

# RANCANG BANGUN MESIN FILAMENT WINDING

## DESIGNING OF FILAMENT WINDING MACHINE

**Dede Wirno Azhar**

**113030121**

Program Studi Teknik Mesin Universitas Pasundan Bandung 2016

E-mail : [dhedeazhar@gmail.com](mailto:dhedeazhar@gmail.com)

### **ABSTRAK**

Selama ini di Indonesia hasil gas alamnya sangat berlimpah salah satunya adalah CNG (Compressed Natural Gas), karena tekanan CNG sangat besar yaitu sekitar 200 Bar sehingga dibutuhkan tabung penyimpanan gas yang memiliki kekuatan tinggi dalam menahan tekanan, untuk menyimpan CNG dibutuhkan COPV (Composite Overwrapped Pressure Vessels). Oleh sebab itu dibuat mesin *Filament Winding* yang fungsinya untuk melapisi tabung dengan bahan komposit sehingga tabung yang dihasilkan memiliki bobot yang ringan dan memiliki kekuatan yang tinggi dalam menahan tekanan dari CNG.

**Kata Kunci** : Rancang Bangun Mesin Filament Winding

### **ABSTRACT**

During this time in Indonesia the results of natural gas is very abundant one of which is the CNG (Compressed Natural Gas), because the pressure of the CNG is huge which is about 200 Bar so it takes gas storage tubes that has high strength in holding pressure, to store the CNG needed COPV (Composite Overwrapped Pressure Vessels). Therefore Filament Winding machine made that its function is to coat the tubes with composite materials so that the resulting tube having light weight and high strength in holding the pressure of the CNG.

## 1. PENDAHULUAN

Selama ini di Indonesia hasil gas alamnya sangat berlimpah salah satunya adalah CNG (*Compressed Natural Gas*), karena tekanan CNG sangat besar yaitu sekitar 200 Bar sehingga dibutuhkan tabung penyimpanan gas yang memiliki kekuatan tinggi dalam menahan tekanan, untuk menyimpan CNG dibutuhkan COPV (*Composite Overwrapped Pressure Vessels*). Oleh sebab itu dibuat mesin *Filament Winding* yang fungsinya untuk melapisi tabung dengan bahan komposit sehingga tabung yang dihasilkan memiliki bobot yang ringan dan memiliki kekuatan yang tinggi dalam menahan tekanan dari CNG.

Prinsip kerja dari metode mesin *Filament Winding* ialah menggulungkan serat pada mandrel dimana serat tersebut telah dilapisi oleh *Resin* yang berasal dari *Resin Bath*. Untuk menjaga agar tegangan serat tetap stabil maka serat ditempatkan pada *Tensioner*, selanjutnya *Mandrel* ditempatkan pada poros mesin bubut untuk proses penggulungan. Proses penggulungan ini dilakukan secara berulang-ulang sampai seluruh permukaan tabung tertutupi oleh serat dan sampai dengan ketebalan yang diinginkan.

## 1. STUDI LITERATUR

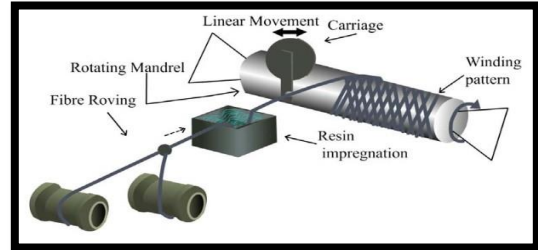
### 2.1 Definisi Mesin *Filament Winding*

*Filament winding* merupakan salah satu metoda pembuatan pipa komposit dimana serat (*fiber*) digulungkan pada mandrel yang sebelumnya dicelupkan kedalam resin. Proses penggulungan serat pada mandrel dilakukan secara otomatis menggunakan mesin pengatur yang dilakukan secara berulang-ulang sampai diperoleh bentuk dan ketebalan sesuai yang diinginkan.

