

## PERANCANGAN MESIN PENGGULUNG FILAMEN PLA DIAMETER 1.75 MM DARI HASIL EKSTRUSI PLASTIK

Anurogo Banjaransari<sup>1\*</sup>, Imanuel Agape Sanjaya<sup>2</sup>, Irfan Kartika Nusabhakti<sup>3</sup>, Tobias Paramarta Kusuma<sup>4</sup>, Archi Kun Cahyo Utomo<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Program Studi Teknik Mesin Industri, Politeknik ATMI Surakarta

Jl. Mojo No. 1 Karangasem, Laweyan, Surakarta 57145

\*Email: archi.kun@atmi.ac.id

### Abstrak

Mesin penggulung filamen adalah mesin yang digunakan untuk menggulung filamen 3D Printer dari hasil mesin ekstrusi plastik. Perancangan mesin penggulung filamen bertujuan untuk menambah produktifitas mesin ekstrusi plastik E20T Dr.Collin di PUTP Politeknik ATMI Surakarta. Metode yang dipakai dalam proses ini mencakup empat tahap: pengumpulan data awal, perancangan, pembuatan gambar dan perencanaan permesinan. Mesin penggulung filamen berfokus pada filamen 3D printer jenis PolyLactic-Acid(PLA) diameter 1,75mm. Mesin penggulung filamen memiliki tiga cara kerja utama: penarik filamen, penggerak linier filamen(traverse) dan penggulung filamen(spooler). Pada mesin penggulung memiliki dua pengembangan yaitu penghitung panjang filamen yang sudah digulung dan penegang filamen. Mesin penggulung filament dapat menanggung throughput maksimal 1686,592 gram/jam dengan waktu tercepat 36,29613 menit. Mesin penggulung filamen tidak memerlukan perawatan atau pelumasan yang rumit karena bahan yang digunakan tahan karat. Mesin penggulung filamen dioperasikan secara manual dengan putaran motor dikendalikan oleh operator.

**Kata kunci:** 3D Printer, Ekstrusi Plastik, Filamen PLA 1.75mm, Mesin Penggulung Filamen.

### 1. PENDAHULUAN

Plastik atau polimer adalah material yang terbentuk dari monomer yang membentuk rantai yang panjang. Material plastik di pilih karena kuat, ringan, dan mudah diproses. Plastik banyak digunakan diberbagai bidang kehidupan mulai dari bidang arsitektur, bidang konstruksi, bidang transportasi, bidang otomotif, bidang kesehatan, bidang elektronik, bidang *packaging*, bidang permesinan, bidang industri, dan lain sebagainya.

Plastik memiliki banyak jenis pemrosesan diantaranya proses injeksi, proses ekstrusi, proses 3D *printing*, proses *turning*, proses *milling*, dan lain sebagainya. Proses 3D *printing* yaitu proses mencetak suatu desain dengan mesin *printer* khusus sehingga menghasilkan suatu desain berupa benda padat yang berbentuk 3 dimensi. Proses 3D *printing* saat ini sudah sangat berkembang dan memiliki banyak jenis diantaranya ada *Selective Laser Sintering* (SLS), *Stereolithography* (SLA), *Digital Light Processing* (DLP), *Electronic Beam Melting* (EBM), *Selective Laser Melting* (SLM), dan *Fused Deposition Modelling* (FDM).

Mesin 3D *printing* banyak digunakan diberbagai bidang mulai dari industri, kesehatan, *fashion*, seni, olahraga dan lain sebagainya. Seiring perkembangan zaman penggunaan mesin 3D *printing* mulai beragam mulai dari *rapid prototyping*, *rapid tooling*, pembuatan *part*, pengembangan produk baru, dan edukasi.

Filamen untuk mesin 3D *printing* dibentuk dari proses ekstrusi plastik, yaitu dengan melelehkan biji plastik kemudian dikeluarkan melalui *nozzle* dan digulung. Ukuran filamen yang biasa digunakan adalah 1,75 mm dan 2,85 mm. Bahan filamen yang paling umum dan terjangkau untuk digunakan oleh 3D *printer* dengan teknologi FDM adalah filamen yang berbahan dasar *Acrylonitrile Butadine Styrene* (ABS) dan jenis *Polylactic Acid* (PLA) (Nafftulin, Kimchi, & Cash, 2015).

