

Rancang Bangun Rangka dan Penggerak Mesin FDM Berbasis Arduino Tipe *XZ-Head*

Radhi Ariawan^{1*}, Nur Akhlis Sarihidaya Laksana², Unggul Satria Jati³, Roy Ariès Permana Tarigan⁴

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Mesin, Politeknik Negeri Cilacap

^{1,2,3,4}Jln. Dr. Soetomo No.1 Karangcengis Sidakaya, Kabupaten Cilacap, 53212, Indonesia

E-mail: radhi.ariawan@pnc.ac.id¹, akhlissl@pnc.ac.id², unggulsatria.jati@pnc.ac.id³, tarigan@pnc.ac.id⁴

Info Naskah:

Naskah masuk: 11 Januari 2023

Direvisi: 17 Januari 2023

Diterima: 18 Januari 2023

Abstrak

FDM merupakan metode AM yang berkembang saat ini karena fleksibilitas geometri obyek yang dapat dibentuk. Penelitian ini bertujuan merancang rangka dan penggerak mesin FDM tipe *XZ Head*. Simulasi tegangan dilakukan untuk mengetahui *safety factor* pada perancangan *frameXZ*. Parameter *lead screw* berupa torsi, tegangan geser, tegangan aksial, dan beban kritis dihitung untuk mengetahui kebutuhan torsi pada motor penggerak. Nilai aksis linear *motor stepper* dikalibrasi untuk mengetahui dimensi cetakan. Berdasarkan simulasi, didapatkan tegangan dinamis dan statis pada *frameXZ* sebesar 1,9 MPa dan 2 MPa. *Yield strength* sebesar 55 MPa dengan *safety factor* 28. Hasil perhitungan torsi *lead screw* (T_R) dan (T_L) sebesar 18,27 N.mm dan 6,60 N.mm. Tegangan geser nominal *screw* (τ) terhitung 0,43 N/mm², tegangan aksial pembebanan (σ) sebesar -0,62 N/mm², dan beban kritis (W_{cr}) sebesar 9986,41 N. Selisih dimensi hasil pengukuran pada bidang X dan Z yaitu 0,22 dan 0,17 mm lebih besar dari dimensi target 20 mm.

Keywords:

FDM;

XZ head;

motor stepper;

lead screw.

Abstract

FDM is an AM method that is currently being developed due to the flexibility of the object geometry that can be formed. This study aims to design the frame and drive of the XZ Head type FDM engine. Stress simulation was carried out to determine the safety factor in the frameXZ design. Lead screw parameters in the form of torque, shear stress, axial stress, and critical load were calculated to determine the torque requirement of the driving motor. The value of the linear axis of the stepper motor was calibrated to determine the dimensions of the printed output. Based on the simulation, the dynamic and static stresses on the XZ frame were 1.9 MPa and 2 MPa. The yield strength was 55 MPa with a safety factor of 28. The results of the calculation of the lead screw torque (T_R) and (T_L) were 18.27 N.mm and 6.60 N.mm. The calculated nominal shear stress of the screw (τ) was 0.43 N/mm², the axial loading stress (σ) was -0.62 N/mm², and the critical load (W_{cr}) was 9986.41 N. The difference in dimensions of the measurement results in the X and Z planes was 0.22 and 0.17 mm larger than the target dimensions of 20 mm.

*Penulis korespondensi:

Radhi Ariawan

E-mail: radhi.ariawan@pnc.ac.id

1. Pendahuluan

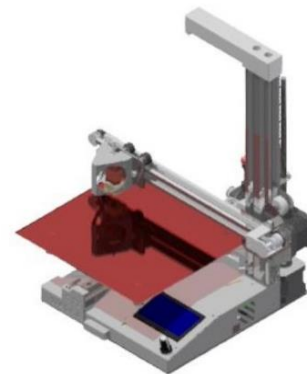
Additive Manufacturing atau yang sering disingkat dengan AM adalah proses pembentukan obyek fisik yang ditranslasikan dari informasi digital dengan cara menyusun potongan – potongan, lapisan, permukaan demi permukaan, atau garis demi garis. Karakteristik proses AM adalah dengan penambahan massa obyek [1]. Teknologi AM semakin berkembang dari 10 tahun terakhir. Pada saat ini AM umumnya, digunakan sebagai rapid prototyping yang sebagian besar memanfaatkan printer 3 dimensi bahkan untuk ukuran obyek yang kecil dan kompleks sekalipun [2]. *Fused Deposition Modeling* (FDM) adalah salah satu Metode AM, dapat membentuk obyek 3 dimensi dari model virtual CAD dengan bentuk yang kompleks. Proses penyusunan lapis demi lapis terjadi selama pembentukan obyek 3 dimensi. Keuntungan penggunaan metode FDM adalah biaya yang relatif murah, sederhana, dan efisiensi penggunaan material yang tinggi [3]. Material polimer termoplastik seperti Poliamida (PA) [4], polikarbonat [5], dan asam polilaktat [6] merupakan material yang umum digunakan sebagai bahan baku pencetakan printer 3 dimensi. Obyek benda terbentuk dari susunan lapisan material yang dikeluarkan oleh *nozzle* yang terhubung dengan *extruder*.

Saat ini sudah banyak beredar printer 3 dimensi yang komersial seperti Voron 2.4, Creality Ender 6, Vivedino Troodon yang mana merupakan printer cartesian dengan tipe XY. Tipe XY biasanya memiliki aksis X dan Y yang terhubung pada satu rangka, sedangkan aksis Z bergerak secara independen. Printer Delta merupakan tipe lain yang mana ketiga aksis dihubungkan menggunakan lengan penghubung dan bergerak secara simultan. Printer Delta biasanya memiliki bidang cetak berbentuk lingkaran [7]. Printer 3 dimensi tipe XY memiliki rangka menyerupai kubus, sedangkan tipe Delta menyerupai prisma segitiga. Akibatnya membutuhkan material rangka lebih banyak dibandingkan dengan tipe XZ untuk dimensi bidang cetak yang serupa. Gambar 1 menunjukkan visualisasi printer cartesian tipe XY, XZ dan printer tipe Delta.