### 1.2 Prinsip Kerja Mesin *Filament Winding*

Proses ini umumnya digunakan untuk komponen yang berbentuk silinder atau oval. Untuk prinsip kerjanya sendiri yaitu serat/benang dicelupkan melewati bak yang berisi resin kemudian dililitkan ke mandrel yang berputar dan bak yang berisi resin bergerak translasi kekanan dan kekiri

sampai semua mandrel tertutupi oleh serat/benang. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar dibawah ini :

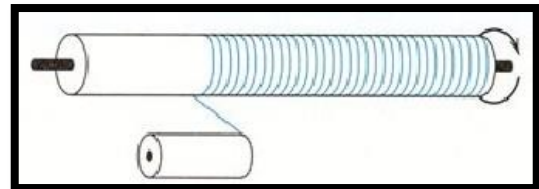


Gambar 2.1 Skematik prinsip kerja mesin filament winding

### 1.3 Jenis-jenis Pola Pada Mesin *Filament Winding*

#### a.) *Circumferential Winding*

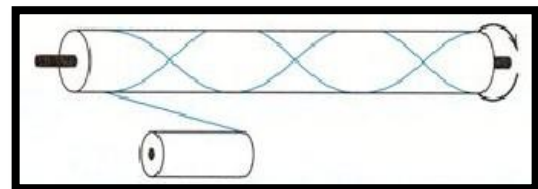
Hal ini dikenal sebagai ketebalan atau melingkar berkelok-kelok. Sebenarnya *circumferential winding* adalah heliks sudut tinggi berliku yang mendekati sudut 90 derajat. Setiap putaran penuh mandrel kemajuan pengiriman oleh satu *Bandwidth* penuh seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.2 Circumferential Winding

#### b.) *Helical Winding*

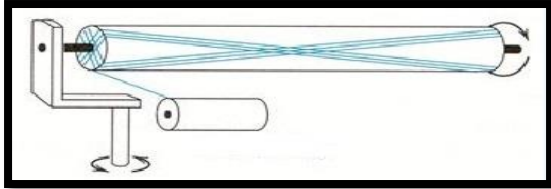
Dalam heliks berliku, mandrel berputar pada kecepatan konstan sementara kereta pakan serat bergerak transverses bolak-balik pada kecepatan yang sudah diatur untuk menghasilkan yang diinginkan sudut heliks seperti yang ditunjukkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.3 Helical Winding

### c.) Polar Winding

Dalam polar winding, serat melewati tangensial untuk pembukaan kutub di salah satu ujung ruangan,berbalik arah, dan melewati tangensial ke sisi berlawanan dari pembukaan kutub di ujung lain. Dengan kata lain,serat dibungkus dari kutub ke kutub, seperti lengan mandrel berputar sekitar sumbu longitudinal seperti pada gambar dibawah ini :



Gambar 2.4 Polar Winding

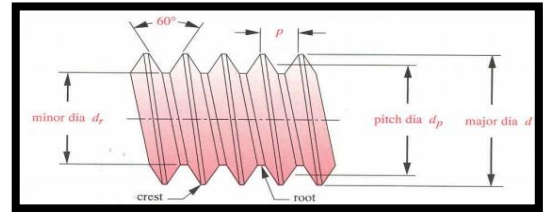
### 1.4 Aplikasi Mesin Filament Winding

Dalam pengaplikasiannya mesin filament winding digunakan untuk membuat berbagai macam komponen diantaranya sebagai berikut :

- Pipa
- Storage tank
- Pressure vessel

### 1.5 Ulir Daya

Perancangan suatu peralatan atau mekanisme yang menggunakan “baut-mur” seperti ini adalah salah satu aspek perancangan elemen mesin yang paling sederhana. Tetapi dalam aplikasi di dunia nyata, keberhasilan dan kegagalan suatu peralatan sering sekali ditentukan oleh kesempurnaan pemilihan dan penggunaan sistem sambungan baut-mur. Penggunaan sambungan (baut-mur, rivet, dll) sangat banyak digunakan dalam dunia mechanical, sehingga bisnis desain dan manufaktur “baut-mur” ini sangat dominan, baik dari kuantitas maupun perputaran uang didalamnya. Sebagai contoh, sebuah pesawat Boeing 747 menggunakan 2,5 juta sambungan (fastener). Tipe dan jenis sambungan dalam dunia komersial sangat banyak variasinya. Dalam diktat ini, pembahasan akan dibatasi dalam design dan pemilihan sambungan konvensional menggunakan ulir, baut, mur dll.



