

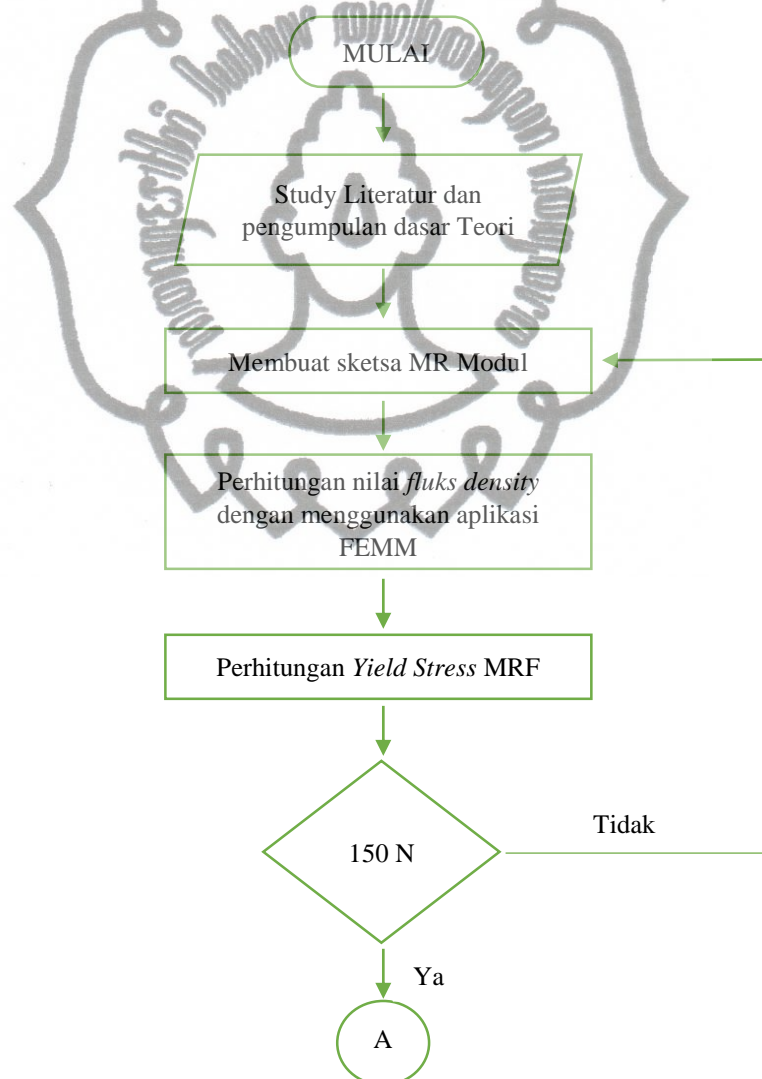
### BAB III

#### METODOLOGI PENELITIAN

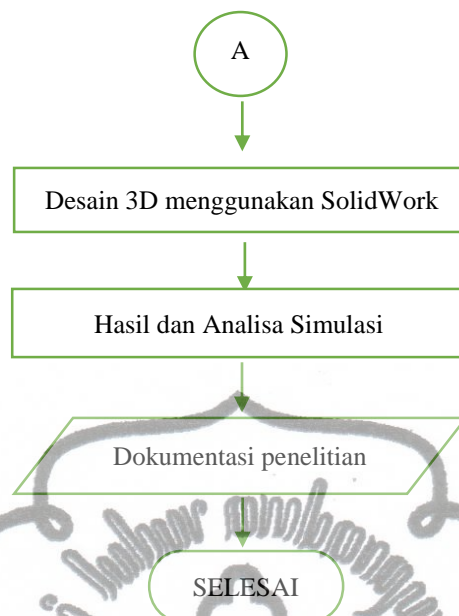
Pada bab sebelumnya telah dibahas dasar teori aplikasi material MRF, maka pada bab ini akan dijelaskan mengenai metode penelitian agar mencapai hasil yang diharapkan. Penjelasan mengenai tahap-tahap penelitian, bahan, metode akan dijelaskan secara detail pada bab ini.