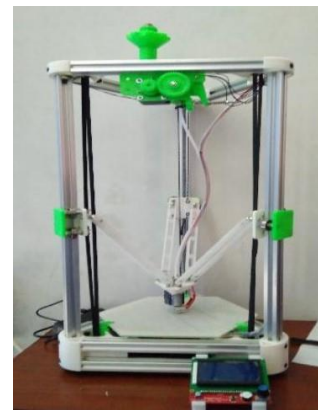
Mesin *Rapid Prototype* yang sudah dirancang pada penelitian sebelumnya memanfaatkan *linear guideway* sebagai jalur gerak *extruder* pada sumbu X. Gerakan horisontal arah X diatur menggunakan *motor stepper* yang terhubung dengan sabuk penggerak. Gerakan arah sumbu Z diatur *motor stepper* yang terhubung dengan *lead screw* sekaligus *bed platform*. Rangka yang digunakan adalah aluminium *double profile*. Pada penelitian tersebut didesain sabuk penggerak, *linear guideway*, simulasi kekuatan rangka [11]. Pada penelitian lain, mesin printer 3 dimensi menggunakan batang *cantilever* didesain dengan memperhitungkan gaya lekukan dan defleksi batang *cantilever*. Gerakan ke arah sumbu X, Y, dan Z diatur menggunakan *motor stepper* yang terhubung dengan *lead screw* [12]. Sebuah penelitian mengenai desain dan perakitan mesin printer 3 dimensi fff (*fused filament fabrication*) menyatakan bahwa material rangka dapat berupa batang baja silinder, profil aluminium, atau akrilik, sedangkan untuk pergerakan sumbu aksis menggunakan *linear rails*. Terdapat dua jenis *linear rails* yang dapat digunakan, yaitu *rectangular guide rails* atau *cylindrical guide rails* [13].



(a)



(b)



(c)

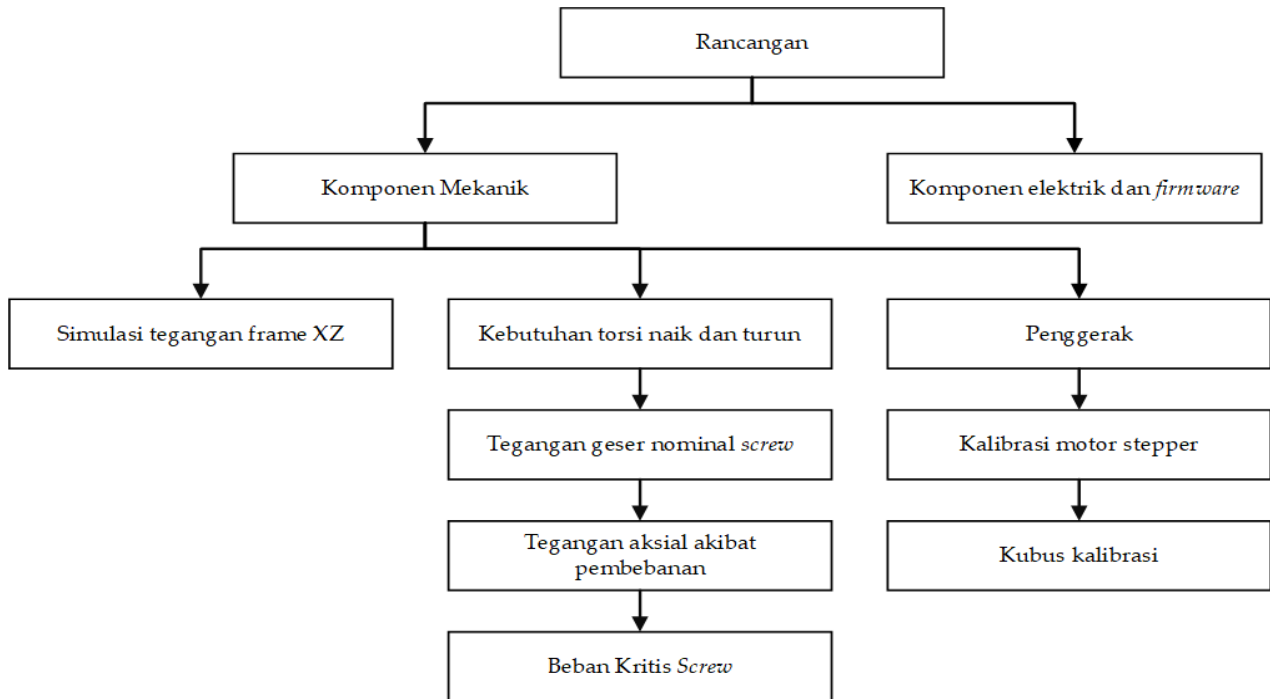
Gambar 1. Printer 3 dimensi: (a) tipe XY [8], (b) tipe XZ [9], (c) tipe Delta [10].

