

RANCANG BANGUN KONSTRUKSI RANGKA MESIN 3D PRINTER TIPE CARTESIAN BERBASIS FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)

Mochamad Diki Mulyawan, Gatot Eka Pramono, Sumadi

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor
E-mail : dikimulyawan@gmail.com

Abstrak--Dengan munculnya teknologi manufaktur aditif pada pertengahan 1980-an, teknologi pencetakan tiga dimensi (3D) yang mencetak benda dengan mengandalkan ekstrusi termoplastik untuk pembuatan prototipe/pemodelan. Bahan termoplastik yang digunakan adalah Asam Polylatic (PLA) dan Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) yang dicetak dengan cara dicairkan menggunakan nozzel yang dialirkan secara berlapis lapis sehingga membentuk sebuah benda. Rancang bangun konstruksi rangka mesin 3D printer tipe cartesian berbasis FDM dengan penggerak menggunakan 3 sumbu utama yaitu sumbu X dengan panjang area cetak 380 mm, sumbu Y dengan panjang area cetak 400 mm, dan sumbu Z dengan panjang area cetak 380 mm, dan material yang digunakan yaitu baja JIS G3103 1995 SS400, dan Aluminium Al1100. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh kekuatan rangka batang sumbu Z, dan sumbu X dengan, menganalisa kekuatan pada leadscrew sumbu Y dan sumbu Z, menganalisa kekuatan sabuk timing, memperoleh nilai kekuatan pada kampuh las pada rangka Y, Z. Hasil analisa pada rangka sumbu X nilai tegangan = $4,606 \times 10^{-4} < \text{tegangan ijin } 18 \text{ MPa}$ maka dianggap aman, analisa gaya buckling pada rangka sumbu Z adalah sebesar $229,9 \text{ kg} > \text{pembebanan } 15,147 \text{ Kg}$ maka dianggap aman, tegangan geser = $0,38 \text{ MPa} < \text{tegangan geser maksimum} = 0,42 \text{ MPa}$ maka dianggap aman untuk lead screw sumbu Y, tegangan geser $\sigma_g = 0,83 \text{ MPa} < \text{tegangan geser maksimum} = 0,94 \text{ MPa}$ dianggap aman untuk lead screw sumbu Z, Analisa pada perhitungan sabuk timing pada rangka X didapat $P = 0,03 \text{ kW}$, tegangan geser = $5,52 \times 10^{-3} \text{ MPa} < \text{tegangan ijin pada pengelasan sebesar } 256,49 \text{ MPa}$ maka untuk pengelasan dinyatakan aman.

Kata kunci: Printer 3 Dimensi, poros ulir, sabuk timing

Abstract--With the advent of additive manufacturing technology in the mid-1980s, three-dimensional (3D) printing technology that scored objects by relying on thermoplastic extrusions for prototype / modeling. The thermoplastic materials used are Polylatic Acid (PLA) and Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) which are molded by melt using a nozzle that is coated in layers to form an object. FDM cartesian 3D frame-based construction machine design with drive using 3 main axes X axis with 380 mm long print length, Y axis with 400 mm long printing area, and Z axis with 380 mm long print area, and material used namely JIS G3103 1995 SS400 steel, and Aluminium Al1100. The aim of this study was to obtain the axial skeletal strength of Z, and X axis by, analyzing the strength of Y axis leadscrew and Z axis, analyzing the strength of the timing belt, obtaining the strength value in the welding wing on the Y, Z frame. The result of analysis on the axis frame X value of stress = $4,606 \times 10^{-4} \text{ MPa} < 18 \text{ MPa}$ license stress is considered safe, buckling force analysis on Z axis is $229.9 \text{ kg} > \text{loading } 15,147 \text{ Kg}$ it is considered safe, the shear stress = $0.38 \text{ MPa} < \text{maximum shear stress } \sigma_g \text{ max} = 0.42 \text{ MPa}$ is considered safe for Y axis lead screw, shear stress = $0.83 \text{ MPa} < \text{maximum shear stress} = 0.94 \text{ MPa}$ is considered safe for lead screw axis Z, The analysis on the timing belt calculation on the frame X is obtained $P = 0.03 \text{ kW}$, shear stress = $5,52 \times 10^{-3} \text{ MPa} < \text{welding permit stress of } 256.49 \text{ MPa}$ for welding is declared safe.