Gambar 2.5 Terminologi geometri ulir

### 2.6 Mekanisme Ulir Daya

Ulir daya (power screw) adalah peralatan yang berfungsi untuk mengubah gerakan angular menjadi gerakan linear dan biasanya juga mentransmisikan daya. Secara khusus, ulir daya digunakan untuk :

- untuk mendapatkan kelebihan mengangkat/menurunkan beban, seperti misalnya pada dongkrak mobil
- untuk memberikan gaya tekan/tarik yang besar seperti misalnya pada kompaktor atau mesin press
- untuk positioning yang akurat seperti pada mikrometer atau pada lead screw mesin bubut.

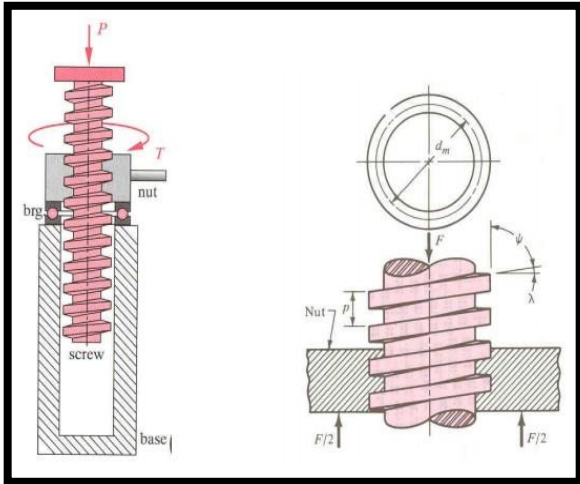
Mengingat fungsi ulir daya, maka profil yang paling tepat dan banyak digunakan adalah profil square, Acme, dan buttress. Profil square memberikan efisiensi yang paling tinggi dan mampu mengeliminasi gaya dalam arah radial. Tetapi profil ini paling sulit dalam proses pembuatannya. Acme thread walaupun efisiensinya lebih rendah, namun lebih mudah dalam pembuatan, dan juga memiliki kekuatan yang lebih tinggi, sehingga profil ini paling banyak digunakan untuk ulir daya. Untuk aplikasi dimana arah beban adalah satu arah dan sangat besar, maka profil buttress lebih cocok digunakan karena memiliki kekuatan paling tinggi pada akar ulir.

### 2.7 Analisa Gaya dan Torsi Ulir Daya

Gambar 2.10 (a) menunjukkan sebuah mekanisme ulir daya yang berfungsi untuk menaikkan dan menurunkan beban P. Beban dapat dinaikkan dan diturunkan dengan memutar nut (mur), jadi lama hal ini gerakan angular mur diubah menjadi gerakan linier screw. Diagram benda bebas pasangan baut-mur ditunjukkan pada gambar (b).

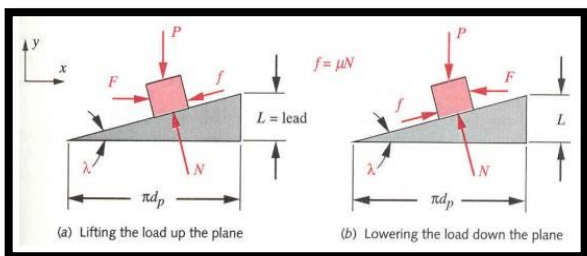
Parameter inklinasi bidang ulir ( $\lambda$ ) juga disebut lead angle dapat dihitung dengan persamaan :

$$\tan \lambda = \frac{L}{\pi d_p} \dots\dots\dots(2.1)$$



Gambar 2.6 (a) mekanisme ulir daya , (b) diagram benda bebas.