Printer 3 dimensi FDM tipe XZ yang akan dirancang memiliki prinsip gerak menyerupai mesin CNC *Milling* 3 sumbu aksis yang mana gerakan naik – turun sumbu aksis Z terjadi pada *spindle*. Printer 3 dimensi ini mengandalkan gerakan naik – turun *extruder* untuk mencetak obyek. Gerakan naik – turun tersebut dikendalikan oleh *motor stepper* yang terhubung dengan poros berulir *lead screw* dan puli-sabuk. *Lead screw* tersebut menggerakkan rangka penopang *extruder*, sehingga *extruder* dapat bergerak naik – turun pada sumbu Z. Gerakan horisontal *extruder* sumbu X memanfaatkan puli dan sabuk, sedangkan gerakan horisontal *bed platform* sumbu Y memanfaatkan puli-sabuk serta *cylindrical guide rails*. Penelitian ini bertujuan untuk merancang rangka dan penggerak mesin FDM tipe XZ *Head*.

2. Metode

Terdapat dua (2) komponen yang menjadi konsep rancang bangun pada penelitian ini, yaitu komponen mekanik dan komponen elektrik. Komponen mekanik terdiri dari rangka penopang dan penggerak, sedangkan komponen elektrik terdiri dari *controller board* dan catu daya searah (*DC power supply*). Gambar 2 menunjukkan diagram alir rancangan rangka dan penggerak mesin FDM.

menjadi gerak linear sumbu X *extruder* dan sumbu Y *bed platform*. *Motor stepper* merupakan komponen penggerak yang bekerja berdasarkan jumlah langkah setiap putaran. Pada rancangan ini *motor stepper* akan dikalibrasi untuk menghasilkan gerakan translasi sesuai dengan perintah yang dimasukkan. Kalibrasi *motor stepper* pada sumbu X dan Y akan bergantung kepada jumlah gigi pada *pitch* pada *timing belt* dan jumlah gigi pada *timing pulley*. Kalibrasi *motor stepper* sumbu Y akan bergantung panjang *lead* di bagian



Gambar 2. Diagram Alir Rancangan Rangka dan Penggerak Mesin FDM

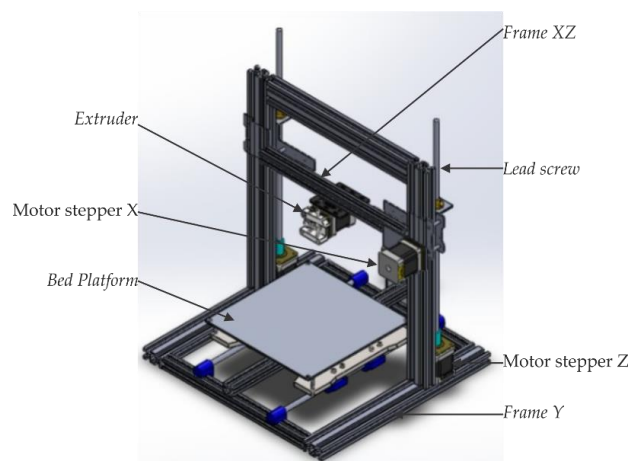
2.1 Komponen Mekanik

Rangka merupakan komponen struktur mekanik yang akan menopang beban dari komponen printer 3 dimensi. Rangka dibagi menjadi dua bagian yaitu *FrameXZ* dan *frame Y*. Aluminium ekstrusi profil V-Slot dipilih sebagai material penyusun rangka karena memiliki profil V yang cocok untuk mekanisme gerakan menggunakan *solid V-wheel*. *FrameXZ* menjadi tumpuan bagi *extruder* dan pelat pembawa untuk gerakan sumbu vertikal Z. pelat pembawa terhubung dengan *frame Y* dengan mekanisme *solid V-wheel* dan *lead screw*. *Frame Y* merupakan *base frame* yang menumpu *bed platform*. Fokus rancangan pada *FrameXZ* dengan simulasi tegangan yang bekerja akibat beban dari *extruder*. Selanjutnya adalah *lead screw* yang menumpu *FrameXZ*. Parameter yang diperhitungkan dalam rancangan *lead screw* ini antara lain:

- Torsi *lead screw* naik dan turun
- Tegangan geser nominal *screw*
- Tegangan aksial akibat pembebanan
- Beban kritis pada *screw*

Sabuk – puli berupa *timing belt* dan *timing pulley* digunakan untuk mentranslasikan putaran *motor stepper*

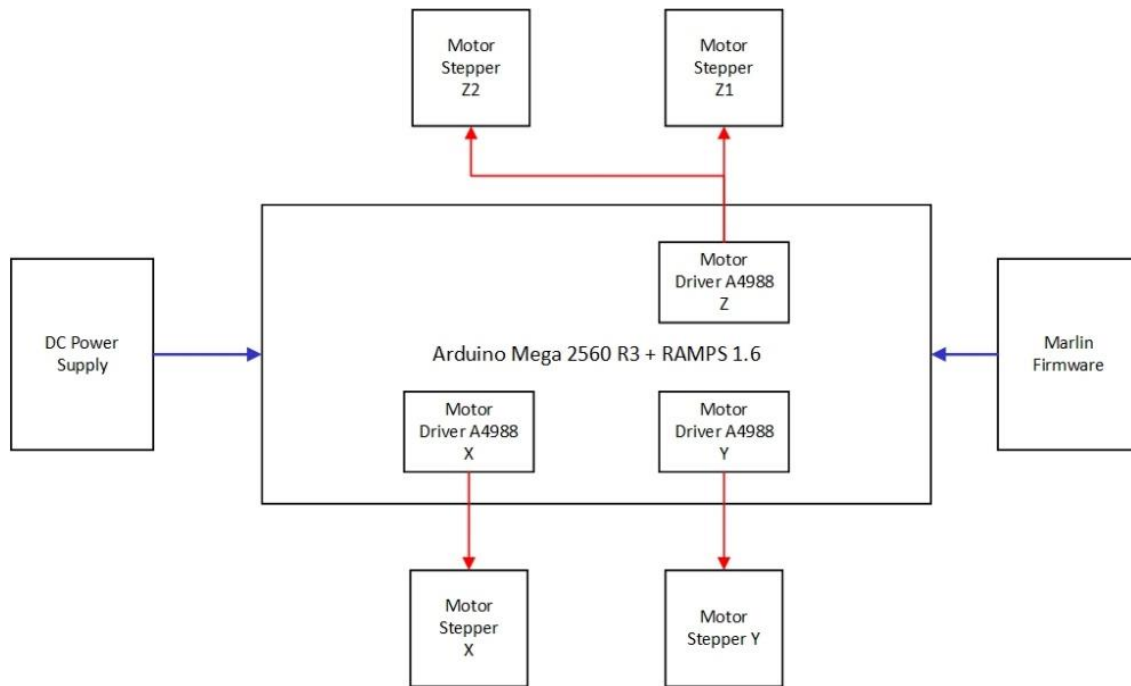
screw. Gambar 3 menunjukkan komponen mekanik rangka mesin FDM.



