

Rancang Bangun 3D Printer FDM Model Cartesien Berbasis Arduino

Dani Mardiyana^a, Zaid Sulaiman^a, Saepul Ihsan^a, Fabrobi Ridha^a, Taufik Rahman^a

^aProgram Studi Teknik Mesin Universitas Nusa Putra, Kabupaten Sukabumi, Jawa Barat, Indonesia 43152
e-mail: dani.mardiyana@nusaputra.ac.id

Kata kunci:

Manufaktur Aditif;
Mikrokontroler
Arduino; 3D Printer
Cartesian; Prototipe
Cepat; analisis
elemen hingga.

ABSTRAK

Pembuatan prototype secara manual menelan banyak waktu, bahan baku, dan tidak akurat. Solusi pembuatan prototype agar cepat dan detail adalah 3D printer. Penelitian tentang 3D printer oleh peneliti sebelumnya masih terdapat kekurangan mengenai akurasi dimensi produk, serta terjadi stringing. Penelitian rancang bangun 3D printer FDM model Cartesien berbasis arduino ini dilaksanakan untuk menghasilkan rangka 3D printer yang kokoh, akurasi yang baik, dan mengatasi stringing. Metoda yang digunakan adalah rancang bangun, dimana mesin 3D printer dirancang dan dibuat, kemudian diuji performanya. Desain 3D printer memiliki dimensi 434 x 470 x 610 mm dengan area kerja 220 x 220 x 233 mm Rangka yang dibuat disimulasikan dengan FEA dengan hasil safety factor 15 ul. Kontrol 3D printer menggunakan Arduino Mega 2560 untuk pengoperasiannya. Hasil pengujian performa 3D printer telah berhasil menghilangkan stringing dengan akurasi produk sumbu X sebesar 99,48%, sumbu Y 99,24%, dan sumbu Z 98,46%.

Keyword:

Additive
manufacturing; Arduino
microcontroller;
cartesian 3D printer;
rapid prototyping; Finite
Element Analysis.

ABSTRACT

Prototyping using the manual method consumes a lot of time, raw materials, and is often inaccurate. The 3D printer is a more quick and detailed method in the manufacture. Research on 3D printers by previous researchers still lacks product dimensional accuracy, and stringing still occurs. This research on the design of the Arduino-based Cartesian FDM 3D printer was carried out to produce a 3D printer frame that is sturdy, has good accuracy, and overcomes stringing. The methodology on the design is where the 3D printer machine is designed and built, then its performance is tested. The 3D printer design has dimensions of 434 x 470 x 610 mm with a work area of 220 x 220 x 233 mm. The frame is simulated with FEA with a safety factor of 15 ul. The 3D printer control uses Arduino Mega 2560 for operation. The results of the 3D printer performance test have succeeded in eliminating stringing with an X-axis product accuracy of 99.48%, Y-axis 99.24%, and Z-axis 98.46%.

1. PENDAHULUAN

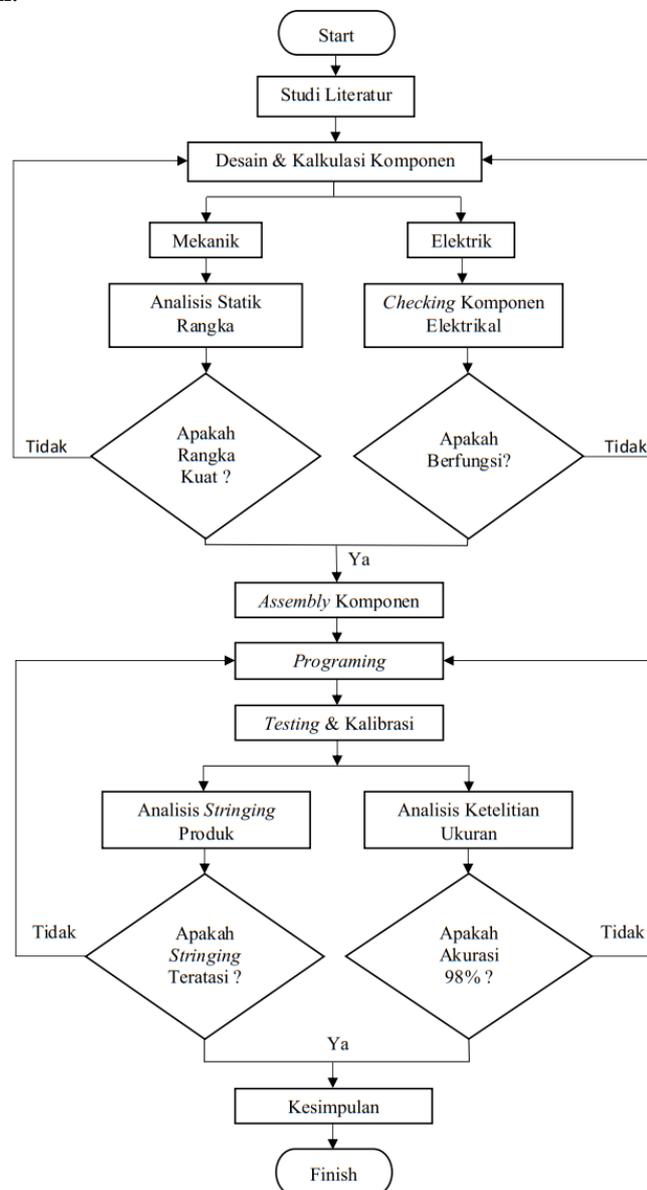
Suatu produk yang akan diproduksi haruslah melalui proses prototype awal sehingga dapat ditetapkan apakah suatu produk desain sudah memenuhi kriteria yang diharapkan dan siap untuk diproduksi secara massal [1], [2], [3]. Pembuatan prototype produk saat ini masih banyak dikerjakan dengan cara manual seperti menggunakan tanah liat, kayu, lilin, dan resin. Proses ini menelan banyak waktu, bahan baku, dan dimensi yang beragam/tidak akurat karena dibuat manual dengan tangan [4].