#### 3.1. Tahapan Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan melalui tahap-tahapan yang ditunjukkan oleh gambar diagram alur sebagai berikut:



Gambar 3-1. Diagram Alir Penelitian (Bersambung)



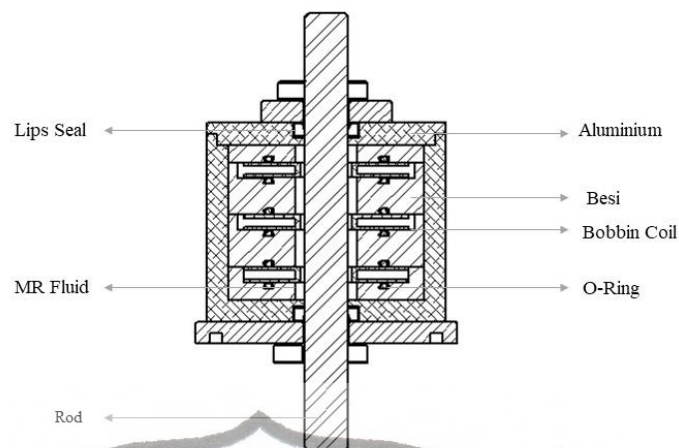
Gambar 3-1. Diagram Alir Penelitian

### 1. Studi Literatur

Studi Literatur dilakukan untuk memperkuat penulis dalam memahami dasar-dasar desain MRF dan pemanfaatannya dalam bidang peredam getaran. Studi Literatur diperoleh dari jurnal-jurnal yang telah dipublikasi dan melalui beberapa buku pegangan yang telah dipelajari oleh penulis.

### 2. Desain *MR Modul*

Pada prinsipnya peredam getaran mengubah energi kinetik menjadi energi panas dengan memanfaatkan gesekan yang terjadi di dalam fluida. Hal ini juga yang dimanfaatkan pada MRF dengan bantuan arus magnetik. Desain MR Modul akan memanfaatkan prinsip peredam getaran dengan penggunaan MRF yang cukup sedikit. Berikut ini adalah desain struktur MR Modul.



Gambar 3-2. Desain Struktur Modul MRF

MR Modul pada dasarnya tersusun oleh beberapa komponen diantaranya, oli MRF, rod, cangkang, penutup cangkang, *O-ring seal*, *Lip Seal*, *Bobbin Coil*, area efektif dan kumparan kawat. Material-material tersebut dirancang sedemikian rupa hingga fluks magnetic dapat melewati fluida secara tegak lurus terhadap arah pergerakan rod. Jalur fluida dapat ditentukan dengan pemanfaatan material yang bersifat magnetik dan material dengan sifat non magnetic. Berikut ini adalah komponen penyusun Modul MRF, yaitu:

a. Cangkang

Cangkang merupakan salah satu komponen dalam desain Modul MRF. Cangkang didesain dengan material Aluminium, penggunaan material ini dimaksudkan untuk menjaga aliran fluks magnetic yang dihasilkan tidak keluar dari desain yang telah dibuat. Selain itu fungsi lain dari cangkang adalah sebagai wadah untuk komponen-komponen lain agar arah aliran fluks magnetic dapat memotong tegak lurus MRF.

b. Penutup Cangkang

Penutup Cangkang digunakan sebagai penutup Modul MRF dan sebagai tempat dimana Lips Seal dipasang. Material yang digunakan dalam desain penutup cangkang adalah aluminium. Pemilihan material ini digunakan bertujuan untuk mencegah aliran fluks magnetic tidak keluar dari desain dan dapat melewati jalur yang telah disediakan.

c. Kawat Tembaga 28 AWG

Kawat tembaga merupakan komponen yang cukup penting dalam pembuatan desain MRF, hal ini dikarenakan kawat tembaga berfungsi untuk menciptakan medan elektromagnetik jika dialiri oleh arus listrik. Pada umumnya pemilihan kawat tembaga berdasar pada nilai arus maksimal yang melalui tembaga tersebut. Berikut ini adalah tabel spesifikasi *American Wire Gauge* (AWG).