Jika kita buka satu lilitan ulir dan dibuat menjadi garis lurus, maka akan hasilnya akan berbentuk seperti gambar 2.11 (a). Kotak menunjukkan potongan ulir dan gaya-gaya yang bekerja padanya pada saat menaikkan beban. Sedangkan gambar (b) menunjukkan diagram benda bebas pada saat menurunkan beban.



Gambar 2.11 Diagram benda bebas : (a) mengangkat beban, (b) menurunkan beban.

Dengan menggunakan prinsip kesetimbangan gaya-gaya dalam arah x dan y maka didapatkan :

$$\Sigma F_x = 0 = F - \cos \lambda - N \sin \lambda = F - \mu N \cos \lambda - N \sin \lambda$$

$$\Rightarrow F = N (\mu \cos \lambda + \sin \lambda)$$

$$\Sigma F_y = 0 = N \cos \lambda - f \sin \lambda - p = N \cos \lambda - \mu N \sin \lambda - P$$

$$\Rightarrow N = \frac{P}{(\cos \lambda - \mu \sin \lambda)}$$

Dimana  $\mu$  adalah koefisien gesekan antara screw dengan mur. Dengan menggabungkan kedua persamaan di atas, maka besarnya gaya F yang diperlukan untuk mengangkat beban adalah

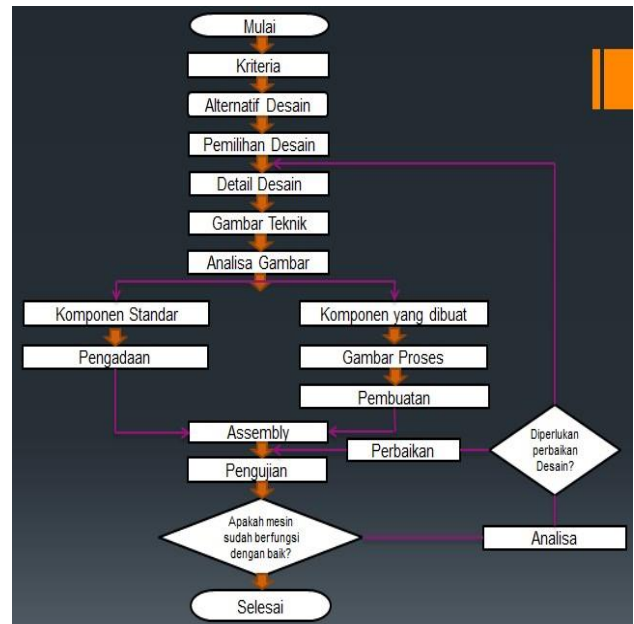
$$F = P \frac{(\mu \cos \lambda + \sin \lambda)}{(\cos \lambda - \mu \sin \lambda)} \dots\dots\dots(2.2)$$

Sehingga torsi Ts yang diperlukan untuk mengangkat beban adalah :

$$T_{su} = F \frac{d_p}{2} = \frac{P d_p (\mu \cos \lambda + \sin \lambda)}{2 (\cos \lambda - \mu \sin \lambda)} \dots\dots\dots(2.3)$$

### 3. PERANCANGAN DAN PEMBUATAN

#### 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alir Proses Penelitian

#### 3.2 Kriteria

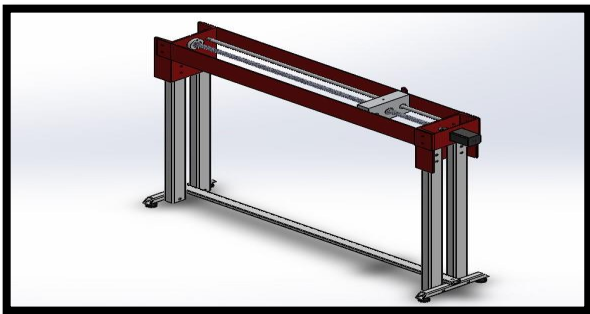
Dalam proses perancangan mesin *filament winding* ini ada beberapa kriteria yang telah ditetapkan dari mesin yang dirancang, adapun kriterinya sebagai berikut :