Solusi untuk mempermudah pembuatan prototipe agar cepat dan detail adalah dengan 3D printer [5]. Proses 3D printer tidak menghasilkan material sisa atau limbah seperti proses manufaktur konvensional (subtraktif), selain itu memiliki komponen yang sederhana sehingga hemat energi [6]. Salah satu teknologi 3D printer yaitu Fused Deposition Modelling (FDM) atau dikenal juga Fused Filament Fabrication (FFF). Prinsip kerja teknologi ini yaitu dengan cara ekstrusi termoplastik melalui nozzle yang dipanaskan pada suhu leleh dan kemudian produk dibuat lapis per lapis. PLA dan ABS merupakan dua material yang umum digunakan pada teknologi ini [7], [8], [9].

Penelitian mengenai perancangan 3D printer FDM model Cartesian ini telah dilaksanakan sebelumnya oleh Peneliti Teknik Mesin dari Universitas Subang, namun masih terdapat kekurangan pembahasan mengenai akurasi hasil kualitas geometri dari hasil produk, selain itu terdapat masalah pada hasil cetaknya, yaitu terjadi "stringing" [10]. Stringing adalah keadaan dimana ketika pengeprinan dilakukan, timbul adanya sisa plastik yang keluar dari nozzle saat perpindahan dari satu lokasi ke lokasi lain [11]. Berdasarkan hasil analisis, stringing disebabkan karena pengeprinan beberapa objek sekaligus, pengaturan retraksi dan temperatur yang tinggi. Temperatur yang tinggi dapat mengakibatkan filament menjadi terlalu cair sehingga mudah keluar dari nozzle, hal ini menyebabkan adanya benang-benang tipis pada hasil cetak 3D Printer [12]. Berdasar pada latar belakang tersebut di atas, penelitian "Rancang Bangun 3D Printer FDM Model Cartesian Berbasis Arduino" akan dilaksanakan guna menjawab permasalahan 3D printer pada penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, yaitu untuk memperbaiki kualitas produk 3D printer, dan meminimalisir terjadinya stringing produk menggunakan material PLA dengan variasi temperatur 190^o C, 200^o C, dan 210^o C pada *print speed* 150 mm/s.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan metode rancang bangun, dengan alur penelitian secara lengkap terlihat pada gambar 1 di bawah ini.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.1 Desain dan Kalkulasi Komponen

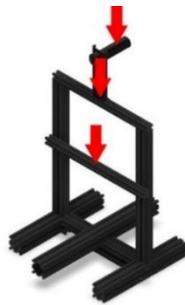
Pada tahapan desain dan kalkulasi komponen 3D printer FDM model cartesian terdapat beberapa tahapan yang dilakukan, yaitu:

2.1.1 Desain Mekanik

Perancangan desain mekanik menggunakan *software* Autodesk Inventor 2020 yang terdiri dari rangka jenis aluminium V-Slot, braket, transmisi, dan komponen pengikat yang digunakan pada 3D Printer FDM model cartesian.

2.1.2 Analisis Statik Rangka

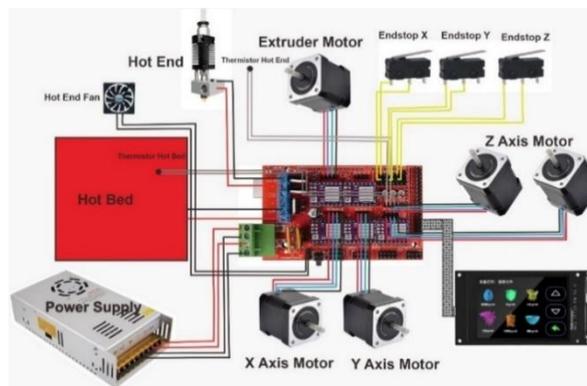
Analisis statik rangka dilakukan untuk mengetahui *safety factor* dari rancangan atau desain frame 3D printer yang telah dibuat. *safety factor* merupakan evaluasi keamanan dari suatu elemen agar desain terjamin keamanannya dengan dimensi yang minimum [13]. Analisis statik rangka menggunakan *Finite Element Analysis* (FEA), yaitu metode analisis eksperimen yang berdasarkan fenomena kompleks mekanika suatu benda yang dibuat visualisasi/pemodelan virtual menggunakan *software* berbasis Computer Aided Engineering (CAE) [14]. Tiga bagian rangka disimulasikan dengan *software* Autodesk Inventor 2020, yaitu frame atas, frame bawah, dan handle. Material aluminium 6061-AHC seperti yang terlihat pada gambar 2.