Keywords: Printer 3 Dimension, lead screw, timing belt

I. PENDAHULUAN

Semakin berkembangnya ilmu pengetahuan dan teknologi di dunia ini terutama industri yang bergerak dibidang manufaktur. Dalam bidang manufaktur desain suatu produk menjadi bagian yang sangat penting, mengingat begitu ketatnya persaingan pasar dan cepatnya inovasi-inovasi yang dikeluarkan oleh produsen dan dapat merespon kondisi pasar lebih cepat, serta merealisasikan suatu konsep menjadi produk yang di inginkan oleh pasar. Banyak perusahaan yang harus menyesuaikan persaingan pasar tersebut dengan cara memangkas siklus produksi

mereka agar dapat bersaing terus- menerus di era globalisasi saat ini, salah satu cara yang bisa dilakukan untuk menghemat pengeluaran saat ini adalah memproduksi alat- alat cepat (*Rapid Prototyping*), akurat, dan dengan biaya yang lebih rendah [1].

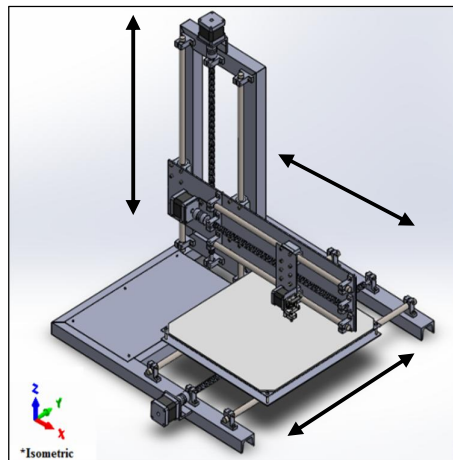
Dengan munculnya teknologi manufaktur aditif pada pertengahan 1980-an, teknologi pencetakan tiga dimensi (3D) yang mencetak benda dengan mengandalkan ekstrusi termoplastik untuk pembuatan *prototipe/pemodelan*. Bahan termoplastik yang di gunakan adalah *Asam Polylatic* (PLA) dan *Acrylonitrile Butadiene Styrene* (ABS) yang dicetak dengan

cara dicairkan menggunakan *nozzel* yang dialirkan secara berlapis lapis sehingga membentuk sebuah benda [2]. Perancangan dan pembuatan alat ini pun adalah sebagai sarana pendidikan di Laboratorium Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Ibn Khaldun Bogor, dan akan menguraikan tentang rancang bangun mesin *3D printer* tipe *cartesian* berbasis FDM dengan penggerak menggunakan 3 sumbu utama yaitu: sumbu X, sumbu Y, dan sumbu Z.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian 3D Printer

3D printer adalah mesin pembuat benda padat tiga dimensi dari sebuah desain secara digital menjadi bentuk 3D yang dapat dilihat tapi juga dipegang dan memiliki volume. 3D *printer* dicapai dengan menggunakan proses aditif, dimana sebuah obyek dibuat dengan meletakkan lapisan yang berurut dari bahan baku. *Printer* 3D juga sering disebut dengan *addictive manufacture* atau manufaktur tambahan. Pada tahun 1986, ada seseorang bernama *Charles W. Hull* memiliki hak paten dengan teknologi *stereolithography*. Teknologi ini merupakan teknologi untuk membuat objek 3D [2].



Gambar 1. 3D Printer

2.2 Momen Gaya

Kecenderungan sebuah gaya untuk memutar sebuah benda tegar disekitar sebuah sumbu diukur oleh momen gaya terhadap sumbu itu. Momen (M) dari suatu gaya (F) terhadap suatu sumbu melalui titik / tumpuan (A), didefinisikan sebagai perkalian besar gaya F dengan jarak tegak lurus (d) dari A ke garis aksi F.

$$M_A = F \cdot d \quad (2.1)$$

Dimana M_A = momen

F = gaya

d = jarak tegak lurus

$$F = m \cdot g \quad (2.2)$$

Dimana F = gaya

m = massa

g = percepatan gravitasi

Momen tidak hanya memiliki besar tetapi arah juga, bergantung pada kedudukan relatif gaya dan sumbunya. Adapun arah momen itu dapat searah jarum atau berlawanan arah jarum jam.

Dalam menghitung momen akibat sebuah gaya terhadap suatu titik, jika jarak tegak lurus antara garis kerja gaya dan pusat momen diberikan atau dengan mudah dapat ditentukan, maka pendekatan skalar umumnya lebih sederhana [8].