Semakin banyak jumlah penggunaan mesin 3D *printing*, semakin banyak kebutuhan filamen yang dibutuhkan. Perancangan mesin pembuat filamen akan dilakukan untuk menyuplai kebutuhan filamen yang ada di PUTP Politeknik ATMI Surakarta. Mesin ini

dirancang sebagai kelanjutan dari mesin ekstrusi plastik E20T Dr.Collin milik PUTP Politeknik ATMI Surakarta PUTP Politeknik ATMI Surakarta sehingga mampu meningkatkan produktifitas mesin ekstrusi tersebut.

## 2. METODOLOGI

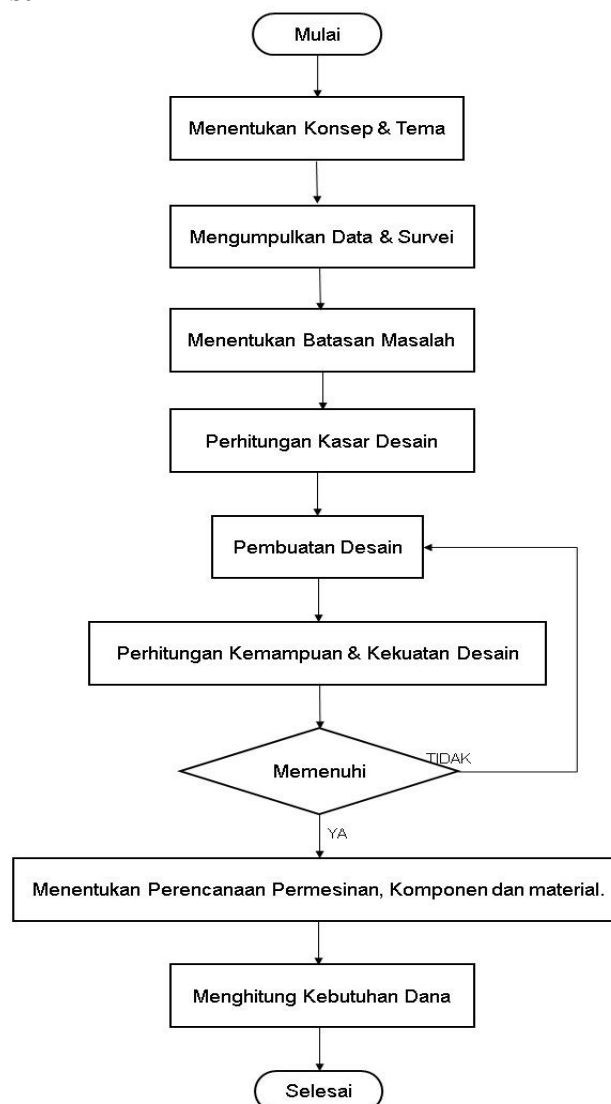
Proses perancangan ini memerlukan beberapa pengumpulan data, rumus perhitungan dan simulasi beban yang digunakan dalam proses menentukan perancangan mesin.

### 2.1. Metode Perancangan

Metode yang dipergunakan dalam perancangan mesin ini dari data, perhitungan dan simulasi beban digunakan untuk menentukan jenis material, jenis motor, dimensi *part* dan *standart part* pada perancangan mesin.

### 2.2. Proses Perancangan

Metode pengerjaan perancangan dilakukan dengan beberapa tahapan yang ditunjukkan pada *flowchart* di gambar 1.



**Gambar 1. Flowchart Proses Perencanaan**

#### 2.2.1. Menentukan Konsep dan Tema

Tahap ini dilakukan pencarian konsep dan tema yang dibutuhkan dan sesuai hingga penentuan konsep dan tema yang disetujui oleh pembimbing.

### 2.2.2. Mengumpulkan Data dan Survei

Tahap ini dilakukan pencarian dan mengumpulkan hal-hal yang mendukung perancangan mesin hingga survei secara langsung.