Gambar 2. Posisi Pembebanan pada analisis statik rangka

2.1.3 Desain Elektrik

Desain elektrik 3D printer berbasis arduino yang dirancang secara lengkap dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Skema Elektrikal 3D Printer

2.1.4 Checking Komponen Elektrik

Checking komponen elektrik yaitu dengan cara mengecek seluruh komponen elektrik yang akan digunakan apakah berfungsi dengan baik saat akan digunakan sebagai komponen 3D printer.

2.2 Assembly Komponen

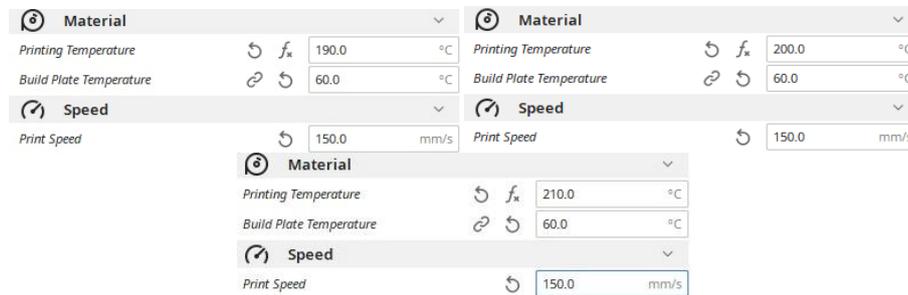
Assembly komponen merupakan penggabungan seluruh komponen mekanik dan komponen elektrik 3D Printer sebelum dilakukan pemrograman dan kalibrasi.

2.3 Program

Software untuk menginput program 3D printer pada board Arduino Mega 2560 adalah "Arduino IDE", yang sangat berperan untuk menulis program, meng-compile menjadi kode biner, dan meng-upload ke dalam memory mikrokontroler [16]. Program arduino untuk 3D printer yang harus disetting yaitu: program ketelitian langkah dan kecepatan motor *stepper*, program Area kerja 3D printer, program *Setting nozzle dan bed temperature*, program *Autohome* 3D printer, program *LCD*.

2.4 Testing dan Kalibrasi

Testing dengan setting yang dilakukan pada software Cura untuk menghilangkan *stringing* pada hasil produk yaitu dengan variasi temperatur 190^o C, 200^o C, dan 210^o C pada print speed 150 mm/s seperti terlihat pada gambar 4. Filamen yang digunakan adalah jenis material PLA.



Gambar 4. Setting pada Software Cura

Kalibrasi bertujuan untuk mendapatkan hasil yang valid dalam melakukan pengukuran [17]. Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan perhitungan perencanaan, input program dan juga nilai aktual yang dihasilkan oleh 3D printer. Adapun parameter kalibrasi yang dilakukan yaitu kalibrasi Pergerakan Sumbu X, kalibrasi Pergerakan Sumbu Y, kalibrasi Pergerakan Sumbu Z, dan kalibrasi Jarak *Nozzle* dan *Bed*.

2.5 Pengujian *Stringing* Produk

Pengujian *stringing* produk dilaksanakan dengan cara membandingkan hasil produk 3D printer penelitian ini dengan hasil produk 3D printer pada penelitian sebelumnya yang mengalami *stringing* pada hasil cetaknya.

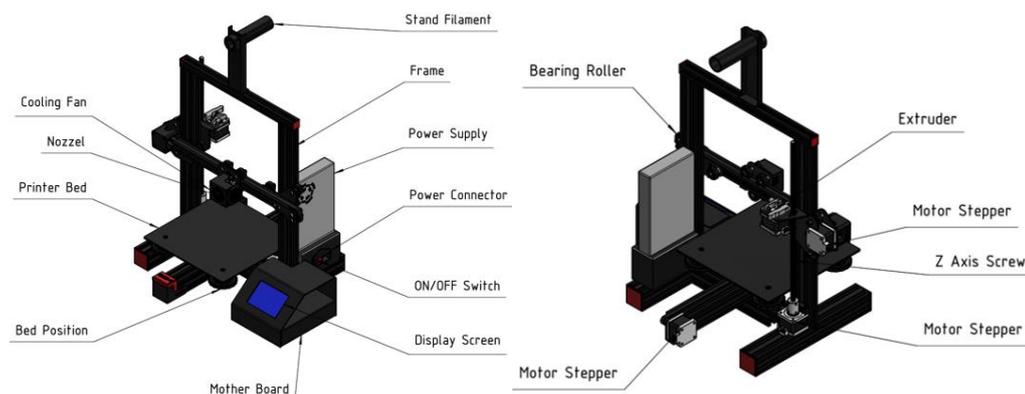
2.6 Pengujian Ketelitian Ukuran

Pengujian ketelitian ukuran bertujuan untuk menguji kepresisian hasil produk 3D printer di setiap sumbu X, Y, dan Z. Spesimen uji hasil produk 3D printer dibuat sebanyak sembilan sampel, kemudian dilakukan pengukuran dengan jangka sorong yang sudah terkalibrasi dengan tingkat ketelitian 0,05 mm. Hasil pengukuran tiap sumbu kemudian dirata-ratakan dan dianalisis untuk mengetahui persentase tingkat ketelitian mesin 3D printer.