Gambar 3. Rangka Mesin FDM

2.2 Komponen Elektrik

Komponen elektrik terdiri dari unit dan *board* pengontrol. Unit pengontrol yang digunakan adalah arduino



Gambar 4. Diagram Blok Komponen Elektrik

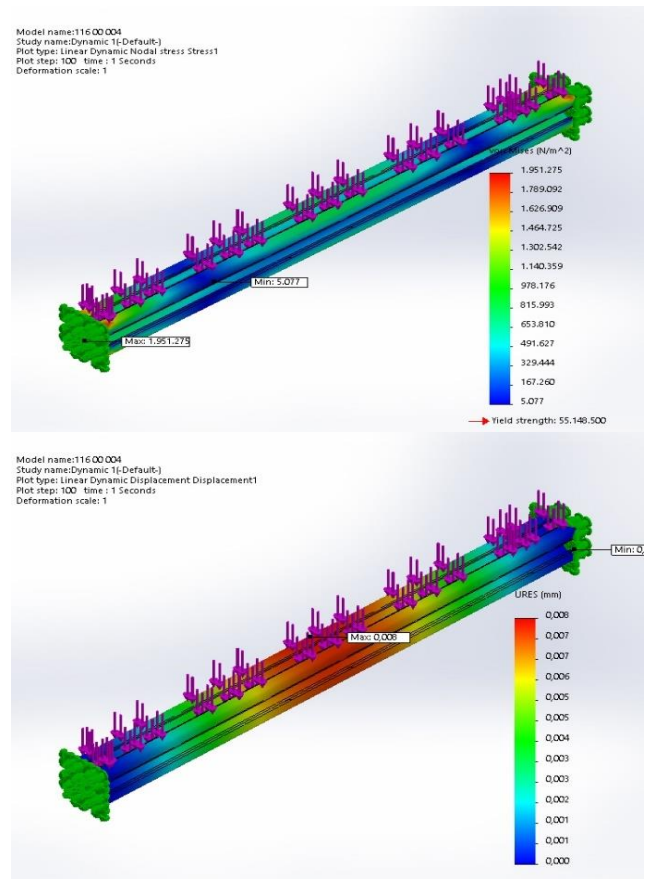
Mega 2560 R3 dengan *board* RAMPS 1.6 (Reprap Arduino Mega Pololu Shield 1.6) yang merupakan peningkatan dari RAMPS 1.4. *Motor driver* yang dikoneksikan ke RAMPS 1.6 akan menggerakkan *motor stepper* [14]. Jumlah step pada *motor driver* menentukan akurasi gerakan *motor stepper*, sehingga dipilih step terkecil untuk mendapatkan gerakan linear yang akurat. Diagram blok komponen elektrik dapat diamati pada gambar 4.

Catu daya searah (DC) 12V dihubungkan ke RAMPS 1.6 untuk menyuplai daya ke komponen penggerak yaitu *motor stepper*. *Firmware* Marlin digunakan untuk memprogram seluruh aktivitas mesin FDM. Salah satu parameter yang dapat diatur adalah jenis *motor driver* dan langkah *motor stepper*. *Motor driver* yang digunakan bertipe A4988 dengan step terkecil 1/16, sedangkan *motor stepper* bertipe NEMA17 dengan *rotational step* 1,8°.

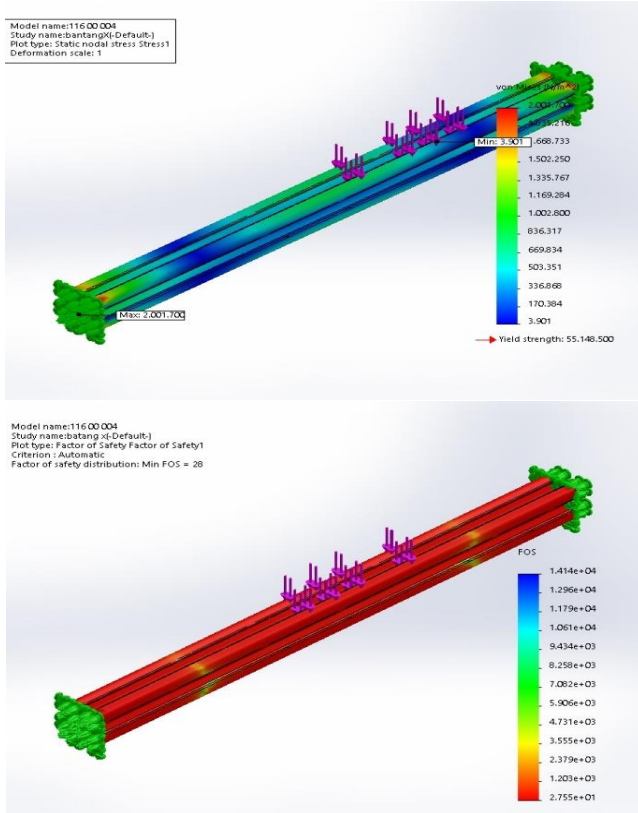
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Simulasi Tegangan *FrameXZ*