Tabel 3-2. Tabel Spesifikasi *American Wire Gauge* (AWG)

AWG	Diameter kawat (mm)	$\Omega/\text{Km}$	Arus listrik maksimum (A)
22	0.645	52.93	7
23	0.574	66.78	4.7
24	0.51	84.19	3.5
25	0.456	106.17	2.7
26	0.403	133.85	2.2
27	0.36	168.82	1.7
28	0.32	212.87	1.4
29	0.287	268.40	1.2
30	0.254	338.49	0.86
31	0.226	426.72	0.7
32	0.203	538.24	0.53

d. O- Ring Seal

*O-Ring Seal* pada desain digunakan untuk menjaga cairan MRF agar tidak keluar dari tempat yang telah disediakan, oleh karena itu *o-ring seal* dipasang pada setiap celah antara area efektif dengan area efektif serta antara penutup cangkang dengan area efektif. Selain itu juga kegunaan dari *o-ring seal* ini adalah agar cairan MRF tidak masuk ke dalam bobbin coil sehingga tidak menimbulkan *short*. Bahan yang digunakan menggunakan material karet.

e. Lip Seal

Penggunaan Lip Seal dalam desain ini bertujuan untuk menjaga cairan MRF tidak keluar dari desain yang telah ditentukan. Selain itu kegunaan lip seal juga bertujuan agar rod tetap berada pada posisi tengah. Material yang digunakan pada *lip seal* ini adalah *Polyurethane (PU)* dimana bahan ini cukup baik digunakan jika kontak dengan cairan MRF. Berikut ini adalah tabel material yang dapat digunakan untuk cairan MRF.

Tabel 3-3. Data Material *Lord Cooperation*[33]

	<b>MRF-122EG</b>	<b>MRF-132DG</b>	<b>MRF-140CG</b>
<b>MATERIAL DASAR</b>	Hydrocarbon	Hydrocarbon	Hydrocarbon
<b>KEMAMPUAN</b>			
<b>Buna N (Nitrile)</b>	Baik	Baik	Baik
<b>Butyl</b>	Buruk	Buruk	Buruk
<b>EPDM/EPR</b>	Buruk	Buruk	Buruk
<b>Fluoroelastomer</b>	Baik	Baik	Baik
<b>Natural Rubber</b>	Buruk	Buruk	Buruk
<b>Neoprene</b>	Baik	Baik	Baik
<b>Silicone</b>	Cukup	Cukup	Cukup
<b>Iron</b>	Baik	Baik	Baik
<b>Stainless Steel</b>	Baik	Baik	Baik
<b>Aluminum</b>	Baik	Baik	Baik
<b>Polyurethane</b>	Baik	Baik	Baik
<b>SISTEM TERBUKA/TERTUTUP</b>	Terbuka/ Tertutup	Terbuka/ Tertutup	Terbuka/ Tertutup
<b>Viskositas</b>			
<b>Pa-s @40 C (104 F)</b>	0.061-0.070	0.92-0.015	0.280-0.070

## f. Rod

Rod pada desain modul MRF digunakan material berbahan magnetic. Rod pada desain kali ini akan bergerak secara tegak lurus terhadap arah aliran fluks magnetic yang telah didesain.

## g. Area Efektif

Area Efektif digunakan untuk menjadi jalur aliran fluks magnetik. Material yang digunakan adalah material yang memiliki sifat magnetik, oleh karena itu material yang digunakan adalah besi. Material besi dipilih karena memiliki sifat magnetik yang cukup tinggi. Dari komponen area efektif, bagian yang menjadi tempat area efektif adalah bagian yang berhubungan langsung dengan material MRF.

#### h. Bobbin Coil

Bobbin coil merupakan wadah yang didesain sebagai tempat lilitan kawat tembaga, dimana koil tersebut menggunakan 28AWG. Material yang digunakan dalam membuat bobbin coil adalah material yang bersifat non magnetic. Hal ini bertujuan agar aliran fluks magnetic dapat mengalir melalui area efektif yang telah ditentukan.

### 3. Simulasi MR Modul pada Aplikasi FEMM

Perhitungan nilai fluks density dilakukan dengan menggunakan aplikasi FEMM (*finite element method magnetics*). Hal ini dilakukan dikarenakan menggunakan aplikasi dapat memberikan hasil yang lebih presisi dan akurat. Perhitungan nilai fluks density dipengaruhi oleh material yang digunakan dalam desain, dimensi material, karakteristik dan properti material. Dikarenakan banyak variabel yang mempengaruhi hasil dari perhitungan fluks density, penggunaan FEMM diperlukan.