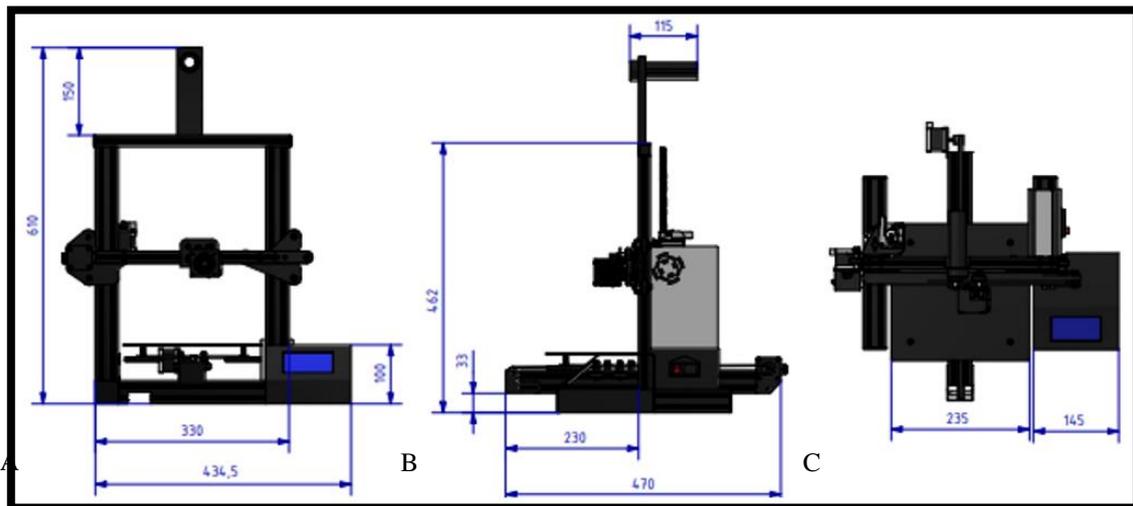
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Desain 3D Printer FDM Model Cartesian

Hasil desain 3D printer FDM model cartesian secara lengkap dapat dilihat pada gambar 5, dimana pada desain terdapat komponen mekanik dan komponen elektrik. Terlihat pada gambar 5 tersebut terdapat empat motor penggerak, yaitu motor *stepper* yang berfungsi sebagai penggerak axis X,Y, dan Z, serta motor *stepper* untuk pendorong filament ke dalam nozzle. Dimensi 3D printer yang didesain berukuran 434 x 470 x 610 mm dengan area kerja 220 x 220 x 233 mm seperti yang terlihat pada gambar 6. Ukuran ini dipilih sesuai dengan ukuran standar 3D printer yang sudah ada, sehingga untuk komponen bed akan mudah untuk didapatkan. Spesifikasi mesin secara lengkap dapat dilihat pada tabel 1.



Gambar 5 Desain 3 Dimensi Bagian-Bagian 3D Printer



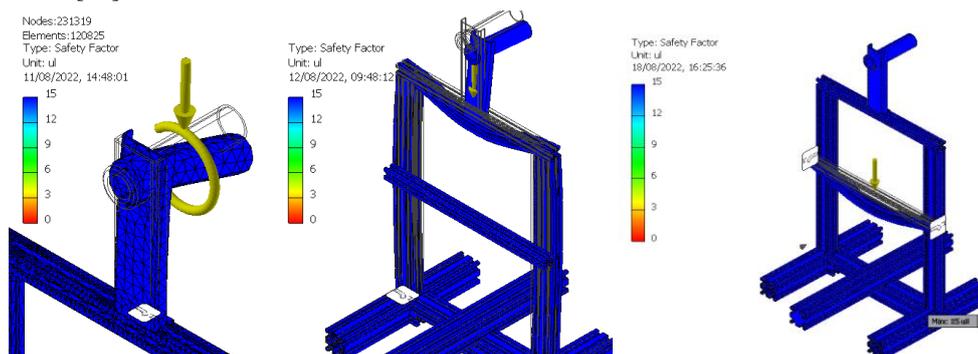
Gambar 6. Desain 3D Printer (A) Pandangan Depan; (B) Pandangan Samping Kanan; (C) Pandangan Atas

Tabel 1. Spesifikasi Mesin 3D Printer

Jenis	Spesifikasi
Printing type	Cartesian
Rangka	V Slot 2020, 2040, 4040
Rail utama	V Wheel Derlin type B & C
Heat bed	220 x 220 mm
Power supply	150 W & 12 V 30 A
Lead trapezoidal screw	8 mm – 2 mm Pitch 4 start
Micro controller	Arduino Atmega 2560
Belt	GT2 6 mm – 2 mm Pitch
Pulley	20 Teeth GT2
Stepper motor	Nema 17H58401SY-DP
Diameter nozzle	0,4 mm
Temperature hot end	0-250°C
Temperature heat bed	0-100°C
Support filament diameter	1,75 mm
Firmware	Marlin
Konektifitas	SD Card