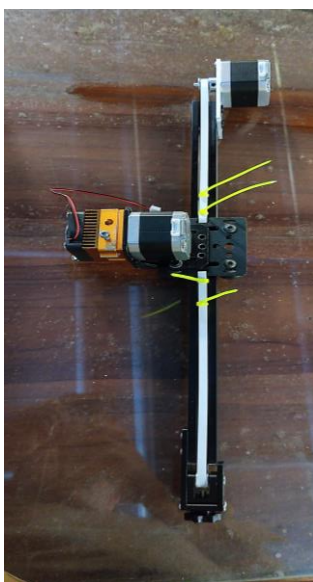
Simulasi tegangan menggunakan *software* SolidWork 2018. Material yang dipilih adalah Aluminium paduan 6061. Kondisi awal *FrameXZ* sepanjang 300 mm tanpa beban dan kedua ujungnya diasumsikan memiliki tumpuan jepit. *FrameXZ* menerima beban merata yang diasumsikan berasal dari *extruder kit* sebesar 14,7 N. *Extruder kit* bergerak pada sumbu X sepanjang *FrameXZ*. Hasil simulasi tegangan pada *FrameXZ* dapat diamati pada gambar 5.

Gambar 5. Tegangan Dinamis dan Pergeseran *FrameXZ*

Pada gambar 5 teramati tegangan dinamis maksimal yang dialami sebesar 1.951.275 N/m² atau 1,9 MPa berada pada ujung *frame* yang merupakan tumpuan jepit. Pergeseran maksimal terjadi pada bagian tengah *frame* sebesar 0,008 mm karena berada pada posisi paling jauh dari kedua tumpuan. *Safety factor* didapatkan dari hasil simulasi dengan beban statis yang diterima *frame*. Beban statis dan *safety factor* dapat diamati pada gambar 6.



Gambar 6. Tegangan Statis dan *Safety Factor* *FrameXZ*



Gambar 7. *FrameXZ*

Pada simulasi tegangan statis, didapatkan tegangan maksimal 2001700 N/m² atau 2 Mpa pada bagian tumpuannya. Tegangan yang diterima relatif kecil dibandingkan dengan *yield strength* yang dihasilkan yaitu 55 Mpa. *Safety factor* terbaca 28, yang mana pada kasus ini termasuk aman, dengan asumsi *safety factor* yang direkomendasikan adalah 20 sampai 30 [15]. *FrameXZ* dibuat menggunakan material aluminium ekstrusi profil V-Slot dengan Panjang 300 mm. *Extruder kit* terdiri dari *hot end*, *motor stepper*, *motor mount*, dan kipas pendingin. hasil pembuatan *FrameXZ* dapat dilihat pada gambar 7.

3.2 Lead Screw

Parameter pada *screw* dihitung menggunakan beberapa persamaan terkait torsi, tegangan geser, tegangan aksial dan beban kritis. Untuk dapat menggunakan persamaan tersebut, beberapa parameter inisial diketahui berdasarkan spesifikasi *lead screw* pada tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi *Lead screw*

Komponen	Parameter	Spesifikasi
	Tipe <i>Screw</i>	Single thread, ACME
	<i>Pitch Screw</i> (mm)	2
	Diameter luar <i>Screw</i> [d] (mm)	8
<i>Lead Screw</i>	Diameter dalam <i>Screw</i> [dr] (mm)	6
	Diameter kontak <i>Screw</i> [dm] (mm)	7
	<i>Lead</i> [l] (mm)	2
	Panjang <i>screw</i> [L] (mm)	300
	Sudut <i>lead</i> [α] (°)	14,5

Torsi yang dibutuhkan untuk menggerakkan *lead screw* naik dan turun dihitung menggunakan persamaan (1), (2), (3), (4), dan (5) dan tegangan geser nominal [15]. Persamaan (6) dan (7) digunakan untuk menentukan tegangan aksial dan beban kritis *lead screw* [16].

$$T_R = \frac{Fd_m}{2} \left(\frac{f\pi d_m + l \cos(\alpha)}{\pi d_m \cos(\alpha) - fl} \right) \quad (1)$$

$$T_L = \frac{Fd_m}{2} \left(\frac{f\pi d_m - l \cos(\alpha)}{\pi d_m \cos(\alpha) + fl} \right) \quad (2)$$

Dimana:

T_R = Torsi naik (N.m)

T_L = Torsi turun (N.m)

F = Beban yang diterima *lead screw* (N) = 17,61 N (gaya berat yang timbul dari *FrameXZ*, *extruder*, pelat pembawa)

f = Koefisien friksi *screw steel* dengan mur kuningan ketika bekerja = 0,15 [16]

Asumsi – asumsi:

- Ketika mulai, koefisien friksi diasumsikan memiliki nilai 1/3 lebih besar dari ketika bekerja sehingga nilainya = 0,20 [15]
- Untuk kasus ulir ACME, nilai $\text{Cos}(\alpha)$ mendekati 1, sehingga dapat dapat diabaikan [15]

Berdasarkan asumsi – asumsi tersebut maka persamaan (1) dan (2) dapat disederhanakan menjadi seperti ada persamaan (3) dan persamaan (4).