2. Jenis pola filament winding circumferential winding
3. Panjang maksimal mandrel 1 meter
4. Sistem transmisi menggunakan ulir daya
5. Tinggi mesin filament winding 1 meter

### 3.3 Alternatif Desain

Dalam melakukan proses rancang bangun ini terdapat beberapa alternatif pilihan desain, hal tersebut dimaksudkan agar dapat memilih dan menentukan desain yang sesuai kriteria perancangan. Ada 2 alternatif design yaitu :

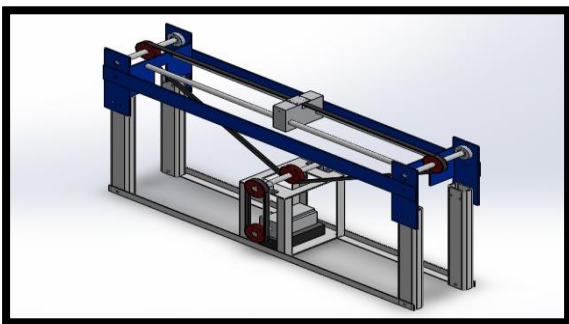
#### 3.3.1 Alternatif A



Gambar 3.2 Alternatif Mesin Filament Winding A

Desain mesin *filament winding* ini menggunakan mekanisme ulir daya (Power Screw) dimana apabila ulir daya diputar maka mata pembagi akan bergerak kekanan dan kekiri. Rangka utama menggunakan profil C sehingga memiliki kekuatan baik untuk menumpu beban yang cukup besar, dan desain alternatif A ini lumayan simpel sehingga memudahkan dalam proses pembuatan dan biaya pembuatan tidak terlalu mahal.

#### 3.3.2 Alternatif B



Gambar 3.3 Alternatif Mesin Filament Winding B

Desain mesin filament winding ini menggunakan mekanisme v-belt, dimana apabila puley diputar maka mata pembagi akan bergerak kekanan dan kekiri yang sebelumnya v-belt di kaitkan/dijepit ke mata pembagi, rangka utama menggunakan plat yang dilas sehingga membentuk profil seperti yang terlihat pada gambar. Desain dari alternatif B ini sedikit rumit karena menggunakan beberapa puley dan v-belt yang cukup panjang sehingga lebih sulit dalam proses pembuatan dan pengadaan komponen, dan biaya pembuatan pun diperkirakan lebih mahal dibanding Alternatif B.

### 3.3 Pemilihan Desain

Pemilihan alternatif desain dilakukan dengan cara penilaian terhadap desain Alternatif A dan Alternatif B berdasarkan kriteria yang diinginkan. Setiap alternatif akan diberikan poin 1 s/d 5 apabila memenuhi kriteria perancangan, dan akan diberi poin 0 bila tidak memenuhi. Alternatif yang mendapatkan nilai tertinggi adalah desain mesin yang dipilih. Hasil penilaian yang dilakukan terhadap desain alternatif A dan Alternatif B dapat dilihat pada tabel 3.1, berdasarkan hasil penilaian maka alternatif yang dipilih adalah desain alternatif A, karena desain tersebut memiliki keunggulan seperti kriteria yang diinginkan.

Tabel 3.1 Penilaian Untuk Menentukan Desain Mesin Filament Winding

Kriteria	Alternatif A	Alternatif B
Memiliki dimensi yang compact	4	5
Komponen standar yang digunakan mudah didapat	4	5
Mudah dalam pengoperasiannya	5	3
Mudah dalam proses pembuatan	5	2
Mudah dalam perakitan	5	2
Tidak terjadi getaran yang besar pada saat beroperasi	5	2
Kemudahan dalam perawatan	5	5
Harga ekonomis	5	2
<b>Total :</b>	<b>40</b>	<b>26</b>



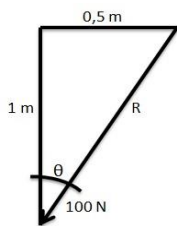
### 3.5 Detail Desain

Detail Desain merupakan data hasil dari proses perancangan dan kunci untuk dilanjutkan pada tahap pembuatan. Adapun spesifikasi hasil dari rancang bangun tensioner untuk proses filament winding terbagi menjadi komponen standar dan komponen yang dibuat, karena hasil rancangan tidak selalu ada di pasaran maka dilakukan pembuatan komponen yang sesuai dengan rancangan.