3.2 Analisis Statik Rangka

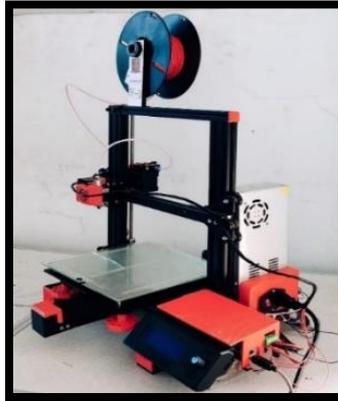
Gambar 7 merupakan hasil simulasi FEA rangka 3D printer dengan software Autodesk Inventor 2020 pada bagian *handle*, *frame* atas, dan *frame* bawah, dan dengan material aluminium *profile v-slot* menunjukkan hasil *safety factor* 15 ul, yang artinya distribusi tegangan masih di bawah *ultimate tensile strength* (UTS) sering disingkat menjadi *yield strength* (YS) sehingga aman digunakan untuk struktur mesin 3D printer [15].



Gambar 7. Hasil Simulasi FEA [15]

3.3 Assembly Komponen

Assembly komponen sesuai dengan desain 3D printer yang telah dirancang pada gambar 5. Adapun pemasangan komponen elektrik disesuaikan dengan skema elektrikal pada gambar 3. Hasil *assembly* komponen mekanik dan komponen elektrik secara lengkap terlihat pada gambar 8.



Gambar 8. Hasil Assembly 3D Printer

3.4 Programing

3.4.1 Program Ketelitian Langkah dan Kecepatan Motor Stepper

Program ketelitian langkah dan kecepatan motor stepper diisi nilai *default axis steps per unit*, *default max feedrate*, dan *default max acceleration* seperti pada gambar 9.

```

X, Y, Z, E0 [, E1[, E2
*/
#define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80.5 ,80.5, 402, 100 }
#define DEFAULT_MAX_FEEDRATE       { 10 , 10, 10, 25 }
#define DEFAULT_MAX_ACCELERATION    { 50, 50, 50, 50}

```

Gambar 9. Program Ketelitian Langkah dan kecepatan motor stepper

Default axis steps per unit memperhatikan jumlah teeth pada puli yang digunakan, yaitu 20 teeth. Berdasarkan eksperimen yang dilakukan, nilai default axis steps per unit pada axis X dan Y adalah 80,5 step/menit, sedangkan nilai axis Z adalah 402 step/menit, dan nilai program E0 (ekstruder) adalah 100 step/menit dalam keadaan nozzle aktif. Default max feedrate adalah kecepatan saat melakukan pengeprinan, untuk nilai program axis X, Y, dan Z adalah 10 step/menit nilai ini disesuaikan dengan kebutuhan. Nilai program E0 atau ekstrudernya adalah 25 step/menit. Default max acceleration pada axis X, Y, Z dan E0 adalah 50 step/menit. Program default max feedrate dan default max acceleration bisa disesuaikan dirubah pada LCD dan disesuaikan dengan kebutuhan.

3.4.2 Program Area Kerja 3D Printer

Pada program area kerja bertujuan untuk mengatur ukuran area kerja pada 3D printer. MAX adalah batas maksimal axis, MIN adalah minimal axis. Pada gambar 10 terlihat nilai X min pos X, Y dan Z adalah 0 mm, artinya ini adalah posisi *auto home nozzle*. X max pos X dan Y adalah 220 mm menyesuaikan dengan ukuran bed standar di pasaran agar mudah dalam penggantian komponen jika terjadi kerusakan pada bed. adapun *max pos* pada axis Z adalah 233 mm disesuaikan dengan pergerakan tinggi maksimal nozzle pada rangka.

```

// The size of the print bed
#define X_BED_SIZE 220
#define Y_BED_SIZE 220

// Travel limits (mm) after h
#define X_MIN_POS 0
#define Y_MIN_POS 0
#define Z_MIN_POS 0
#define X_MAX_POS X_BED_SIZE
#define Y_MAX_POS Y_BED_SIZE
#define Z_MAX_POS 233

```

Gambar 10. Pemerograman Area Kerja 3D Printer

3.4.3 Program Setting Nozzle dan Bed Temperature

Program *Setting Nozzle dan Bed Temperature* dapat dilihat pada gambar 11, di mana nilai ukuran *nozzle* disesuaikan dengan ukuran nozzle yang digunakan, yaitu 0,4 mm, tinggi lapisan 0,2 mm, temperatur *hotend* disesuaikan dengan jenis filament PLA 205^o C dan temperatur *bed* 60^o C. Settingan ini masih bisa disesuaikan kembali saat menggunakan *software cura* jika diperlukan temperatur yang lebih tinggi.

```

//#define G26_MESH_VALIDATION
#if ENABLED(G26_MESH_VALIDATION)
#define MESH_TEST_NOZZLE_SIZE 0.4 // (mm)
#define MESH_TEST_LAYER_HEIGHT 0.2 // (mm)
#define MESH_TEST_HOTEND_TEMP 205.0 // (°C)
#define MESH_TEST_BED_TEMP 60.0 // (°C)
#endif