$$T_R = \frac{Fd_m}{2} \left(\frac{f\pi d_m + l}{\pi d_m - fl} \right) \quad (3)$$

$$T_R = \frac{(17,61)(7)}{2} \left(\frac{(0,20)(3,14)(7)+2}{(3,14)(7)-(0,20)(2)} \right)$$

$$T_R = 18,27 \text{ N.mm}$$

$$T_R = \frac{Fd_m}{2} \left(\frac{f\pi d_m - l}{\pi d_m + fl} \right) \quad (4)$$

$$T_R = \frac{(17,61)(7)}{2} \left(\frac{(0,20)(3,14)(7)-2}{(3,14)(7)+(0,20)(2)} \right)$$

$$T_R = 6,60 \text{ N.mm}$$

Motor stepper Z yang digunakan memiliki spesifikasi torsi sebesar 730 N.mm. Tegangan geser nominal screw (τ) didapatkan menggunakan persamaan (5).

$$\tau = \frac{16T_R}{\pi d_r^3} \quad (5)$$

$$\tau = \frac{(16)(18,27)}{(3,14)(6^3)}$$

$$\tau = 0,43 \text{ N/mm}^2$$

Tegangan aksial akibat pembebanan (σ) dapat dihitung dengan persamaan (6).

$$\sigma = -\frac{4\pi F}{\pi d_r^2} \quad (6)$$

$$\sigma = -\frac{(4)(17,6)}{(3,14)6^2}$$

$$\sigma = -0,62 \text{ N/mm}^2$$

Beban kritis lead screw didapatkan menggunakan J.B. Johnson buckling Formula, persamaan (7).

$$\frac{W_{cr}}{A} = S_y - \left(\frac{S_y L}{2\pi k} \right)^2 \frac{1}{CE} \quad (7)$$

Dimana:

W_{cr} = Beban kritis (N)

A = Luas penampang (mm^2) = 50,24 mm^2

S_y = Yield Strength (N/ mm^2) = 206,8 MPa

L = Panjang screw (mm); panjang ekuivalen pada kondisi kedua ujungnya fixed – fixed = 0,5L

k = Radius girasi = $(d/4) = 8 \text{ mm}/4 = 2 \text{ mm}$

C = End-condition constant = 4 ; diasumsikan ujung – ujungnya adalah fixed-fixed [16]

E = Modulus Elastisitas = 190000 MPa (material stainless steel 304)

$$\frac{W_{cr}}{A} = (206,8) - \left(\frac{(206,8)(150)}{2(3,14)(2)} \right)^2 \frac{1}{4(190000)}$$

$$\frac{W_{cr}}{A} = 198,77 \text{ N/mm}^2$$

$$W_{cr} = 198,77 \frac{N}{\text{mm}^2(50,24 \text{ mm}^2)} = 9986,41 \text{ N}$$

3.3 Penggerak

Penggerak untuk sumbu X dan Y adalah kombinasi motor stepper dengan timing pulley dan timing belt. Sumbu Z digerakkan motor stepper yang terhubung dengan lead screw. Motor stepper dikontrol motor driver dengan pengaturan langkah terkecil yaitu 1/16 step. Tabel 2 menunjukkan spesifikasi motor stepper dan sabuk – puli yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 2. Spesifikasi Motor stepper dan Sabuk – Puli

No	Komponen	Parameter	Spesifikasi
1	Motor stepper	Tipe	NEMA17
		Torsi (N.mm)	420 (sumbu X dan Y) 730 (sumbu Z)
		Step angle (°)	1,8
2	Sabuk	Tipe	GT2 Timing Belt
		Pitch (mm)	2
		Lebar (mm)	6
3	Puli	Tipe	GT2 Timing Pulley
		Jumlah gigi	20
		Diameter luar (mm)	18
		Diameter lubang (mm)	5

Motor stepper dikalibrasi dengan persamaan (8).

$$\frac{\text{Step}}{\text{Rotation}} = \frac{360^\circ}{1,8^\circ} \times \frac{1}{1/16} = 3200 \frac{\text{step}}{\text{rotation}} \quad (8)$$

Pada pengaturan motor stepper ini dibutuhkan 3200 step untuk berotasi sebesar 360°. Untuk mendapatkan jumlah step pada jarak linear untuk sumbu Z, dilakukan perhitungan pada persamaan (9).

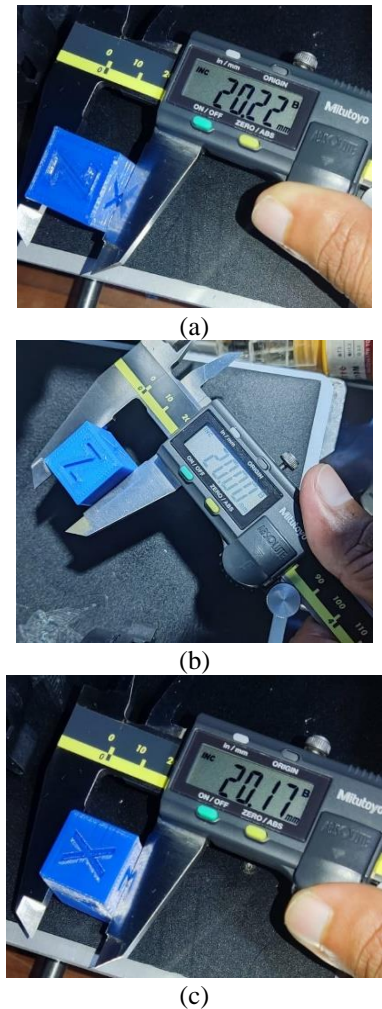
$$\frac{3200 \text{ Step/rotation}}{2 \text{ mm/rotation}} = 1600 \frac{\text{step}}{\text{mm}} \quad (9)$$

Nilai 2 mm/rotation merupakan spesifikasi lead screw. Untuk sumbu X dan Y menggunakan sabuk – puli, sehingga jarak linear dapat dihitung dengan cara menggunakan persamaan (10)

$$\frac{\text{jumlah step per rotasi motor driver}}{\text{jumlah gigi pada puli} \times \text{pitch pada sabuk}} = \frac{3200}{20 \times 2} = 80 \frac{\text{step}}{\text{mm}} \quad (10)$$

Nilai linear aksis tersebut digunakan untuk menggerakkan motor stepper. Untuk memastikan bahwa motor stepper sudah bergerak sesuai dengan perintah jarak yang diinginkan, maka dilakukan pencetakan kubus

kalibrasi. Gambar 8 menunjukkan hasil pengukuran kubus kalibrasi berukuran 20 × 20 × 20 mm yang sudah berhasil dicetak.



