjadikan industri menengah ke bawah dapat bersaing dengan industri besar, diperlukan inovasi dalam perancangan *3D printer* yang lebih terjangkau.

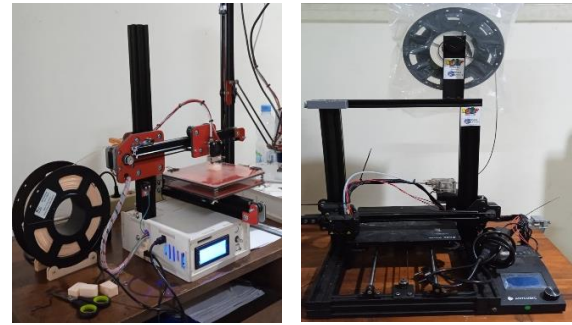
Studi oleh Romario A Wicaksono dan rekan-rekannya (2021) bertujuan untuk merancang dan membuat model *printer 3D* Cartesian berbasis *Fused Deposition Modeling* (FDM) yang dapat melakukan proses pencetakan dengan akurat dan cepat [11]. Metode FDM dipilih karena popularitasnya dalam pencetakan 3D [12]. Keunggulan FDM antara lain biaya efektif, kemudahan penggunaan, waktu produksi, kompatibilitas, dan ketersediaan berbagai jenis filamen [13-14], [15].

Penelitian ini terbagi menjadi tiga tahap, yaitu perancangan menggunakan perangkat lunak *Computer-Aided Design* (CAD), pencetakan dan perakitan komponen mesin *printer 3D*, serta analisis struktur mekanik mesin tersebut. Mesin *printer 3D* ini dirancang untuk dapat melakukan proses pencetakan dengan ukuran cetak 180 mm × 180 mm × 150 mm.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kualitas dari mesin *printer 3D* yang dikembangkan sendiri. Kualitas yang dimaksud adalah keakuratan produk cetakan mesin *printer 3D* terhadap batas toleransi, dibandingkan dengan *printer 3D existing*, yakni Anycubic Mega Zero. Mesin ini menggunakan *controller* Arduino Mega 2560 dengan desain *hardware* yang mirip dengan mesin *printer 3D* yang sudah ada, namun dengan biaya yang lebih terjangkau, serta menggunakan perangkat lunak pendukung *open source*. Hal ini diharapkan dapat meningkatkan daya saing industri menengah ke bawah dan hasil produksinya.

2.0 METODE

Metode penelitian ini merupakan gabungan antara perancangan *3D printer* Cartesian dan perbandingan hasil cetakan antara *3D printer* Cartesian dan *3D Printer* Anycubic Mega Zero. Mesin *3D printer* yang digunakan ditampilkan pada Gambar 1 berikut.

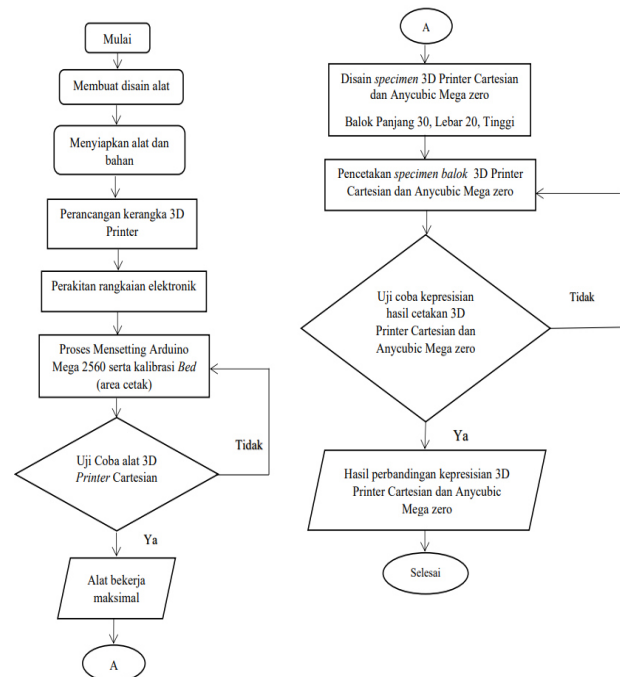


Gambar 1. (a) *3D printer* Cartesian (b) *3D printer* Anycubic Mega Zero.