Gambar 3.4 Detail Mesin Filament Winding

#### 3.5.1 Mencari Gaya Tali



$$R = \sqrt{1^2 + 0,5^2}$$

$$R = \sqrt{1,25}$$

$$R = 1,1 \text{ m}$$

$$\tan \theta = \frac{0,5}{1,1}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{0,5}{1,1}$$

$$\theta = 24,4^\circ$$

$$F_{\text{tali}} = R \sin \theta$$

$$F_{\text{tali}} = 100 \sin 24,4^\circ$$

$$F_{\text{tali}} = 41 \text{ N}$$

### 3.5.2 Menghitung Diameter Rata-rata Ulir

Direncanakan :

Jarak Puncak : 3 mm

Diameter ulir : 20 mm

Putaran : 25 rpm

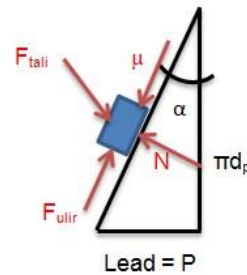
$$dm = d - \frac{p}{4}$$

$$dm = 20 - \frac{3}{4}$$

$$dm = 19,25 \text{ mm}$$

### 3.5.3 Menghitung Gaya Untuk Memutar Ulir

➤ Menghitung kemiringan sudut ulir, ( $\alpha$ ) :



$$P = 3 \text{ mm}$$

$$d_m = 19,25 \text{ mm}$$

$$\alpha = \arctan \frac{p}{\pi \cdot d_m}$$

$$\alpha = \arctan \frac{3}{\pi \cdot 19,25}$$

$$\alpha = 2,9^\circ$$

➤ Gaya untuk memutar ulir, ( $F_{\text{ulir}}$ ) :

\*Koefisien gesek ( $\mu$ ), Aluminium dengan Kuningan : 0,34

$$F_{\text{ulir}} = \frac{F_{\text{tali}} (\mu \cos 2,9^\circ + \sin \alpha)}{(\cos \alpha - \mu \sin 2,9^\circ)}$$

$$F_{\text{ulir}} = \frac{41(0,34 \cos 2,9^\circ + \sin 2,9^\circ)}{(\cos 2,9^\circ - 0,34 \sin 2,9^\circ)}$$

$$F_{\text{ulir}} = 16,3 \text{ N}$$

### 3.5.4 Menghitung Torsi

$$T = F_{\text{ulir}} \cdot r$$

$$T = 16,3 \text{ N} \cdot (0,01 \text{ m})$$

$$T = 0,163 \text{ N.m}$$

### 3.5.5 Menghitung Daya Motor Untuk Memutar Ulir

$$\text{Pulir} = T \cdot \omega$$

6. Kecepatan sudut, ( $\omega$ ) :

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60}$$

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot 25}{60}$$

$$\omega = 2,61 \text{ rad/s}$$

$$\text{Pulir} = 0,163 \text{ N.m (2,61 rad/s)}$$

$$\text{Pulir} = 0,425 \text{ Watt}$$

### 3.6 Analisa Gambar Teknik

Analisa gambar teknik merupakan proses penyerapan informasi bahasa teknik mesin secara mendetail, yang telah dirancang oleh perancang mesin *filament winding* dan akan di kaji lebih lanjut dengan melakukan proses pembuatan alat.

### 3.7 Assembly

Setelah semua komponen selesai dalam pembuatan dan pengadaan komponen maka dilakukan perakitan dari setiap komponen tersebut. Perakitan dilakukan untuk menggabungkan komponen - komponen yang telah dibuat dan komponen standar menjadi suatu produk yaitu *mesin filament winding*.