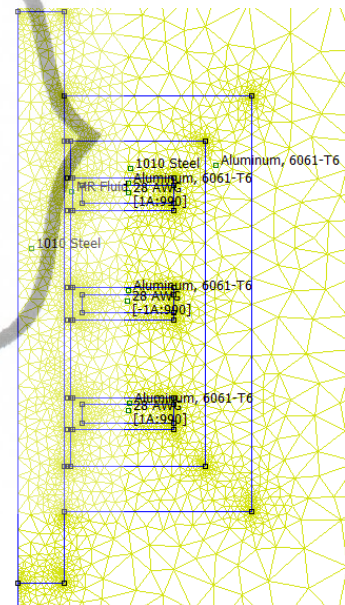
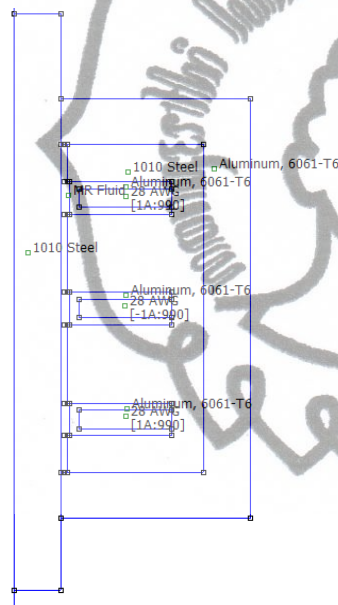
Simulasi yang digunakan untuk menghitung nilai fluks magnetic dari desain yang dibuat adalah FEMM (*Finite Element Method Magnetic*). Simulasi dimulai dengan menggambar desain 2 dimensi dalam program FEMM. Lalu setelah desain sudah selesai, dilakukan pengaturan simulasi menggunakan permasalahan magnetik asiksismetrik. Setelah itu dilakukan, hal selanjutnya yang dilakukan adalah pemilihan material di setiap part desain. Pemilihan material ini sangat penting dilakukan karena akan menentukan hasil aliran *fluks magnetic*.

Pemilihan bahan dalam desain sangat penting dilakukan. Pemilihan bahan akan menentukan nilai fluks magnetic serta persebaran fluks magnetic (Gambar 3-3). Pada gambar telah dijelaskan bahwa beberapa komponen terbuat dari material magnetic seperti area efektif dan rod yang terbuat dari besi. Selain itu juga terdapat komponen yang terbuat dari material non magnetic seperti seal, o-ring, cangkang, penutup cangkang dan bobbin coil. Melalui desain dan jenis material yang digunakan, dapat mengatur aliran fluks magnetic sehingga dapat memotong MRF secara tegak lurus. Hal tersebut sesuai dengan dasar teori mengenai mode *Yield-induced Force* MRF yang aktif saat fluks magnetik memotong secara tegak lurus.



Setelah semua parameter diterapkan dan program simulasi telah diatur, maka tahap selanjutnya dilakukan *meshing*. Proses ini berguna untuk membagi geometri dari model yang telah dibuat menjadi elemen-elemen dalam jumlah banyak yang nantinya elemen tersebut akan dihitung oleh *solver* dalam proses simulasi (Gambar 3-4). Semakin banyak (halus) jumlah elemen maka, lebih detail dan presisi hasil yang diberikan. Berikut ini adalah hasil *meshing* desain *MR Modul*.

Setelah dilakukan *meshing*, langkah selanjutnya adalah proses simulasi. Proses simulasi yang dilakukan bertujuan untuk mengetahui arah aliran *fluks density* (B). Proses simulasi dilakukan dengan arus yang diberikan. Variasi arus yang diberikan adalah 0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1 Ampere. Perbedaan arus ini bertujuan untuk mengetahui nilai *fluks density* yang dihasilkan dengan perbedaan arus.



Gambar 3-3. Gambar Sketsa Desain FEMM      Gambar 3-4. Gambar *Meshing* FEMM

#### 4. Perhitungan *Damping Force MR Modul*

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai gaya redaman yang terdapat pada desain MR Modul. Untuk memperoleh nilai tersebut harus melalui beberapa tahap perhitungan yang dilakukan. Pada umumnya nilai gaya redaman mode geser MRF dirumuskan sebagai berikut:

$$F_{Total} = F_{\eta} + F_{\tau} \quad (1)$$

Dimana nilai  $F$  Total merupakan penjumlahan dari nilai redaman pada saat *Velocity-induced Force* ( $F\eta$ ) dan nilai redaman pada saat *Yield-induced Force* ( $F\tau$ ). Pada penelitian ini keadaan *Velocity-induced Force* merupakan keadaan dimana MRF tidak dialiri arus magnetic. Sedangkan kondisi *Yield-induced Force* merupakan kondisi dimana MRF diberikan arus magnetic.