2.3 Defleksi Batang Cantiliver

Nilai defleksi pada batang *cantilever* adalah:

$$y_{maks} = \frac{P \cdot L^3}{3 E \cdot I} \quad (2.3)$$

Dimana: y_{maks} = defleksi maksimal (m)

E = modulus elastisitas bahan

I = momen inersia (m⁴)

L = panjang lengan (m)

2.4 Gaya Lekukan / Buckling

Untuk menghitung gaya lekukan menggunakan persamaan berikut .

$$P_{cr} = \frac{4 \pi^2 \cdot E \cdot I}{L} \quad (2.4)$$

Dimana: P_{cr} = Beban kritis / gaya buckling (kg)

E = Modulus elastisitas bahan

I = momen inersia (m⁴)

L = panjang lengan (m)

2.5 Analisa Tegangan pada Leadscrew

Tegangan yang terjadi pada *leadscrew* ada beberapa macam, diantaranya adalah:

1. Tegangan tekan
2. Tegangan bending
3. Tekanan bearing
4. Tegangan geser

2.6 Tegangan Tekan

Akibat beban (F) *lead screw* juga mengalami beban tarik atau tegangan tekan. Besarnya tegangan tarik yang terjadi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\tau_t = \frac{F}{A} \quad (2.5)$$

Dimana: τ_t = Tegangan Tekan (N/m²)

F = Beban (N)

A = Luas Penampang (m²)

2.7 Tegangan Bending

$$\sigma_b = \frac{\frac{1}{12}(\pi \cdot d_p \cdot n) b^3}{0.5 \cdot b} = \frac{(\pi \cdot d_p \cdot n) b^3}{6} \tag{2.6}$$

Dimana : σ_b = Tekanan Bending (N/m²)
 F = Beban (N)
 d_p = diameter pitch (m)
 n = Jenis atau jumlah ulir (*number of threads in engagement*)

2.8 Tekanan Bearing

Tekanan *bearing* adalah tegangan yang terjadi antara permukaan ulir penggerak dengan permukaan ulir murnya, yang saling berhubungan. Besarnya tekanan *bearing* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P_B = \frac{F}{\pi \cdot d_p \cdot h \cdot n} \tag{2.7}$$

Dimana: P_B = Tekanan *Bearing* (N/m²)
 F = Beban (N)
 d_p = Diameter Rata-Rata Ulir (m)
 h = Kedalaman Ulir (m)
 n = Jenis atau jumlah ulir (*number of threads in engagement*)

2.9 Tegangan Geser

Untuk menghitung tegangan geser maksimum pada ulir adalah dengan menggunakan persamaan berikut:

$$\tau_{max} = \frac{1,5 \cdot F}{A} = \frac{1,5 \cdot F}{\pi \cdot d_p \cdot h \cdot n} \tag{2.8}$$

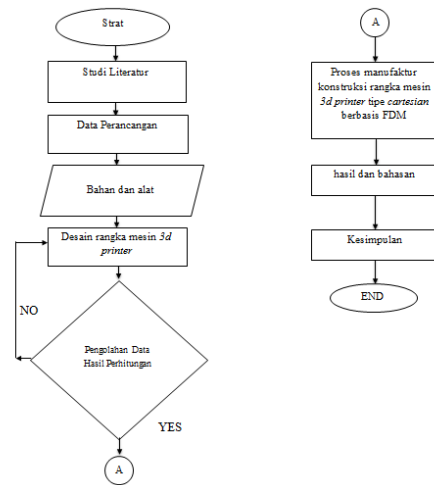
Dimana: F = Beban (N)
 A = Luas Penampang Geser (m³)
 d_r = Diameter Kaki (m³)
 d_p = Diameter Mayor

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini gabungan antara perancangan konstruksi mesin 3d *printer* tipe *cartesian* berbasis FDM dan perhitungan kekuatan konstruksi mesin 3d *printer* tipe *cartesian* berbasis FDM dengan beban yang diterima.