### 2.2.3. Perhitungan Kasar

Tahap ini berisi tentang perkiraan bentuk dan dimensi dari part yang akan digunakan pada mesin, berdasar pengalaman dan barang yang sudah ada sebelumnya.

### 2.2.4. Pembuatan Desain

Pada tahap ini dilakukan proses pembuatan desain part mesin secara 3D dan 2D melalui program/aplikasi komputer.

### 2.2.5. Perhitungan Kemampuan dan Kekuatan Mesin

Tahap ini dilakukan proses perhitungan rumus atau simulasi pada program komputer untuk mengetahui apakah desain memenuhi fungsi.

### 2.2.6. Menentukan Perencanaan Permesinan, Komponen dan Material.

Tahap ini berisi tentang rencana alur pembuatan *part-part*, komponen dan material yang dibutuhkan untuk mesin.

### 2.2.7. Menghitung Kebutuhan Dana

Tahap ini dilakukan untuk menentukan total kebutuhan dana yang digunakan.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan konsep mesin penggulung filamen ini melalui beberapa tahap, yaitu pembuatan desain morfologi, list kebutuhan, kriteria pembobotan dan penilaian untuk mendapatkan konsep terbaik yang sesuai dengan kebutuhan.

### 3.1. Perhitungan Komponen

Penentuan komponen diperhitungkan melalui beberapa langkah, kemudian penyetaraan hasil perhitungan dengan komponen yang banyak di pasaran. Hasil perhitungan ini akan mendapatkan spesifikasi komponen/*part* yang sesuai dengan beban dan fungsi.

#### 3.1.1 Perhitungan RPM Motor DC

Perhitungan ini dilakukan untuk melakukan perbandingan rpm motor pada motor *spooler* dan motor *traverse* berdasarkan rpm motor *roller* penarik. Kecepatan sudut *roller* penarik :

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot (\text{RPM roler penarik}) / 60 = 2 \cdot \pi \cdot 100 / 60 = 10,47 \text{ rad/s}$$

kecepatan linier filamen berdasarkan putaran *roller* penarik

$$v_{\text{linier}} = \omega \cdot R_{\text{roller penarik}} = 10,47 \cdot 15 = 157,08 \text{ mm/s}$$

Berikut contoh perhitungan untuk menghitung RPM motor *Spooler* dan RPM motor *traverse* pada tingkat 1, terlebih dahulu menghitung diameter gulungan filamen.

$$\emptyset n = \emptyset \text{ Spooler} + (n \cdot \emptyset \text{ Filamen}) = 90,5 + (1 + 1,75) = 92,25 \text{ mm}$$

RPM *spooler* diperoleh dari keliling gulungan dan kecepatan linier filamen

$$\text{Keliling pada tingkat } n = \pi \cdot \emptyset = \pi \cdot 92,25 = 289,8119223 \text{ mm}$$

$$\text{RPM } spooler \ n = \frac{60 \cdot v}{(\text{Keliling } n)} = \frac{60 \cdot 157,08}{(289,8119223)} = 32,52 \text{ rpm}$$

RPM *traverse* diperoleh perbandingan rpm *spooler* dan *pitch* :

$$\text{RPM Travers } n = \frac{(\text{RPM } spooler \ n) \cdot \emptyset \text{ Filamen}}{U} = \frac{(32,52) \cdot 1,75}{2} = 28,46 \text{ rpm}$$

Panjang total gulungan filamen pada tingkat ke 1 :

$$L \text{ Filamen } n = \sqrt{\left(\pi \cdot \frac{L}{\varnothing \text{ Filamen}} \cdot \varnothing n\right)^2 + L^2} = \sqrt{\left(\pi \cdot \frac{L}{1,75} \cdot 92,25\right)^2 + 54^2} = 8942,93 \text{ mm}$$

Maka dari contoh perhitungan tingkat 1 dapat diperoleh data setiap tingkat sebagai berikut :