Pada keadaan *Velocity-induced Force* dan *Yield-induced Force* nilai gaya redaman dapat dihitung dengan menggunakan rumus [1]:

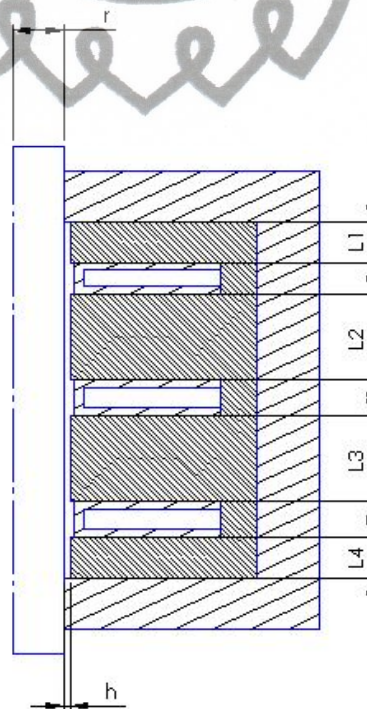
$$F\eta = \frac{\eta A}{h} v_0 \quad (2)$$

$$F\tau = \sum \eta A \tau_0 \operatorname{sgn}(v_0) \quad (3)$$

Dimana  $\eta$  merupakan viskositas MRF (Pa.s). Nilai  $v_0 \operatorname{sgn}$  merupakan indeks yang menyatakan kecepatan rod dimana ketika naik akan bernilai positif saat turun bernilai negatif.

$$A = wL \quad (4)$$

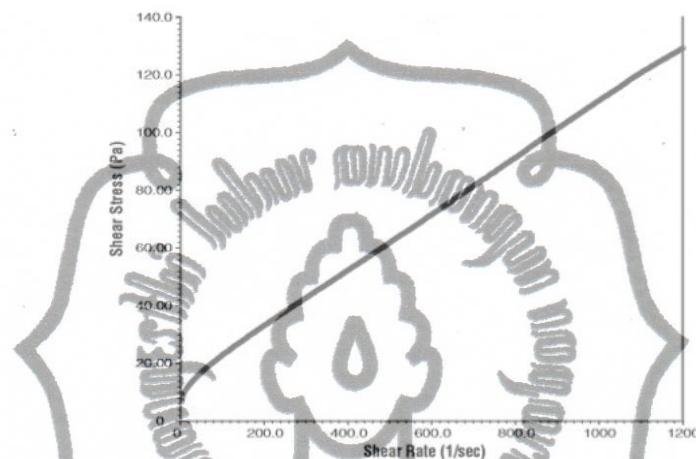
Nilai  $A$  merupakan area efektif ( $\text{m}^2$ ). Nilai luas area efektif dapat dicari dengan mengetahui nilai dari Panjang area efektif ( $w$ ) dengan lebar area efektif ( $L$ ). Dalam penelitian ini nilai  $L$  dibagi menjadi 4 Zona seperti pada gambar di bawah ini.



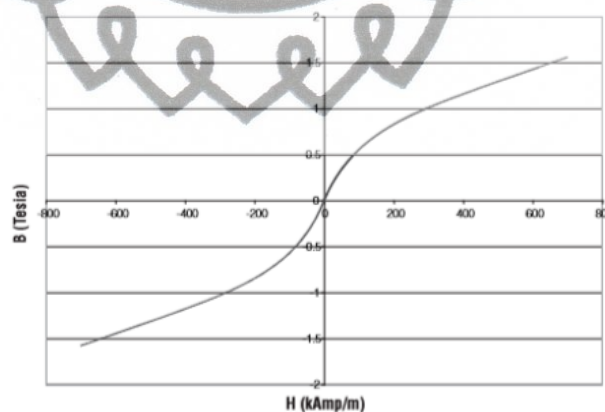
Gambar 3-5. Panjang Area Efektif



Nilai  $\tau_0$  merupakan nilai tegangan luluh MRF. Setiap MRF memiliki nilai tegangan luluh yang berbeda-beda, oleh karena itu dibutuhkan data spesifikasi MRF. Pada penelitian ini digunakan data spesifikasi MRF jenis *MRF132DG* yang dikeluarkan oleh *LORD Corporation* [3]. Data teknis yang diberikan berupa grafik hubungan antara *shear rate* dan *shear stress* (Gambar 3-6). Selain itu juga terdapat grafik hubungan antara *yield stress* dengan medan magnet (Gambar 3-7).