```

Gambar 11. Pemrograman Setting Nozzle

3.4.4 Program Autohome 3D Printer

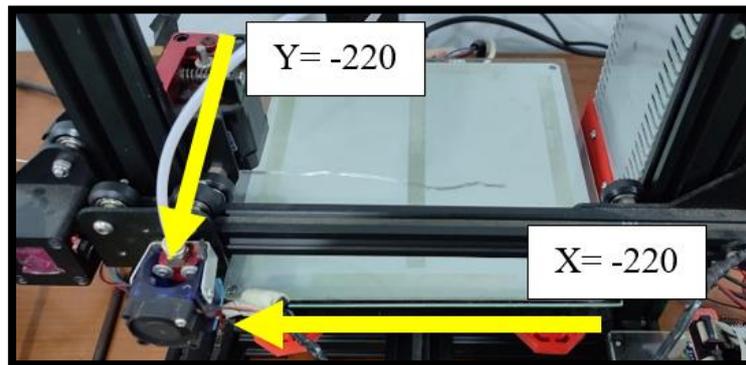
Program *autohome* menyesuaikan dengan lebar area kerja X dan Y, yaitu 220x220 mm. Gambar 12 adalah nilai program yang diinput dengan menambahkan tanda negatif (-) karena posisi *auto home nozzle* berada pada sebelah kiri bawah *bed*. Pada gambar 13 terlihat jelas posisi nozzle dengan nilai X *bed size* -220 dan Y *bed size* -220.

```

#if ENABLED(Z_SAFE_HOMING)
#define Z_SAFE_HOMING_X_POINT ((X_BED_SIZE) -220)
#define Z_SAFE_HOMING_Y_POINT ((Y_BED_SIZE) -220)
#endif

```

Gambar 12. Pemrograman Autohome



Gambar 13. Autohome nozzle 3D Printer

3.4.5 Program LCD

Pemrograman LCD biasanya sudah terdapat pada file program kemudian di pilih tampilan apa yang akan di tampilkan di layar LCD 3D printer. Pada gambar 14 terlihat Program yang aktif ditulis (*#define*), jika akan tidak diaktifkan ditulis (*//#define*).

```

#if ENABLED(CARTESIO_UI)
#define DOGLCD
#define ULTIPANEL
#define DEFAULT_LCD_CONTRAST 90
#define LCD_CONTRAST_MIN 60
#define LCD_CONTRAST_MAX 140
#elif ENABLED(MAKRPANEL)
#define U8GLIB_ST7565_64128N
#elif ENABLED(ZONESTAR_LCD)
#define REPRAPWORLD_KEYPAD
#define REPRAPWORLD_KEYPAD_MOVE_STEP 10.0
#define ADC_KEYPAD
#define ADC_KEY_NUM 8
#define ULTIPANEL
// this helps to implement ADC_KEYPAD menus
#define ENCODER_PULSES_PER_STEP 1
#define ENCODER_STEPS_PER_MENU_ITEM 1
#define ENCODER_FEEDRATE_DEADZONE 2

```

Gambar 14. Pemrograman LCD

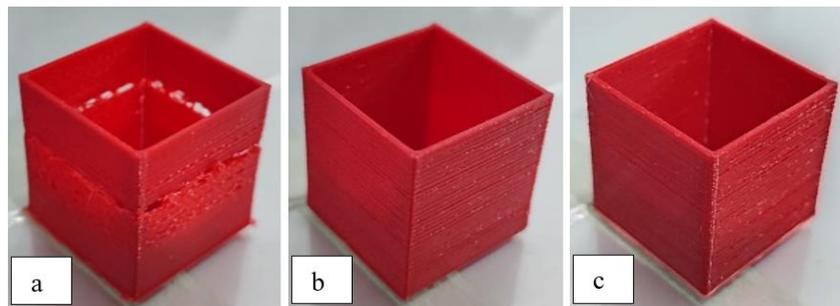
3.5 Testing dan Kalibrasi

Kalibrasi dilaksanakan dengan tujuan untuk menghasilkan mesin 3D printer yang memiliki akurasi yang baik, sehingga tingkat ketelitian ukurannya lebih presisi. Hasil nilai dari kalibrasi selanjutnya diujicobakan, sehingga didapatkan hasil yang akurat seperti ditunjukkan pada tabel 2.