**Tabel 1. Perhitungan RPM motor**

Tingkat	D (mm)	Kell (mm)	L Filamen (mm)	RPM Spooler	RPM Traverse
1	92,25	289,81	8942,93	32,52	28,46
2	94	295,31	9112,57	31,91	27,93
3	95,75	300,81	9282,22	31,33	27,42
4	97,5	306,31	9451,86	30,77	26,92
5	99,25	311,80	9621,50	30,23	26,45
6	101	317,30	9791,15	29,70	25,99
7	102,75	322,80	9960,79	29,20	25,55
8	104,5	328,30	10130,43	28,71	25,12
9	106,25	333,79	10300,08	28,24	24,71
10	108	339,29	10469,72	27,78	24,31
11	109,75	344,79	10639,36	27,33	23,92
12	111,5	350,29	10809,01	26,91	23,54
13	113,25	355,79	10978,65	26,49	23,18
14	115	361,28	11148,30	26,09	22,83
15	116,75	366,78	11317,94	25,70	22,48
16	118,5	372,28	11487,58	25,32	22,15
17	120,25	377,78	11657,23	24,95	21,83
18	122	383,27	11826,87	24,59	21,52
19	123,75	388,77	11996,52	24,24	21,21
20	125,5	394,27	12166,16	23,90	20,92
21	127,25	399,77	12335,81	23,58	20,63
22	129	405,27	12505,45	23,26	20,35
23	130,75	410,76	12675,09	22,94	20,08
24	132,5	416,26	12844,74	22,64	19,81
25	134,25	421,76	13014,38	22,35	19,55
26	136	427,26	13184,03	22,06	19,30
27	137,75	432,75	13353,67	21,78	19,06
28	139,5	438,25	13523,32	21,51	18,82
29	141,25	443,75	13692,96	21,24	18,58
30	143	449,25	13862,61	20,98	18,36
31	144,75	454,75	14032,25	20,73	18,13
32	146,5	460,24	14201,90	20,48	17,92
33	148,25	465,74	14371,54	20,24	17,71
34	150	471,24	14541,19	20,00	17,50
35	151,75	476,74	14710,83	19,77	17,30
36	153,5	482,23	14880,48	19,54	17,10

### 3.1.2 Perhitungan Daya dan Torsi Motor DC

Perhitungan digunakan untuk mencari spesifikasi minimum motor DC yang dapat digunakan.

- *Spooler*

$$\text{Torsi } (T) = m \cdot g \cdot V \cdot \varnothing/2 = 1,5 \cdot 9,81 \cdot 1,25 \cdot 0,16225/2 = 1,49 \text{ Nm}$$

$$\text{Daya } (P) = T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n / 60 = 2,4 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 32,5/60 = 5,08 \text{ Watt}$$

- *Traverse*

$$\text{Torsi } (T) = m \cdot g \cdot V \cdot \varnothing/2 = 1 \cdot 9,81 \cdot 1,25 \cdot 0,08/2 = 0,04905 \text{ Nm}$$

$$\text{Daya } (P) = T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n / 60 = 0,08 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 28,5/60 = 0,14616 \text{ Watt}$$

- *Roller Penarik*

$$\text{Torsi } (T) = m \cdot g \cdot V \cdot \varnothing/2 = 0,028 \cdot 9,81 \cdot 1,25 \cdot 0,03/2 = 0,00412 \text{ Nm}$$

$$\text{Daya } (P) = T \cdot 2 \cdot \pi \cdot n / 60 = 0,15 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 100/60 = 0,043147 \text{ Watt}$$

**Tabel 2. Spesifikasi motor 12VDC**

jenis Motor	RPM min	RPM max	P	Torsi (Nm)	RPM max motor	Torsi (Kg.cm)
Spooler	18,49	32,52	10	1,49	32,5	14,9
Traverse	16,18	28,46	5	0,05	28,5	0,5
Roller	4,00	100,00	5	0,0052	100,0	0,05

### 3.1.3 Perhitungan Perpindahan Panas Konveksi Bebas pada Filamen Hasil Ekstrusi dari Die ke Guide Mesin

Perhitungan digunakan untuk mengetahui suhu dan kondisi filamen yang masuk dalam proses mesin penggulung filamen ini sehingga membutuhkan pendingin atau tidak.