Gambar 3-6. Grafik Hubungan Antara Shear Rate Dan Shear Stress[3]



Gambar 3-7. Grafik Hubungan Antara Yield Stress Dengan Medan Magnet[3]

Table 3-2. Data Properti MRF-132DG [3]

DATA PROPERTIES MRF-132DG	
Appearance	Dark Gray Liquid
Viscosity, Pa-s @ 40°C (104°F)	0.112 ± 0.02
Calculated as slope 800-1200 sec-1	

Density (g/cm <sup>3</sup> )	2.95-3.15
Solids Content by Weight, %	80.98
Flash Point, °C (°F)	>150 (>302)
Operating Temperature, °C (°F)	-40 to +130 (-40 to +266)

Dari data tersebut diperoleh rumus polinomial sebagai berikut [34] [35]:

$$\tau_y(B) = \begin{cases} -58.92B^3 + 74.66B^2 + 35.74B - 3.387, & \text{for } \tau_y(B) > 0 \\ 0, & \text{for } \tau_y(B) \leq 0 \end{cases} \quad (5)$$

Untuk memperoleh nilai fluks densitas magnetik (B) diperlukan aplikasi FEMM. Hal ini dikarenakan nilai yang dihasilkan oleh aplikasi lebih akurat dan dapat dipertanggungjawabkan. Nilai fluks magnetik digunakan untuk menjadi dasar perhitungan nilai tegangan luluh yang dihasilkan pada desain [36], [37].

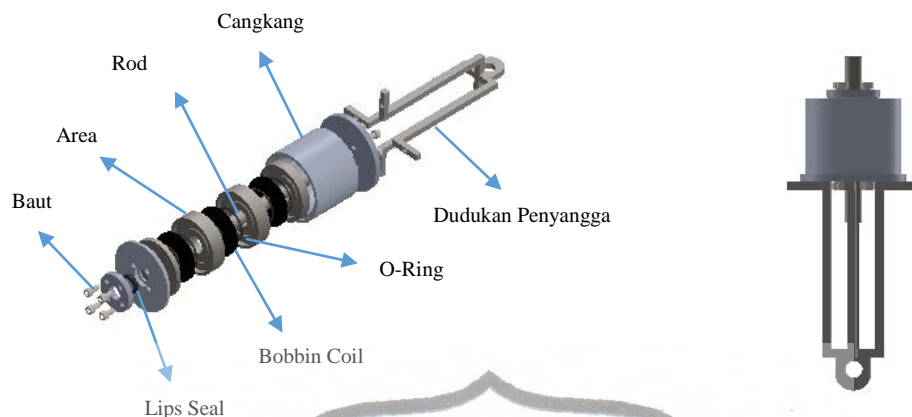
Untuk melakukan perhitungan dengan baik, diperlukan parameter-parameter perhitungan. Parameter yang digunakan dalam desain MR Modul telah ditentukan. Parameter yang digunakan adalah sebagai berikut:

Table 3-3. Tabel Parameter MR Modul

Parameter	Keterangan	Satuan	Nilai
$\eta$ (MRF132DG)	Fluid Viscosity	Pa s	0.112
W	Width of Effective Area	m	0.0675
L	Length of Effective Area	mm	50
Vo	Rod Velocity	m/s	0.1
h	Channel gap	mm	1.5
d	Diameter Rod	mm	20

## 5. Desain 3D SolidWorks

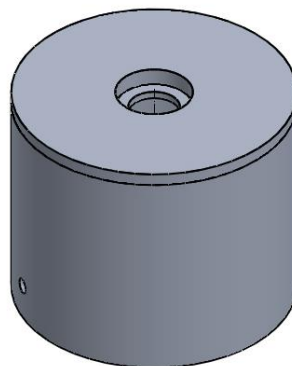
Desain 3D MR Modul menggunakan Aplikasi SolidWorks 2018. Dalam desain yang telah dibuat terdapat 13 jenis part yang berbeda dengan jumlah 29 komponen, seperti pada gambar di bawah ini. Berikut adalah spesifikasi part yang digunakan dalam desain MRF Linier Brake.