Tabel 2. Hasil Kalibrasi 3D Printer

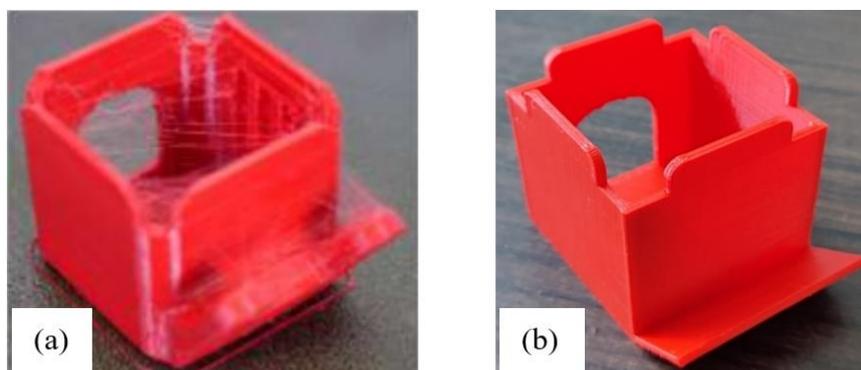
Type kalibrasi	Input program	Dimensi program	Dimensi real	Ket
X	80,5	10 mm	10 mm	Akurat
X	80,5	1 mm	1 mm	Akurat
Y	80,5	10 mm	10 mm	Akurat
Y	80,5	1 mm	1 mm	Akurat
Z	402	10 mm	10 mm	Akurat
Z	402	1 mm	1 mm	Akurat
Hotend	190°C	200°C	210°C	Akurat
Hot bed	60°C	60°C	60°C	Akurat

Testing 3D printer dengan variasi temperatur 190^o C, 200^o C, dan 210^o C pada *print speed* 150 mm/s menghasilkan kualitas produk yang berbeda. Pada gambar 15 terlihat kualitas produk terbaik yaitu pada temperature 200^o C di mana permasalahan *stringing* dapat teratasi dan permukaan produk lebih halus sehingga settingan temperatur 200^o C ini dipilih untuk dilakukan pengujian *stringing* produk dan pengujian ketelitian ukuran produk.

Gambar 15. Perbandingan Hasil Produk dengan variasi temperatur 190^o C (a); 200^o C (b); 210^o C (c)

3.6 Analisis Stringing Produk

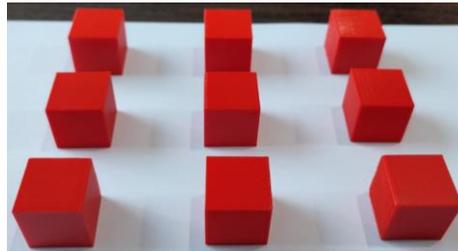
Pengujian *stringing* produk dilaksanakan dengan cara membandingkan hasil produk 3D printer penelitian ini dengan hasil produk 3D printer pada penelitian sebelumnya, dimana pada hasil produk 3D printer sebelumnya terdapat kekurangan yaitu masih banyak *stringing* seperti terlihat pada gambar 16a [10]. Hasil analisis terhadap produk 3D printer terlihat hasil produk yang baik dan tidak terdapat *stringing* seperti diperlihatkan pada gambar 16b.



Gambar 16. Perbandingan Hasil Produk (a) penelitian Nugraha dan Kosasih [10]; dengan (b) Perancangan 3D printer

3.6 Analisis Ketelitian Ukuran

Spesimen uji berbentuk kubus didesain dengan ukuran 25 x 25 x 25 mm, pengujian ketelitian ukuran dilakukan terhadap spesimen uji sebanyak sembilan buah seperti yang terlihat pada gambar 17.



Gambar 17. Spesimen uji

Hasil pengukuran spesimen uji secara lengkap dapat dilihat pada tabel 3, dimana nilai rata-rata axis X 25,13 mm, nilai rata-rata axis Y 25,19 mm, dan nilai rata-rata axis Z 25,39 mm.

Tabel 3. Hasil Pengujian Spesimen Uji

Spesimen uji	Hasil Pengujian (mm)		
	Axis X	Axis Y	Axis Z
1	25,10	25,02	25,22
2	25,14	25,14	25,32
3	25,02	25,12	25,38
4	25,14	25,30	25,44
5	25,16	25,28	25,44
6	25,20	25,24	25,42
7	25,14	25,14	25,42
8	25,12	25,24	25,42
9	25,18	25,26	25,48

Selanjutnya akan dicari nilai terkecil pada simpangannya menggunakan algoritma standar deviasi. Standar deviasi bertujuan untuk mencari sebaran atau simpangan rata-rata pada sebuah data, yang didefinisikan dengan persamaan 1 [18].

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (1)$$

Tabel 4. Descriptive Statistics

	N	Mean	Std. Deviation	Variance
Axis_X	9	25,1333	0,05196	0,003
Axis_Y	9	25,1933	0,09274	0,009
Axis_Z	9	25,3933	0,07874	0,006
Valid N (listwise)	9			

Hasil akurasi produk 3D printer dilihat dengan cara membandingkan desain spesimen uji dengan hasil rata-rata nilai spesimen uji pada sumbu X, Y, dan Z. Berdasarkan data pada tabel 4 yaitu pada sumbu X sebesar 99,48%, sumbu Y sebesar 99,24%, dan sumbu Z sebesar 98,46%. hasil standar deviasi dari ketiga sumbu menunjukkan nilai sebesar 0.052, 0.092, dan 0.078 artinya ukuran produk 3D printer menyebar diantara nilai rata-rata sehingga dapat disimpulkan tingkat akurasi mesin dalam menghasilkan produk tinggi.