#### ➤ Uji Coba Alat

Sebelum melakukan pengujian siapkan alat-alat untuk proses pengujian diantaranya mandrel, mesin *filament winding*, tensioner *filament winding* dan mesin bubut.

#### 1. Pemasangan Mandrel

Mandrel sebelumnya di center menggunakan mesin bubut, kemudian mandrel dipasangkan ke mesin bubut untuk proses penggulangan benang. Gambar dibawah menunjukkan mandrel yang sudah dipasang ke mesin bubut.



Gambar 3.5 Pemasangan Mandrel

#### 2. Penempatan mesin filament winding

Mesin *filament winding* ditempatkan posisinya supaya sejajar dengan mesin bubut, agar gerakan mata pembagi pada saat penggulangan dapat melapisi/menutupi semua permukaan mandrel.



Gambar 3.5 Penempatan mesin filament winding

#### 3. Penempatan tensioner mesin filament winding

Tensioner mesin filament winding ditempatkan pada bagian belakang mesin filament winding dan ditempatkan pada posisi center dari posisi mesin filament winding dengan jarak 1 meter.



Gambar 3.6 Penempatan tensioner mesin filament winding

#### 4. Atur kecepatan putar mesin Bubut.

Atur kecepatan putar mesin bubut pada kecepatan 25 rpm, kecepatan tersebut disesuaikan dengan putaran motor dari mesin *filament winding* agar gerakan mata pembagi sesuai dengan proses penggulangan yang di inginkan.

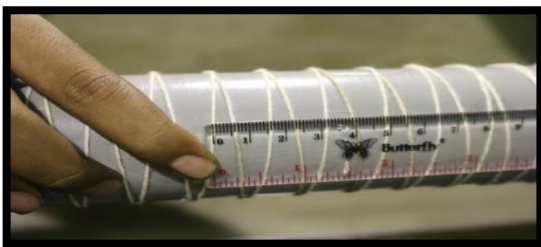


Gambar 3.7 Atur kecepatan putar mesin bubut.

#### Hasil uji coba alat :

- percobaan pertama dengan delay siklus 1
  - Diameter mandrel : 60 mm
  - Panjang mandrel : 500 mm
  - Diameter benang : 1 mm
  - Putaran mesin bubut : 25 Rpm
  - Putaran motor stepper : 153 rpm

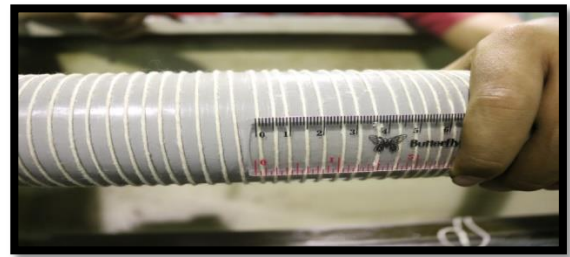
Dari hasil uji coba pada saat penggulangan dengan delay siklus 1 didapatkan lebar bandwith atau jarak antar gang yaitu 15 mm. Gambar dibawah adalah hasil dari pengujian.



Gambar 3.8 Hasil percobaan dengan delay siklus 1

- Percobaan kedua dengan delay siklus 3
  - Diameter mandrel : 60 mm
  - Panjang mandrel : 500 mm
  - Diameter benang : 1 mm
  - Putaran mesin bubut : 25 Rpm
  - Putaran motor stepper : 46,6 Rpm

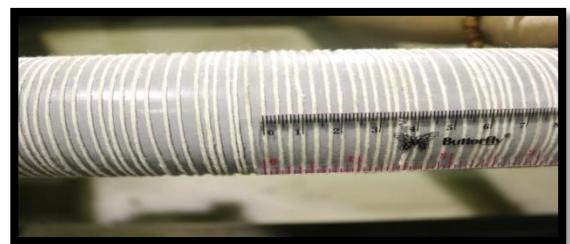
Dari hasil uji coba pada saat penggulangan dengan delay siklus 3 didapatkan lebar bandwith atau jarak antar gang yaitu 5 mm. Gambar dibawah adalah hasil dari pengujian.