Gambar 8. Pengukuran Bidang Kubus Kalibrasi: (a) Bidang X; (b) Bidang Y; (c) Bidang Z

Pada kubus kalibrasi teramati dimensi masing – masing bidang X, Y, dan Z secara berurutan: 20,22 mm; 20,00 mm; dan 20,17 mm. Terdapat selisih 0,22 mm pada bidang X dan 0,17 mm pada bidang Z. Error hasil cetakan dengan target dimensi yang diinginkan pada masing – masing bidang X, Y, Z sebesar 1,01%; 0,00%; dan 1,01%. Berdasarkan hasil tersebut, maka perlu dilakukan kalibrasi ulang terhadap motor stepper X dan Z untuk mendapatkan hasil yang lebih baik.

3.4 Pengontrol Arduino dan Firmware Marlin

Arduino Mega 2560 R3 digunakan sebagai komponen elektrik pengontrol mesin FDM. Arduino Mega dipilih karena memiliki EEPROM yang dapat menyimpan hasil pengaturan mesin FDM [8]. Pemrograman mesin dilakukan menggunakan firmware Marlin. Marlin adalah open-source firmware yang dapat secara bebas diunduh dan digunakan. Hasil pemrograman firmware Marlin untuk mendefinisikan motor driver dan kalibrasi motor stepper dapat dilihat pada gambar 9.

```

155 * TMC26X, TMC26X_STANDALONE, TMC2660, TMC
156 * TMC5130, TMC5130_STANDALONE, TMC5160, TMC
157 * :['A4988', 'A5984', 'DRV8825', 'LV8729', 'TB6560',
158 */
159 #define X_DRIVER_TYPE A4988
160 #define Y_DRIVER_TYPE A4988
161 #define Z_DRIVER_TYPE A4988
162 //#define X2_DRIVER_TYPE A4988
163 //#define Y2_DRIVER_TYPE A4988
164 #define Z2_DRIVER_TYPE A4988
165 //#define Z3_DRIVER_TYPE A4988

1156 //#define DISTINCT_E_FACTORS
1157
1158 /**
1159 * Default Axis Steps Per Unit (linear-steps/mm, rotational-steps/°)
1160 * Override with M92
1161 * X, Y, Z [, I [, J [, K...]], E0 [, E1[, E2...]]
1162 */
1163 #define DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT { 80, 80, 1600, 95.78 }
1164
1165 /**
1166 * Default Max Feed Rate (linear-mm/s, rotational-°/s)
1167 * Override with M203
1168 * X, Y, Z [, I [, J [, K...]], E0 [, E1[, E2...]]
1169 */
1170 #define DEFAULT_MAX_FEEDRATE { 300, 300, 5, 25 }
1171

```

Gambar 9. Program Marlin untuk mendefinisikan motor driver dan nilai linear aksis

Baris 1163 “DEFAULT_AXIS_STEPS_PER_UNIT” dimasukkan nilai linear aksis motor stepper yang sudah dihitung. Nilai ini dibaca motor driver dan menggerakkan motor stepper sesuai jumlah stepnya. Berdasarkan perhitungan menggunakan persamaan (11), mengubah nilai aksis linear akan mengubah jarak tempuh gerakan motor stepper senilai dengan jumlah langkahnya seperti yang terlihat pada tabel 3.

$$\frac{L_o}{L_t} \times L_{pm} \tag{11}$$

Dimana L_o dan L_t masing – masing adalah jarak tempuh linear target dan jarak tempuh linear yang terjadi, sedangkan L_{pm} adalah nilai aksis linear. Pada kondisi awal, L_t didapatkan dari eksperimen dengan nilai L_{pm} yang didapatkan dari persamaan (9) dan (10).

Tabel 3. Hasil Kalibrasi Nilai aksis linear

No	Aksis	Lo	Lpm	Lt
1	X	20	80,00	19,82
		20	80,71	19,68
		20	82,04	20,51
		20	80,01	19,97
		20	80,00	20,18
2	Y	20	79,27	20,35
		20	77,92	19,73
		20	79,00	19,91
3	Z	20	1632,29	20,19
		20	1632,29	20,06
		20	1647,67	19,81

Nilai aksis linear dihitung dengan cara iterasi sederhana sampai mendapatkan L_t yang paling mendekati jarak tempuh target L_o dengan toleransi kurang dari 0,2.