$$T_f = T_w + T_w / 2 = 200 + 28 / 2 = 114^\circ\text{C}$$

$$\beta = 1/T_f = 1/114 + 273 = 0,002583979 \text{ K}^{-1}$$

$$\text{Gr}_d \text{ Pr} = \frac{g \beta (T_w - T_w) d^3 \text{ Pr}}{v^2} = \frac{9,81 \beta (180 - 28) 0,00175^3 0,6866}{0,000023594^2} = 26,18265367$$

$$\text{Nu}_d = 0,36 + \frac{0,518 (\text{Gr}_d \text{ Pr})^{1/4}}{[1 + (0,559/\text{Pr})^{9/16}]^{4/5}} = 0,36 + \frac{0,518 (26,18265367)^{1/4}}{[1 + (0,559/0,6866)^{9/16}]^{4/5}} = 1,242838032$$

$$h = \frac{\text{Nu}_d k}{d} = \frac{1,242838032 \cdot 0,032996}{0,00175} = 23,43353355 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$$

$$q/L = h \cdot \pi \cdot d (T_w - T_w) = 23,43353355 \cdot \pi \cdot 0,00175 \text{ m} (200 - 28) = 22,15920367 \text{ W/m}$$

Jarak antara *guide* pertama dan ujung *die* adalah 70mm

Kalor yang dibutuhkan untuk mendinginkan filamen dari suhu 200°C hingga 30°C (dibawah suhu transisi gelas PLA) sebagai berikut :

$$q = h \cdot \pi \cdot r^2 \cdot (T_w - T_w) = 23,43353355 \cdot 1,20264 \times 10^6 \cdot (200 - 30) = 0,00958 \text{ Joule}$$

Kecepatan linier yang dihasilkan karena tarikan *roller* adalah 0,15708 m/s maka waktu yang dibutuhkan adalah :

$$t = P / v = 0,07 / 0,15708 = 0,44563384 \text{ s}$$

Perpindahan kalor yang dibutuhkan adalah sebagai berikut :

$$q/t = 0,00958 / 0,44563384 = 0,0215017 \text{ W}$$

Perpindahan kalor yang diberikan oleh udara bebas bersuhu 28°C bertekanan 1 atm adalah :

$$(q/L) \cdot P = 22,15920367 \cdot 0,07 = 1,551144257 \text{ W}$$

Maka tidak diperlukan pendingin pada mesin karena perpindahan kalor yang diberikan udara lebih besar dibandingkan perpindahan kalor yang dibutuhkan dan filamen sudah memiliki suhu dibawah suhu transisi gelas pada saat memasuki *guide* pertama sehingga tidak dapat mengalami deformasi dalam proses mesin.

### 3.1.4 Perhitungan Kapasitas Mesin

Perhitungan digunakan untuk mengetahui kemampuan mesin.

Dengan diameter filamen yang dihasilkan 1,75mm , putaran maksimal *roller* 100rpm, densitas PLA 0,00124 g/mm<sup>3</sup> dan kecepatan linier filamen 157,08 mm/s Panjang Total Filament (L) = 342,0829 m = 342082,9 mm

Tercepat

$$Q = \pi \cdot (r \text{ Filamen})^2 \cdot (v \text{ linier}) = \pi \cdot 0,875^2 \cdot 157,08 = 377,8208 \text{ mm}^3/\text{s}$$

$$\frac{m}{t} = (\rho \text{ PLA}) \cdot Q = 0,00124 \cdot 377,8208 = 0,468498 \text{ gram/s} = 1686,592 \text{ gram/jam}$$

Maka mesin penggulung dapat menanggung *throughput* maksimal 1686,592 gram / jam dengan material PLA.

$$m = \pi \cdot (r \text{ Filamen})^2 \cdot L \cdot \rho = \pi \cdot 0,875^2 \cdot 342082,9 \cdot 0,00124 = 1020,297 \text{ gram} \\ = 1,020297 \text{ kg}$$

$$t = \frac{m}{\text{throughput}} = \frac{1020,297}{1686,592} = 0,604935 \text{ jam} = 36,29613 \text{ menit}$$