Tahapan yang akan dilakukan dalam perancangan adalah:

1. Membuat desain perancangan konstruksi mesin 3d *printer* tipe *cartesian* berbasis FDM
2. Menentukan berat beban yang terjadi pada konstruksi mesin 3d *printer* tipe *cartesian* berbasis FDM
3. Menghitung kekuatan rangka, kekuatan *leadscrew*, kekuatan sabuk timing, kekuatan sambungan las
4. Melakukan pengujian dari kekuatan konstruksi rangka
5. Analisis data dari pengujian konstruksi rangka

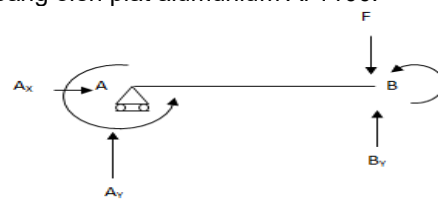


Gambar 2. Diagram Alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Menghitung Defleksi

Menghitung pembebanan ini dengan memfokuskan perhitungan pada tumpuan batang sumbu x. Material yang digunakan Al 1100 dengan tegangan tarik (σ_t) = 110 MPa, modulus elastisitas = 70-80 GPa, panjang L = 0,74 m. Mengasumsikan beban sebesar 5,90776 Kg yang ditopang oleh plat aluminium Al 1100.



Gambar 3. Diagram Benda Bebas Untuk Pembebanan Internal

Menghitung Reaksi Tumpuan

$$\sum V = 0$$

$$R_A - F = 0$$

$$R_A = F$$

Dimana: R_A = Reaksi tumpuan titik A (N)
 F = Beban (N)

Besar Momen dititik A

$$\sum M_A + (F \times L)$$

$$M_A = -F \times L$$

Dimana: M_A = Momen Dititik A (Nm)
 F = Beban (N)
 L = Panjang lengan (m)

Menghitung Tegangan Lentur

$$\sigma_L = \frac{M}{sx}$$

Dimana: σ_L = Tegangan Lentur(N)
 M = Momen (N)
 sx = Panjang Lengan (m)

Menghitung Defleksi

$$\gamma_{\max} = \frac{5 \times w l^4}{384 \times E \times I}$$

Dimana: γ_{\max} = Defleksi Maksimal (m)
 E = Modulus Elastisitas (GPa)
 I = Momen Inersia (m⁴)
 wl = momen tahanan bahan (m²)

4.2 Menghitung Gaya Buckling

Untuk menghitung gaya lekukan pada Rangka Batang Sumbu Z menggunakan persamaan berikut .

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{L^2}$$

Dimana: P_{cr} = Beban Kritis (kg)
 E = Modulus Elastisitas (GPa)
 I = Momen Inersia (m⁴)
 L = Panjang Lengan (m)

4.3 Analisa Tegangan Pada Lead Screw

Untuk menghitung tegangan tekan yang terjadi pada *lead screw* adalah dengan menggunakan persamaan:

$$\tau_t = \frac{F}{A}$$

Dimana: τ_t = Tegangan Tekan (N/m²)
 F = Gaya (N)
 A = Luas Penampang (m²)

Menghitung tegangan tekan pada *lead screw* sumbu y

$$\tau_t = \frac{F}{A}$$

Menghitung tegangan tekan pada *lead screw* sumbu z

$$\tau_t = \frac{F}{A}$$

Lead screw harus memiliki kekuatan yang mampu untuk menahan beban aksial torsi. Maka untuk itu agar aman dipergunakan rumus *rankine gordon* atau *J.B Jhonson* unuk menghitung beban kritis pada *screw* yaitu dengan menggunakan persamaan berikut:

$$W_{cr} = A \cdot \sigma_y \left[1 - \frac{\sigma_y}{4 \cdot C \cdot \pi^2 \cdot E} \left(\frac{L}{k} \right)^2 \right]$$

Dimana: W_{cr} = Beban Kritis (N)
 σ_y = Yield Stress (Mpa)
 L = Panjang Screw (m)
 k = Sudut Girasi
 $k = \sqrt{\frac{d_p}{4}}$
 E = Modulus Elastisitas (Gpa)
 A = Luas Penampang (m²)

Menghitung Beban Kritis Lead Screw Sumbu Y

$$W_{cr} = A \cdot \sigma_y \left[1 - \frac{\sigma_y}{4 \cdot C \cdot \pi^2 \cdot E} \left(\frac{L}{k} \right)^2 \right]$$

Menghitung Beban Kritis Lead Screw Sumbu Z

$$W_{cr} = A \cdot \sigma_y \left[1 - \frac{\sigma_y}{4 \cdot C \cdot \pi^2 \cdot E} \left(\frac{L}{k} \right)^2 \right]$$

4.4 Tegangan Bending/ Lentur

Pada *lead screw* terjadi kontak antara mur dan ulir *lead screw*, agar ulir dari *lead screw* ataupun mur tidak mengalami *bending* atau lenturan, maka harus dihitung beban maksimal yang dapat diterima ulir dari mur atau *screw*. Untuk menghitung tegangan lentur pada *lead screw* adalah dengan menggunakan persamaan:

$$\sigma_B = \frac{3 \cdot F \cdot H}{(\pi \cdot d_p \cdot n) H^2}$$

Dimana: d_p = Diameter Rata-Rata Ulir (m)
 H = Kedalaman Ulir (m)
 n = Jenis atau jumlah ulir