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Membuat rancangan *3D Printer* cartesian dengan luas area X = 150 mm; Y=150 mm; dan Z= 200 mm.
- Menentukan alat, bahan serta perancangan kerangka *3D printer* Cartesian dan perakitan rangkaian elektronik.
- Mengatur *setting* Arduino Mega 2560 dan melakukan uji coba alat *3D printer* Cartesian,
- Merancang spesimen balok panjang 30 mm; lebar 20 mm; dan tinggi 15 mm.
- Melakukan pengujian alat *3D printer* Cartesian dan Anycubic Mega Zero mencetak spesimen balok,
- Membandingkan kepresisian hasil cetakan antara *3D printer* Cartesian dan Anycubic Mega Zero.

Alur penelitian ditampilkan dalam bentuk diagram alir pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Alur Penelitian

2.1. Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 adalah sebuah papan *microcontroller* yang berbasis *open source*, yang memiliki chip *microcontroller* tipe Atmel AVR sebagai komponen utamanya. Papan ini dapat diprogram menggunakan komputer untuk membaca masukan, memprosesnya, dan mengeluarkan *output* yang diinginkan. Proses *input/output* sirkuit listrik dikelola oleh *microcontroller*, yang dapat dianggap sebagai otaknya [16].

Catu daya eksternal dan koneksi USB dapat digunakan untuk menghidupkan Arduino Mega. Adaptor AC-DC, baterai, atau sumber daya eksternal lainnya dapat dipilih secara otomatis [11]. Adaptor dengan steker 2,1 mm dan terminal positif tengah dapat digunakan untuk menyambungkan adaptor ke konektor daya papan. Catu daya eksternal dengan tegangan mulai dari 6 volt hingga 20 volt dapat digunakan untuk memberi daya pada papan Arduino Mega 2560. Namun, perlu diperhatikan bahwa pin 12,5 volt dapat menghasilkan tegangan kurang dari 5 volt jika tegangan yang diterapkan kurang dari 7 volt, yang dapat menyebabkan kerusakan pada papan. Spesifikasi detail dari perangkat Arduino Mega 2560 diperlihatkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Spesifikasi Arduino Mega 2560

No.	Komponen	Spesifikasi
1.	<i>Microcontroller</i>	ATmega 2560
2.	Tegangan Operasional	5V
3.	Tegangan <i>Input</i> (<i>rekomendasi</i>)	7-12V
4.	Tegangan <i>Input</i> (<i>limit</i>)	6-20V
5.	Pin Digital I/O	54 (<i>of which 15 provide PWM output</i>)
6.	<i>Pin Analog Input</i>	16
7.	Arus DC per Pin I/O	20 mA
8.	Arus DC untuk Pin 3.3 V	50 mA
9.	Memory <i>Flash</i>	256 kB, <i>of which 8 kB used by the bootloader</i>
10.	SRAM	8 kB
11.	EEPROM	4 kB
12.	<i>Clock Speed</i>	16 MHz
13.	<i>LED_BUILTIN</i>	13
14.	Panjang	101.52 mm
15.	Lebar	53.3 mm
16.	Berat	37 g

2.2. Bahan *Polylactic Acid*

Dalam penelitian ini, digunakan bahan berjenis PLA (*Polylactic Acid*). Pada perangkat lunak Repetier Host, suhu *extruder* diatur pada 200 °C, dengan kecepatan cetak 50 mm/s. Desain yang diujikan adalah desain yang digunakan untuk mengevaluasi keakuratan alat, yaitu objek balok dengan ukuran panjang 30 mm; lebar 20 mm; dan tinggi 15 mm. Setiap alat mencetak balok sebanyak sepuluh kali untuk mendapatkan hasil yang akurat dari 3D *printer* Cartesian dan 3D *Printer* Anycubic Mega Zero.

Keakuratan cetakan diukur dengan membandingkan dimensi objek cetak dengan batas toleransi yang ditentukan. Parameter pencetakan ditampilkan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Parameter Percetakan 3D *printer* Cartesian dan Anycubic Mega Zero

Parameter	3D printer Cartesian	3D printer anycubic mega zero
Suhu <i>extruder</i>	200°C	200°C
Kecepatan	50 mm/s	50 mm/s
Panjang Balok	30 mm	30 mm
Lebar Balok	20 mm	20 mm
Tinggi Balok	15 mm	15 mm
Waktu	± 14 menit	± 19 menit

2.3. *Motor stepper*

Motor stepper adalah jenis motor listrik yang mampu mengubah pulsa listrik menjadi gerakan motor yang diskrit atau terputus, yang disebut langkah (*step*). Untuk menyelesaikan satu putaran penuh, *motor stepper* memerlukan sejumlah langkah tertentu, yang biasanya dinyatakan dalam jumlah langkah per putaran per detik.