Maka massa filamen sepanjang 342,0829 m dan Ø filamen 1,75 mm adalah 1,020297 kg dan waktu tercepat adalah 36,29613 menit

### 3.1.5 Perhitungan Diameter *nozzle*

Untuk membentuk filamen PLA berdiameter 1,75mm dengan nilai *shrinkage* PLA 0,2-0,25%

$$\begin{aligned}\varnothing \text{ Die maksimal} &= \varnothing \text{ Filamen} + (\varnothing \text{ Filamen} \times \text{Shrinkage PLA}) \\ &= 1,75 + (1,75 \times 0,25\%) \\ &= 1,7544 \text{ mm}\end{aligned}$$

Maka  $\varnothing \text{ Die}$  ditentukan 1,75 mm dengan toleransi  $\pm 0,02\text{mm}$

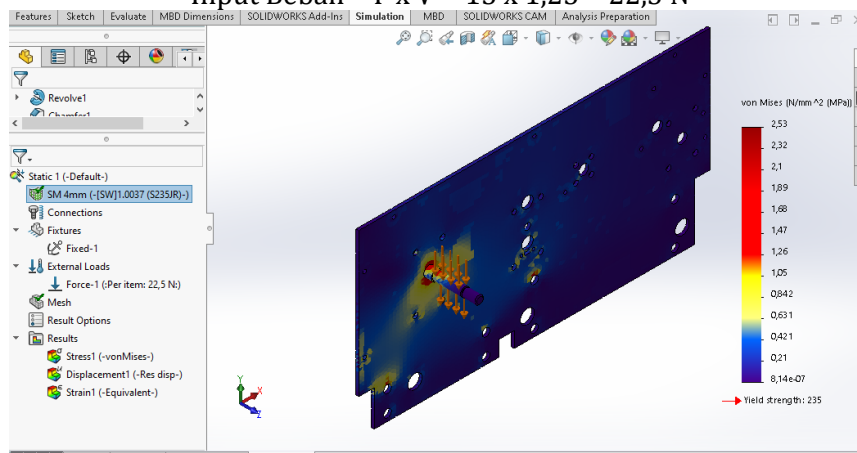
## 3.2. Analisis Kekuatan

Bagian mesin akan mengalami masa letih (*fatigue*) akibat dari pembebanan. Dalam mengatasi kegagalan desain, diperlukan kajian pembebanan dalam *software* yang tersedia.

### 3.2.1 Base Sheet Metal Terhadap Beban Kritis

Base dari mesin menggunakan *sheet metal* 4mm dengan material St.37 menerima beban 15 N dan angka keamanan(V) 1,25 karena frekuensi pembebanan rendah.

$$\text{Input Beban} = F \times V = 15 \times 1,25 = 22,5 \text{ N}$$



**Gambar 1. Tegangan Statik pada Sheet Metal 4mm**

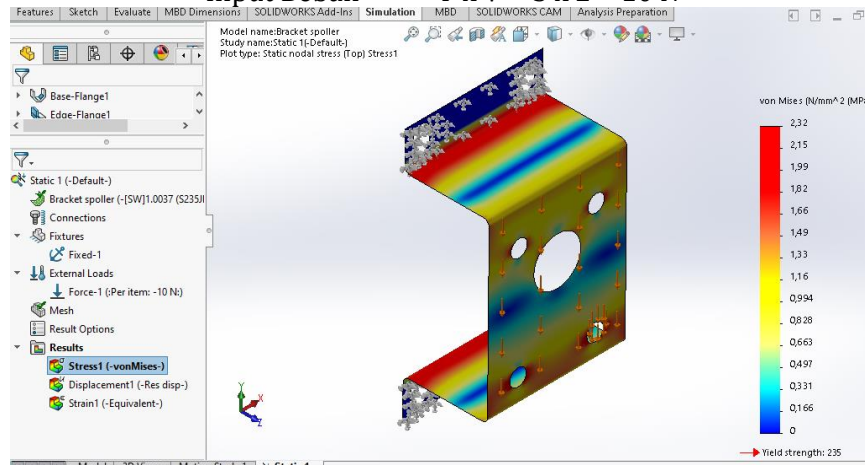
Tegangan maksimal yang diakibatkan oleh beban 22,5N (titik kritis) adalah 2,53 N/mm<sup>2</sup>