Gambar 3-8. Desain 3D *MRF Linier Brake*

a. Cangkang

Dalam penelitian yang dilakukan penentuan dimensi cangkang dan pemilihan bahan sangat penting. Dimensi cangkang dipilih dengan diameter sebesar 110mm dan tinggi sebesar 91mm dengan ketebalan cangkang sebesar 10mm. Dimensi ini dipilih karena fungsi dari cangkang itu sendiri adalah untuk menjaga aliran fluks magnetic agar tidak keluar dari system yang telah didesain. Selain dimensi, material yang digunakan juga berpengaruh. Material aluminium dipilih karena cangkang digunakan untuk menjaga aliran fluks magnetic. Berikut ini adalah desain dari Cangkang MR Modul.

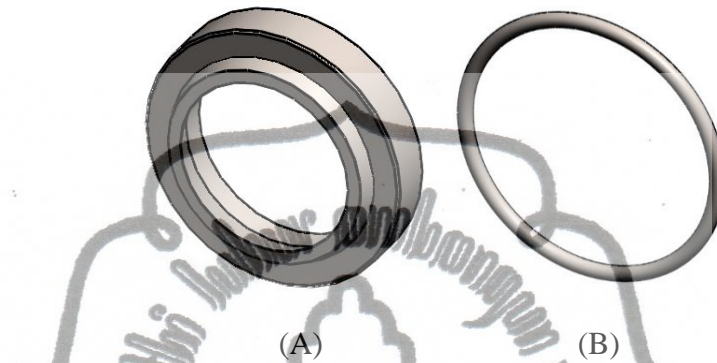


Gambar 3-9. Desain Cangkang *MR Modul*

b. Lip Seal & O-Ring Seal

Lip seal dan O-ring Seal digunakan untuk menjaga Cairan MR agar tidak keluar dari tempat yang telah dibuat. Lip Seal yang digunakan terbuat dari bahan

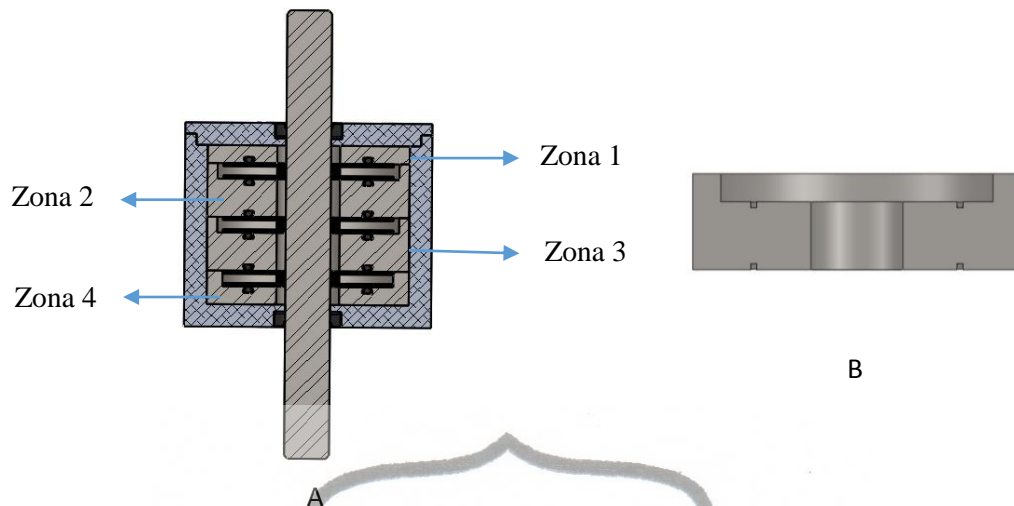
*Nitrile butadiene rubber* (NBR) dengan dimensi ID sebesar 20mm dan OD sebesar 25mm. Pemasangan Lip Seal ini digunakan pada sambungan antara rod dengan cangkang, hal ini bertujuan agar MRF tidak keluar saat rod bergerak linier. Selain itu juga digunakan O-Ring dengan spesifikasi P32, dimana dimensi ID O-ring adalah 32mm dan memiliki ketebalan sebesar 1.8mm. Berikut ini adalah gambar Lips Seal dan O-ring Seal.