4. Kesimpulan

Perancangan rangka *frameXZ* dan penggerak mesin FDM tipe *XZ Head* berhasil dilakukan. Hasil simulasi tegangan pada *FrameXZ* menunjukkan tegangan dinamis dan statis maksimal masing – masing sebesar 1,9 MPa dan 2 MPa. Tegangan maksimal diterima oleh tumpuan *FrameXZ*. Nilai *safety factor* berdasarkan simulasi tegangan statis sebesar 28, dengan *yield strength* 55 MPa sehingga *FrameXZ* dinyatakan aman. Berdasarkan hasil perhitungan parameter *lead screw*, torsi yang dibutuhkan untuk menggerakkan beban naik (T_R) dan turun (T_L) pada *lead screw* sebesar 18, 27 N.mm dan 6,60 N.mm. Spesifikasi torsi *motor stepper* yang terhubung ke *lead screw* adalah 730 N.mm, sehingga memenuhi kebutuhan nilai T_R dan T_L . Tegangan geser nominal *screw* (τ) = 0,43 N/mm², tegangan aksial pembebanan (σ) = -0,62 N/mm², dan beban kritis (W_{cr}) = 9986,41 N. berdasarkan hasil pengukuran dimensi kubus kalibrasi, pada bidang X dan Z terdapat selisih 0,22 mm dan 0,17 mm dari target dimensi 20 mm, sedangkan bidang Y terukur 20,00 mm. Dimensi hasil cetakan dapat diopimalkan dengan kalibrasi ulang nilai aksis linear *motor stepper* X dan Z.

Ucapan Terimakasih

Terimakasih kepada Jurusan Teknik Mesin atas kesediaannya sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan di laboratorium pemesinan Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Cilacap dan didanai oleh DIPA internal Politeknik Negeri Cilacap Tahun Anggaran 2022.

Daftar Pustaka

- [1] M. K. Thompson *et al.*, “Design for Additive Manufacturing: Trends, opportunities, considerations, and constraints,” *CIRP Ann. - Manuf. Technol.*, vol. 65, no. 2, pp. 737–760, 2016, doi: 10.1016/j.cirp.2016.05.004.
- [2] I. J. Solomon, P. Sevel, and J. Gunasekaran, “A review on the various processing parameters in FDM,” *Mater. Today Proc.*, vol. 37, no. Part 2, pp. 509–514, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.05.484.
- [3] Y. A. Jin, H. Li, Y. He, and J. Z. Fu, “Quantitative analysis of surface profile in fused deposition modelling,” *Addit. Manuf.*, vol. 8, pp. 142–148, 2015, doi: 10.1016/j.addma.2015.10.001.
- [4] P. Tran, T. D. Ngo, A. Ghazlan, and D. Hui, “Bimaterial 3D printing and numerical analysis of bio-inspired composite structures under in-plane and transverse loadings,” *Compos. Part B Eng.*, vol. 108, pp. 210–223, 2017, doi: 10.1016/j.compositesb.2016.09.083.
- [5] R. Melnikova, A. Ehrmann, and K. Finsterbusch, “3D printing of textile-based structures by Fused Deposition Modelling (FDM) with different polymer materials,” *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 62, no. 1, 2014, doi: 10.1088/1757-899X/62/1/012018.
- [6] F. M. de Oliveira, E. I. de Melo, and R. A. B. da Silva, “3D Pen: A low-cost and portable tool for manufacture of 3D-printed sensors,” *Sensors Actuators, B Chem.*, vol. 321, no. June, p. 128528, 2020, doi: 10.1016/j.snb.2020.128528.
- [7] L. Carolo, “3D Printer Axis: THE Basics Simply Explained,” *All3DP.com*, 2022. <https://all3dp.com/2/3d-printer-axis-the-basics-simply-explained/> (accessed Oct. 02, 2022).
- [8] F. Setyoadi, Yuris; Hermana, Rifki; Mulyanto Dwi, “Performance Analysis of The 3D Printer Corexy FDM Type With Area X=200 Y=200 Z=200 mm,” *J. Tek. Mesin Mech. Xplore*, vol. 3, no. 1, pp. 26–33, 2022, [Online]. Available: <https://journal.ubpkarawang.ac.id/index.php/JTMMX>.
- [9] D. Andriyansyah, “Perancangan Dan Pembuatan Mesin DESIGN AND ASSEMBLY CANTILEVER 3D PRINTER MACHINE,” *J. ABDI MASYA*, vol. 1, no. 2, pp. 108–114, 2021.
- [10] M. Dahlan, B. Gunawan, and F. S. Hilyana, “Rancang Bangun Printer 3D Menggunakan Kontroller Arduino Mega 2560,” *Pros. SNATIF Ke-4*, pp. 105–110, 2017, [Online]. Available: <http://jurnal.umk.ac.id/index.php/SNA/article/view/1250>.
- [11] J. Jeffrey, D. W. Utama, and G. Soeharsono, “Rancang Bangun Kontruksi Dan Sistem Gerak Sumbu Pada Mesin Fused Deposition Modelling,” *Poros*, vol. 14, no. 2, pp. 99–106, 2016.
- [12] M. D. Mulyawan, “Rancang Bangun Konstruksi Rangka Mesin 3D Printer Tipe Cartesian Berbasis Fused Deposition Modeling (Fdm),” *J. Tek. Mesin*, vol. 6, no. 4, p. 252, 2017, doi: 10.22441/jtm.v6i4.2075.
- [13] Krishnanand, S. Soni, and M. Taufik, “Design and assembly of fused filament fabrication (FFF) 3D printers,” *Mater. Today Proc.*, vol. 46, no. xxxx, pp. 5233–5241, 2020, doi: 10.1016/j.matpr.2020.08.627.
- [14] R. A. Wicaksono, E. Kurniawan, M. K. Syafrianto, R. F. Suratman, and M. R. Sofyandi, “Rancang Bangun dan Simulasi 3D Printer Model Cartesian Berbasis Fused Deposition Modelling,” *J. Engine Energi, Manufaktur, dan Mater.*, vol. 5, no. 2, p. 53, 2021, doi: 10.30588/jeemm.v5i2.895.
- [15] R. C. Juvinall and K. M. Marshek, *Fundamental Of Machine Component design*, 7th ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc., 2020.
- [16] J. E. Shigley, R. G. Budynas, and J. K. Nisbett, *Shigley 's Mechanical Engineering Design*, 11th ed. New York: Mc Graw-Hill, 2020.