### 3.2.2 Perhitungan Bracket Motor Spooler

Bracket motor *spooler* menggunakan *sheet metal* 2mm St.37 dan menanggung beban 5N yang dihasilkan dari berat motor *spooler*. Dan berikut parameter pendukung lainnya: L=45,5mm

V(angka keamanan) = 2, karena frekuensi pembebanan tinggi

$$\text{Input Beban} = F \times V = 5 \times 2 = 10 \text{ N}$$



**Gambar 1. Beban Statik pada Bracket Spooler 2mm**

Tegangan maksimal yang diakibatkan oleh beban 10N adalah 2,32 N/mm<sup>2</sup>

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan perancangan pada Mesin Penggulung Filamen PLA Diameter 1,75mm dari Hasil Ekstrusi Plastik, didapatkan kesimpulan :

- a. Mesin dan *Die* dipergunakan untuk menggulung filamen PLA Diameter 1,75mm dari hasil ekstrusi plastik mesin E20T Dr.Collin.
- b. Mesin dapat meningkatkan produktifitas mesin ekstrusi plastik E20T Dr.Collin.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Fried, Joel R. (1995). *Polymer Science and Technology*. New Jersey: Prentice Hall Castleman, Kenneth R., 2004, *Digital Image Processing*, Vol. 1, Ed. 2, Prentice-Hall, New Jersey.
- Holman, J.P. (1994). *Perpindahan Kalor*. Jakarta : ERLANGGA
- Budiyantoro, Cahyo. (2010). *Thermoplastik Dalam Industri*. Yogyakarta: Teknik Media
- Lee Tin Sin, Rahmat, Razak Abdul, dan Rahman, Wan Azian W.A. (2012). *Polylactic Acid (PLA Biopolymer Technology and Applications)*. Oxford: Elsevier.
- John R. Wagner Jr, Mount III, Eldridge M, dan Jr, Harold F.G. (2014). *Tool and Manufacturing Engineers Handbook (Volume 8)*. Oxford: Elsevier.
- Sudibyoy, B. *Bantalan Gelinding*. Politeknik ATMI: Surakarta
- Sudibyoy, B. *Kekuatan dan Tegangan Ijin*. Politeknik ATMI: Surakarta
- Suroto, Ant. *Strength of Material*. Politeknik ATMI: Surakarta
- Sudibyoy, B. *Poros Penyangga dan Poros Transmisi*. Politeknik ATMI: Surakarta
- B. Sudibyoy, Ing. HTL. *Kekuatan dan Tegangan Ijin*. Politeknik ATMI, Surakarta.
- Ramdhiani, Tria I. (2015). *Rancang Bangun Perangkat Keras Alat Pengelompokan Buah Kopi Berdasarkan Warna Secara otomatis via Short Message Service Berbasis Mikrokontroler ATMEGA32*.
- Badaruddin, M.H. (2015). *Pengontrol Kecepatan Motor DC Brushless Pada Robot Pendeteksi Logam Menggunakan ATMEGA16*.
- John H. Bickford, Nassar, Sayed. (1998). *Handbook of Bolts and Bolted Joints*. New York: Marcel Dekker.
- <https://3dprintergeeks.com/3d-printing-shrinkage-compensation/>
- <https://www.centralab-jogja.com/definisi-pla/>
- <https://www.arrow.com/en/categories/optoelectronics/photoelement/photointerrupters>
- <https://nks.com/products/201-stainless-steel/>
- [http://steeljis.com/jis\\_steel\\_datasheet.php?name\\_id=118](http://steeljis.com/jis_steel_datasheet.php?name_id=118)
- <https://www.hydro.com/en-US/profiles/5052-aluminum/>