Keunggulan *motor stepper* dibandingkan dengan motor DC konvensional adalah kemampuannya untuk mengatur sudut rotasi motor secara proporsional dengan pulsa masukan, sehingga lebih mudah diatur. *Motor stepper* juga mampu memberikan torsi penuh secara langsung saat memulai pergerakan. Selain itu, posisi dan pergerakan *motor stepper* dapat ditentukan dengan presisi yang tinggi, dan memiliki respon yang sangat baik terhadap perintah *start*, *stop*, dan perubahan arah. Hal ini disebabkan karena *motor stepper* tidak menggunakan sikat yang bersentuhan langsung dengan rotor seperti pada motor DC biasa.

3.0 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Realisasi Hasil Perancangan

Hasil dari perancangan alat 3D *printer* Cartesian menggunakan *controller* Arduino Mega 2560 menunjukkan luas area cetak sumbu X sepanjang 150 mm, sumbu Y sepanjang 150 mm, dan sumbu Z sepanjang 200 mm.



Gambar 3. Hasil perancangan 3D *Printer* Cartesian

3.2. Analisis Dimensi

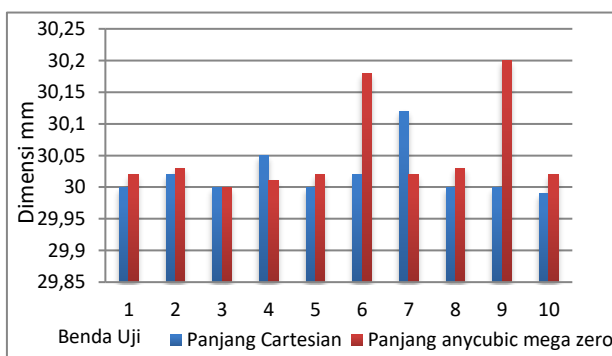
Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali menggunakan 3D printer Cartesian dan Anycubic Mega Zero, dan hasilnya kemudian dibandingkan. Hasil pengujian pembuatan balok dengan dimensi benda uji panjang 30 mm, lebar 20 mm, dan tinggi 15 mm disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil pengukuran balok kedua 3D printer

No	3D Printer Cartesian			3D Printer Anycubic Mega Zero		
	Panjang	Lebar	Tinggi	Panjang	Lebar	Tinggi
1	30,00	20,03	15,00	30,02	20,02	15,01
2	30,02	20,00	15,02	30,03	20,00	15,00
3	30,00	20,00	15,01	30,00	20,01	15,04
4	30,05	20,01	15,00	30,01	20,02	15,01
5	30,00	20,02	15,00	30,02	20,01	15,00
6	30,02	20,00	15,03	30,18	20,00	15,16
7	30,12	20,01	15,10	30,02	19,99	15,02
8	30,00	20,10	15,01	30,03	19,89	15,00
9	30,00	20,03	15,00	30,20	20,00	15,11
10	29,99	20,00	15,00	30,02	20,01	15,02

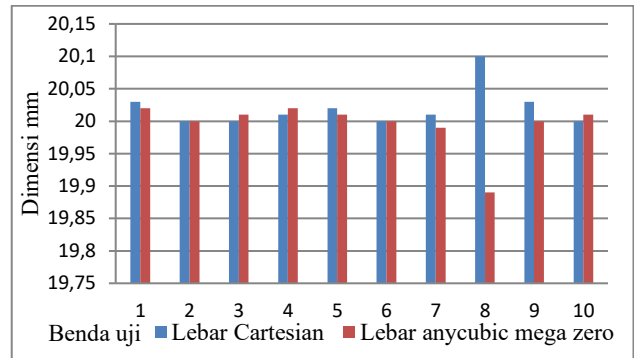
Berdasarkan hasil percetakan (Tabel 3) dari 3D printer Cartesian dan Anycubic Mega Zero diketahui keduanya mampu menghasilkan benda kerja dengan selisih dimensi sekitar ± 0.1 mm untuk benda balok. Hasil ini menunjukkan bahwa mesin 3D printer Cartesian memiliki kinerja yang setara dengan 3D Printer Anycubic Mega Zero, sehingga 3D printer Cartesian dapat dijadikan sebagai alat bantu dalam proses produksi maupun praktikum.