4. KESIMPULAN

- 1) Desain 3d printer yang dirancang berdimensi 470 x 434 x 610 mm dengan area kerja 220 x220 x 233 mm.
- 2) Desain rangka yang dibuat disimulasikan dengan FEA dengan hasil safety factor 15 ul.
- 3) Pemrograman yang penting untuk disetting adalah ketelitian langkah dan kecepatan motor stepper, area kerja 3D printer, nozzle dan bed temperature, autohome 3d printer, dan tampilan lcd.
- 4) Setting 3D printer dengan filamen PLA pada temperatur 200^o C, *print speed* 150 mm/s, dan temperatur bed 60^o C telah berhasil menghilangkan stringing pada hasil produk.
- 5) Tingkat ketelitian ukuran axis x sebesar 99,48%, axis y sebesar 99,24%, dan axis z sebesar 98,46%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih kepada Kemdikbudristek yang sudah mendanai penelitian ini melalui skema PDP.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pahlevi, R., Kusnadi, M. B., & Setiawan, M. A. (2021). Kontrol 3d Printer Berbasis Arduino. Seminar Nasional Inovasi Teknologi Terapan.
- [2] Dahlan M, Gunawan B, Hilyana FS. Rancang Bangun 3D Printer Menggunakan Kontroller Arduino MEGA 2560. 2017;105-10.
- [3] J. Skowrya, K. Pietrzak, and M. A. Alhnan, Fabrication of extended-release patient-tailored prednisolone tablets via fused deposition modelling (FDM) 3D printing, *Eur. J. Pharm. Sci.*, vol. 68, no. November, 2015, pp. 11-17, doi: 10.1016/j.ejps.2014.11.009.
- [4] Suhayri FR, Candra O. Rancang Bangun 3 Dimension Printer Menggunakan Smart Lcd Dengan Arduino Mega 2560. *J Inf Technol Comput Sci.* 2021;4(2):224-31.
- [5] H.I. Medellin-Castillo, J. Zaragoza-Siqueiros, "Design and Manufacturing Strategies for Fused Deposition Modelling in Additive Manufacturing: A Review," *Chin J. Mech. Eng.*, vol. 32, December 2019.
- [6] Faludi J, Bayley C, Bhogal S, Iribarne M. Comparing environmental impacts of additive manufacturing vs traditional machining via life-cycle assessment. *Rapid Prototyp J.* 2015;21(1):14-33.
- [7] Satyanarayana B, Prakash KJ. Component Replication Using 3D Printing Technology. *Procedia Mater Sci.* 2015;10(Cnt 2014):263-9.
- [8] B. J. Brooks, K. M. Arif, S. Dirven, and J. Potgieter, Robot-assisted 3D printing of biopolymer thin shells, *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 89, no. 1-4, 2017, pp. 957-968, doi: 10.1007/s00170-016-9134-y.
- [9] M. Kaszyńska et al., Evaluation of suitability for 3D printing of high performance concretes, *MATEC Web Conf.*, vol. 163, 2018, pp. 1-8, doi: 10.1051/mateconf/201816301002
- [10] Nugraha HD, Kosasih DP. Perancangan Mesin 3D Printing Model Cartesian. *J Tek Mesin ITI.* 2021;5(1):29.
- [11] A. Elkaseer, S. Schneider, and G. Scholz. Experiment-Based Process Modeling and Optimization for High-Quality and Resource-Efficient FFF 3D Printing. *Applied Sciences.* 2020:1-18.
- [12] Rahman Z, Barakh Ali SF, Ozkan T, Charoo NA, Reddy IK, Khan MA. Additive Manufacturing with 3D Printing: Progress from Bench to Bedside. *AAPS J.* 2018 Sep;20(6):101.
- [13] Wibawa, L. A. N. (2019). Desain dan Analisis Tegangan Alat Pengangkat Roket Kapasitas 10 Ton Menggunakan Metode Elemen Hingga. *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur (JETM)*, 2(01), 23-26.
- [14] Rahmi, M., Canra, D., & Suliono, S. (2018). Analisis Kekuatan Ball Valve Akibat Tekanan Fluida Menggunakan Finite Element Analysis. *JTT (Jurnal Teknologi Terapan)*, 4(2), 79-84.
- [15] L. A. Islami and D. Mardiyana, "Analisis Struktur Aluminium Profile V-Slot Sebagai Desain Rangka Mesin 3d Printer," vol. 1, no. 2, pp. 30-44, 2022.
- [16] Muhammad, Syahwil. 2013. Panduan Mudah Simulasi Dan Praktek Mikrokontroler Arduino. Yogyakarta : Andi Offset.
- [17] Amani N dan Arief DS. (2015). Kalibrasi Jangka Sorong Nonius (Vernier Calliper) Berdasarkan Standar JIS B 7507 Di Laboratorium Pengukuran Teknik Mesin Universitas Riau. *Jom Fteknik.* 2(2): 1-7.
- [18] N. Nafi'iyah, "Perbandingan Modus , Median , K _ Standar Deviasi , Iterative , Mean Dan Otsu Dalam Thresholding," vol. 8, no. 2, pp. 31-36, 2016.