Gambar 3-10. (A) Lips Seal (B) O-Ring Seal

c. Area Efektif

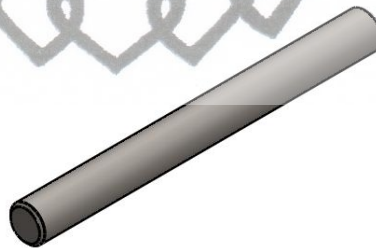
Area Efektif dalam desain difungsikan untuk menjadi jalur untuk aliran fluks magnetic. Fluks magnetik ini berfungsi untuk mengaktifkan kemampuan reologi MRF. Dalam desain ini, Area Efektif dibagi menjadi 4 zona. Setiap zona yang ada memiliki dimensi yang berbeda-beda. Perbedaan tersebut hanya pada dimensi L dan tinggi, sedangkan untuk diameter area efektif memiliki dimensi yang sama. Area Efektif dibuat dari material besi. Material ini dipilih karena besi memiliki sifat magnetik yang cukup kuat sehingga dapat digunakan sebagai jalur untuk aliran fluks magnetik.



Gambar 3-11. A) Gambar Zona Area Efektif B) Gambar Perbesaran Area Efektif

d. Rod

Dalam penelitian ini, rod memiliki dimensi diameter sebesar 20mm. Panjang rod yang digunakan memiliki dimensi 200mm Jenis material yang digunakan harus memiliki sifat magnetik, oleh karena itu digunakan besi sebagai material rod.



Gambar 3-12. Rod *MR Modul*

e. Bobbin Coil

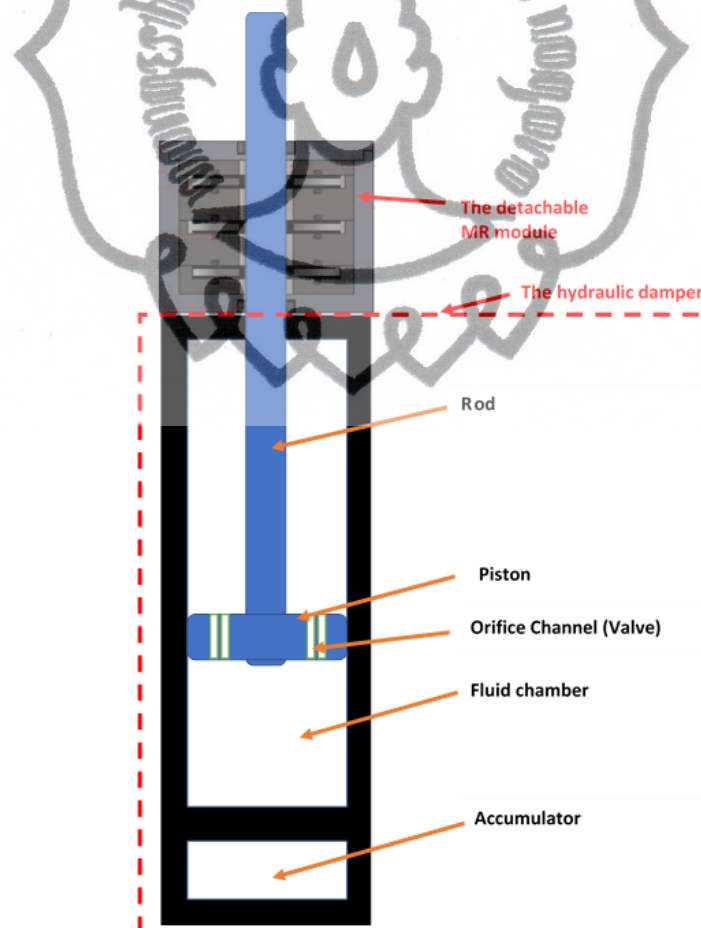
Bobbin coil digunakan sebagai media untuk lilitan kawat tembaga. Bobbin coil memiliki ketebalan 1.5mm. Sedangkan menggunakan material jenis Aluminium, hal ini dimaksudkan agar bobbin coil tidak mengganggu jalur fluks magnetik yang dihasilkan oleh kawat tembaga tersebut.



Gambar 3-13. Bobbin Coil *MR Modul*

## 6. Penggunaan MR Modul

Pada prinsipnya MR Modul digunakan untuk *kit add on* pada damper konvensional. Sehingga tanpa perlu mengubah struktur utama damper konvensional, modul ini dapat digunakan dengan cukup dipasangkan pada damper konvensional. Pemasangan MR Modul dipasangkan pada rod damper konvensional. Pemasangan MR Modul akan dijelaskan oleh gambar dibawah ini.



Gambar 3-14. Penggunaan MR Modul pada damper konvensional