Perbandingan dimensi panjang antara 3D printer Cartesian dan 3D printer Anycubic Mega Zero disajikan pada Gambar 4. Hasil tersebut menunjukkan perbedaan panjang balok yang dihasilkan oleh kedua 3D printer sebesar 0,06 mm.



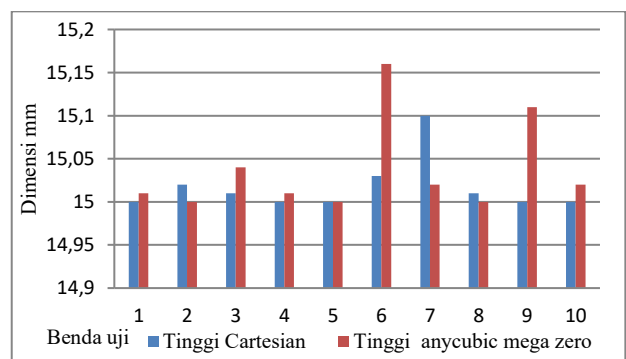
Gambar 4. Perbandingan dimensi panjang balok

Dalam hal dimensi lebar, Gambar 5 membandingkan dimensi lebar produk antara 3D Printer Cartesian dan 3D Printer Anycubic Mega Zero. Perbandingan tersebut menunjukkan perbedaan lebar balok yang dihasilkan oleh kedua 3D printer tersebut adalah 0,21 mm.



Gambar 5. Perbandingan dimensi lebar balok

Sementara itu, Gambar 6 membandingkan dimensi tinggi produk antara 3D Printer Cartesian dan 3D Printer Anycubic Mega Zero. Dari hasil perbandingan tersebut, terlihat bahwa perbedaan tinggi balok yang dihasilkan oleh kedua 3D printer tersebut adalah 0,06 mm.



Gambar 6. Perbandingan dimensi tinggi balok

Berdasarkan data pada Tabel 3, terdapat beberapa dimensi yang melebihi toleransi linear yang ditentukan. Pada 3D printer Cartesian, terdapat dua benda uji yang melebihi toleransi pada dimensi panjang, lebar, dan tinggi pada benda uji ke-7 dan ke-8. Sementara itu, hasil dari 3D printer Anycubic Mega Zero juga menunjukkan beberapa hasil yang tidak akurat, seperti pada benda uji ke-6, 8 dan 9, dengan ketidakakuratan yang dijelaskan sebagai berikut:

- Benda uji ke-6 melebihi toleransi 0,05 mm pada dimensi panjang dan tinggi.
- Pada benda uji ke-8, dimensi lebar melebihi toleransi 0,05 mm.
- Benda uji ke-9 melebihi toleransi 0,05mm pada dimensi panjang dan tinggi.

Hasil di atas menunjukkan bahwa 3D printer Cartesian sudah memadai untuk kebutuhan penelitian ini. Meskipun menghasilkan beberapa nilai dimensi yang tidak akurat, performa 3D printer Cartesian masih terbilang baik jika dibandingkan dengan 3D printer Anycubic Mega Zero. Hasil ini juga menegaskan bahwa mesin 3D printer Cartesian yang dirancang untuk penelitian ini berhasil sesuai dengan tujuan pembuatannya.