Menghitung tegangan bending pada *lead screw* sumbu Y

$$\sigma_B = \frac{3 \cdot F \cdot H}{(\pi \cdot d_p \cdot n) H^2}$$

Menghitung tegangan bending pada *lead screw* sumbu Z

$$\sigma_B = \frac{3 \cdot F \cdot H}{(\pi \cdot d_p \cdot n) H^2}$$

4.5 Tegangan Geser

Tegangan geser terjadi akibat adanya gaya dari torsi. Untuk menghitung tegangan geser yang terjadi adalah dengan menggunakan persamaan

$$\sigma_g = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot d_r^3}$$

Dimana: A = Luas Penampang (m³)
 d_r = Diameter Kaki (m³)
 d_p = Diameter Mayor

Untuk menghitung tegangan geser *lead screw* sumbu Y

$$\sigma_g = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot d_r^3}$$

Untuk menghitung tegangan geser *lead screw* sumbu Z

$$\sigma_g = \frac{16 \cdot T}{\pi \cdot d_r^3}$$

Dari hasil perhitungan diatas maka kita dapat mengetahui tegangan geser maksimalnya pada setiap *lead screw* sumbu yaitu dengan menggunakan persamaan

$$\sigma_{g \max} = \frac{1}{2} \sqrt{\tau_t^2 + 4 \cdot \tau_g^2}$$

Maka nilai tegangan geser maksimal pada sumbu Y

$$\sigma_{g \max} = \frac{1}{2} \sqrt{\tau_t^2 + 4 \cdot \tau_g^2}$$

Nilai tegangan geser maksimal pada sumbu Z

$$\sigma_{g \max} = \frac{1}{2} \sqrt{\tau_t^2 + 4 \cdot \tau_g^2}$$

4.6 Menghitung Sabuk Timing

Untuk menghitung besarnya gaya tarik pada sisi tarik F_1 (Kg) adalah sebagai berikut:

$$F_1 = F_e + F_c$$

Jika daya yang akan ditransmisikan adalah P (kW), kecepatan sabuk v (m/s), berat persatuan

panjang sabuk w (kg/m), dan konstanta yang tergantung pada ukuran dan tipe sabuk adalah C , maka F_e dan F_c dapat ditulis sebagai

4.7 Menghitung Daya

Diketahui motor sebagai penggerak adalah motor *stepper* nema 17 yang memiliki spesifikasi Tegangan (12 volt) dan Arus (2.5 ampere)

$$P = V \times I$$

Dimana: P = Daya (kW)

V = Tegangan

I = Arus

Menghitung F_e

Diketahui $P = 0,03$ kW dan v kecepatan = 200 mm/s = 0,2 m/s.

$$F_e = \frac{102 \cdot P}{v}$$

Menghitung F_c

Diketahui l (panjang belt) = 3.2 m, v kecepatan = 200 mm/s = 0,2 m/s, dan massa yang dipindahkan oleh sabuk timing diasumsikan sebesar 2,06 kg.

$$w = \frac{m}{l}$$

Untuk menghitung besarnya gaya tarik maksimum F_1 , maka:

$$F_1 = F_e + F_c$$

4.8 Menghitung Daya Rencana

$$P_d = f_c \cdot P$$

Diketahui $P = 0,03$ kW dan faktor koreksi didapat dari Tabel 2.10. sebesar $f_c = 1,4$

4.9 Menghitung Kapasitas Daya Yang Ditransmisikan

$$P_0 = 0,6984 \times 10^{-6} (d_p \cdot n) (F_a - F_c) \text{ (kW)}$$

Mencari nilai n menggunakan persamaan

$$n = \frac{rpm}{1000}$$

$$v = \omega \cdot r$$

$$\omega = \frac{v}{r}$$

Maka:

$$n = \frac{rpm}{1000} = \frac{300}{1000} = 0,3$$

$$P_0 = 0,6984 \times 10^{-6} (d_p \cdot n) (F_e - F_c) \text{ (kW)}$$

5. KESIMPULAN

Telah dilakukan analisa tegangan, defleksi, dan gaya tekuk/*buckling* yang terjadi pada struktur kekuatan rangka mesin 3D *Printer* tipe *cartesian* berbasis FDM dengan metode perhitungan secara teoritis. Hasil analisa secara teoritis kekuatan rangka mesin 3D *Printer* tipe *cartesian* berbasis FDM:

- a. Analisa pada rangka sumbu X, dari tegangan ijin dihasilkan nilai 18 MPa untuk aluminium Al 1100 untuk pembebanan dinamis, maka dari itu tegangan yang terjadi pada batang aluminium Al 1100 dengan pembebanan

5,90776 kg dihasilkan nilai tegangan $\sigma = 4,606 \times 10^{-4}$ MPa dan defleksi sebesar 54×10^{-3} mm, maka batang x dengan material aluminium Al 1100 dinyatakan aman.

- b. Analisa pada rangka sumbu Z Berdasarkan perhitungan diatas dapat dikatakan *gaya buckling* pada rangka sumbu Z adalah sebesar 229,9 kg. Perbandingan pada *gaya buckling* lebih besar dari beban yang diterima rangka sumbu Z 15,147 Kg maka konstruksi pada rangka sumbu Z dianggap aman.

Analisa secara teoritis kekuatan *lead screw* mesin 3D *Printer* tipe *cartesian* berbasis FDM:

- a. Analisa pada *lead screw* rangka sumbu Y didapat gaya tangensial $P = 0,4138$ N, torsi $T = 0,13$ Nm, tegangan tekan $\tau_t = 0,4$ MPa, beban kritis $W_{cr} = -10289,02$ N, tegangan bending $\sigma_B = 0,179$ MPa, tegangan geser $\sigma_g = 0,38$ MPa, tegangan geser maksimum $\sigma_{g \max} = 0,42$ MPa.
- b. Analisa pada *lead screw* rangka sumbu Z didapat gaya tangensial $P = 0,8856$ N, torsi $T = 0,28$ Nm, tegangan tekan $\tau_t = 0,9$ MPa, beban kritis $W_{cr} = -10028,13$ N, tegangan bending $\sigma_B = 0,378$ MPa, tegangan geser $\sigma_g = 0,83$ MPa, tegangan geser maksimum $\sigma_{g \max} = 0,94$ MPa

Analisa secara teoritis Sabuk *Timing* mesin 3D *Printer* tipe *cartesian* berbasis FDM pada perhitungan sabuk timing pada rangka x didapat $P = 0,03$ kW, daya rencana $P_d = 0,042$ kW, kapasitas daya yang ditransmisikan $P_0 = 4,48 \times 10^{-8}$ kW, sudut kontak sabuk $\theta = 179,86^\circ$, jumlah gigi terkait $JGT = 9,99$, panjang sabuk yang diperlukan $L_p = 140,14$ mm

DAFTAR PUSTAKA

- [13]. Dede Sumantri, 2012 "Peningkatan Kinerja Mesin Rapid Prototyping Berbasis Fused Deposition Modelling", Universitas Indonesia.
- [14]. Sugeng Winarto, 2015 "Pengaruh Suhu Dari Bottom Plate Terhadap Produk Printer 3D", Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [15]. rapidprototypingmanufacturing.html. Diakses pada tanggal 11 maret 2017
- [16]. <http://gizmodorks.com/abs-3d-printerfilament/> diakses pada tanggal 12 maret 2017.
- [17]. E.P Popov Dan Zainul Astamar. Mekanika (Mechanics Of Material). Jakarta : Erlangga, 1984
- [18]. Djoko W. Karmiadji, optimasi desain (material, komponen, konstruksi) teori dasar & aplikasi
- [19]. Ropi'i, 2007 "Rancang Bangun Konstruksi Dan Analisa Pengujian Pada Alat Uji Sirip" Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor.

- [20]. <http://digilib.its.ac.id/public/ITS-Undergraduate-15050-Presentation1228068.pdf>. Diakses pada tanggal 9 oktober 2017.
- [21]. Ridwan Jaelani, 2015 "*Rancang Bangun Konstruksi Rangka Meja Pada CNC Plasma Cutting Dengan Kapasitas Area Pemotongan Panjang 1.2 m Dan Lebar 1.2 m*" Fakultas Teknik, Universitas Ibn Khaldun Bogor.
- [22]. www.aircraftmaterials.com/data/aluminium/1100.html diakses pada tanggal 9 oktober 2017.
- [23]. Prof. DR .Ir .Dahmir Dahlan M.Sc editor: Ir. M. Dwi trisno . M.T, "ELEMEN MESIN"