Gambar 3.9 Hasil percobaan dengan delay siklus 3

- Percobaan ketiga dengan delay siklus 5
  - Diameter mandrel : 60 mm
  - Panjang mandrel : 500 mm
  - Diameter benang : 1 mm
  - Putaran mesin bubut : 25 Rpm
  - Putaran motor stepper : 33,3 Rpm

Dari hasil uji coba pada saat penggulangan dengan delay siklus 5 didapatkan lebar bandwith atau jarak antar gang yaitu 3 mm. Gambar dibawah adalah hasil dari pengujian.



Gambar 3.10 Hasil percobaan dengan delay siklus 5

## 4. KESIMPULAN DAN SARAN

### 4.1 Kesimpulan

Penyelesaian tugas akhir dapat memberikan banyak pengalaman baik dalam perancangan maupun pembuatan mesin *filament winding*. Dari seluruh kegiatan tersebut dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :



1. Dari hasil perancangan mesin *filament winding* maka didapat data atau spesifikasi mesin seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.1 Spesifikasi mesin filament winding

Spesifikasi Mesin Filament Winding	
Dimensi Mesin	Panjang = 1228 mm
	Lebar = 300 mm
	Tinggi = 1030 mm
Jenis Penggerak	Motor Stepper Dc
	Putaran = 25 rpm
	Daya = 9 Watt
Sistem transmisi	Jenis = Ulir Daya
	Diameter ulir daya = 20 mm
	Pitch = 3 mm
	Panjang = 1050 mm
Sistem Penggulungan	Panjang maksimal mandrel = 1000 mm
	Diameter mandrel = 500 mm
Mikro kontroler	Menggunakan arduino uno

2. Dalam pembuatan mesin *filament winding* ini menghabiskan biaya sebesar Rp.3.429.000.

#### 4.2 Saran

Mesin *filament winding* yang dibuat belum dikatakan sempurna. Hal tersebut diakibatkan adanya keterbatasan biaya dan waktu. Untuk penyempurnaan lebih lanjut, maka disarankan hal-hal sebagai berikut :

1. Pada saat pembuatan mesin *filament winding* sebaiknya menggunakan komponen-komponen yang masih layak digunakan sehingga mesin yang dibuat sesuai dengan yang diharapkan.
2. Disarankan untuk menggunakan motor servo agar gerakan mata pembagi mudah disesuaikan dengan putaran yang ada pada mesin bubut.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Walker. Jack M. Ed. "Manufacturing Engineering". Marcel Dekker, Inc. New York. 1996.
- [2.] Richard. 2015. "Filament Winding Machine Upgrade". <https://grabcad.com/library/filament-winding-machine-upgraded-1>. Diakses 11 Januari 2016
- [3.] Nptel. 2013. "Filament Winding". <http://nptel.ac.in/courses/112107085/module5/lecture7/lecture7.pdf>. Diakses 11 Januari 2016.
- [4.] Siavoshani. 2012. "Unit II Polimer Matrix Composites". <http://www.slideshare.net/siavoshani/59a1-polymer-matrix-composites>. Diakses pada 11 Januari 2016.
- [5.] Mas mukti. 2011. "Bab 08 Perancangan ulir daya dan sambungan baut". <https://masmukti.files.wordpress.com/2011/10/bab-08-ulir1.pdf>. Diakses 11 Januari 2016.
- [6.] Fahmi. 2016. "perbedaan motor stepper dengan motor servo". <http://zulfahmi97.hol.es/2016/05/perbedaan-motor-stepper-dengan-motor-servo/>. Diakses pada 11 Januari 2016.
- [7.] Pemuda minangkabau. 2013. "pengertian mikrokontroler". <https://pemuda.minangkabau.wordpress.com/2013/02/28/pengertian-mikrokontroler-atmega8535/>. Diakses 11 Januari 2016.
- [8.] Peters. S. T. Ed. "Composites". CHAPMAN & HALL. London.1998.
- [9.] Heri Ardianto dan Aan Darmawan. "Arduino (Belajar cepat dan pemrograman)". Informatika Bandung. 2016.

# LAMPIRAN