4.0 KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan sebagai berikut:

- a. Perancangan menghasilkan mesin 3D *printer* Cartesian dengan luas area cetak sumbu X sepanjang 150 mm, sumbu Y sepanjang 150 mm, dan sumbu Z sepanjang 200 mm. Mesin 3D *printer* ini menggunakan *controller* Arduino Mega 2560 sebagai pusat kontrol operasional.
- b. Hasil penelitian percetakan spesimen balok sebanyak 10 kali pada 3D *printer* Cartesian tersebut menunjukkan adanya beberapa hasil cetakan yang kurang atau melebihi batas toleransi $\pm 0,05$ mm. Sebanyak tiga dimensi pada spesimen ke-7, dan ke-8 melebihi toleransi, masing-masing satu pada dimensi panjang, lebar, dan tinggi. Sementara pada 3D *printer* Anycubic Mega Zero dengan luas area cetak sumbu X sepanjang 220 mm, sumbu Y sepanjang 220 mm, dan Z sepanjang 250 mm, terdapat lima dimensi yang melebihi toleransi pada spesimen ke-6, ke-8, dan ke-9, di mana dua untuk dimensi panjang, satu dimensi untuk lebar, dan dua dimensi untuk tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hasnira, H., Toar, H., Hakim, R., Saputra, I., & Irawan, B. H. (2022). Konsep Pembelajaran Pemindaian Model Tiga Dimensi: Konsep dan Aplikasinya. *Journal of Applied Sciences, Electrical Engineering and Computer Technology*, 3(01), 6-11.
- [2] Scherick, J., Touchette, C., Gulbin, M., Coady, P., Radhakrishnan, P., & Brown, D. C. (2021). Gapa: an Application To Assist Novice Users With 3D Printing. *ASME International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Proceedings (IMECE)*, 6. <https://doi.org/10.1115/IMECE2021-71068>
- [3] Amri, A.A.N. dan 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.
- [4] Amrullah, M. A. M., (2018). Rancang Bangun Prototipe Printer 3 Dimensi (3D) Tipe Cartesian Berbasis Fused Deposition Modelling (FDM) (Doctoral dissertation, University of Technology Yogyakarta).
- [5] Andriyansyah, D., & Jamaldi, A. (2021). Perancangan Dan Pembuatan Mesin 3D Printer Tipe Cantilever. *Abdi Masya*, 1(2), 108-114.
- [6] Zhao, D., Li, T., Shen, B., Jiang, Y., Guo, W., & Gao, F. (2020). A multi-DOF rotary 3D printer: machine design, performance analysis and process planning of curved layer fused deposition modeling (CLFDM). *Rapid Prototyping Journal*, 26(6), 1079–1093. <https://doi.org/10.1108/RPJ-06-2019-0160>
- [7] Arysawan, A., Hakim, R., & Saputra, M. R. (2019). Analisa Kekasaran Permukaan Produk Mesin Cetak Tiga Dimensi Dengan Material Acrylonitrile Butadiene Styrene Terlapis Cat Emulsi. *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)*, 1(2), 72-75.
- [8] Irawan, B. H., Hakim, R., Widiastuti, H., Kamsyah, D., & Sahputra, B. (2019). Pengaruh Temperatur Nozzle dan Base Plate pada Mesin Leapfrog Creatr 3d Printer terhadap Density dan Surface Roughness Material ABS. *Jurnal Teknologi dan Riset Terapan (JATRA)*, 1(1), 32-37.
- [9] Ngo, T. D., Kashani, A., Imbalzano, G., Nguyen, K. T. Q., & Hui, D. (2018). Additive manufacturing (3D Printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, 143, 172–196. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2018.02.012>
- [10] Kalsoom, U., Hasan, C. K., Tedone, L., Desire, C., Li, F., Breadmore, M. C., Nesterenko, P. N., & Paull, B. (2018). Low-Cost Passive Sampling Device with Integrated Porous Membrane Produced Using Multimaterial 3D Printing. *Analytical Chemistry*, 90(20), 12081–12089. <https://doi.org/10.1021/acs.analchem.8b02893>
- [11] Wicaksono, R. A., Kurniawan, E., Syafrianto, M. K., Suratman, R. F., & Sofyandi, M. R. (2021). Rancang Bangun dan Simulasi 3D Printer Model Cartesian Berbasis Fused Deposition Modelling. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 5(2), 53-64.
- [12] Camargo, J. C., Machado, Á. R., Almeida, E. C., & Silva, E. F. M. S. (2019). Mechanical properties of PLA-graphene filament for FDM 3D printing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 103(5), 2423–2443. <https://doi.org/10.1007/s00170-019-03532-5>
- [13] Li, B., Liu, J., Gu, H., Jiang, J., Zhang, J., & Yang, J. (2019). Structural Design of FDM 3D Printer for Low-melting Alloy. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 592(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/592/1/012141>
- [14] Mulyanto, F. D., Setyoadi, Y., & Hermana, R. (2022). The Performance Analysis of The 3D Printer Corexy FDM Type With Area X= 200 Y= 200 Z= 200 mm. *Jurnal Teknik Mesin Mechanical Xplore*, 3(1), 26-33.
- [15] Pamasaria, H. A., Herianto, H., & Saputra, T. H. (2019). Pengaruh Parameter Proses 3D Printing Tipe FDM (Fused Deposition Modeling) terhadap Kualitas Hasil Produk. *IENACO (Industrial Engineering National Conference) 7 2019*.
- [16] Setyoadi, Y., Carsoni, C., Amiruddin, M., & Harjanto, I. (2016, January). Perancangan Dan Manufaktur Printer 3 Dimensi Tipe Fused Deposition Modeling (FDM). *Seminar Hasil-Hasil Penelitian 2015, Universitas PGRI Semarang*.