

BAB II

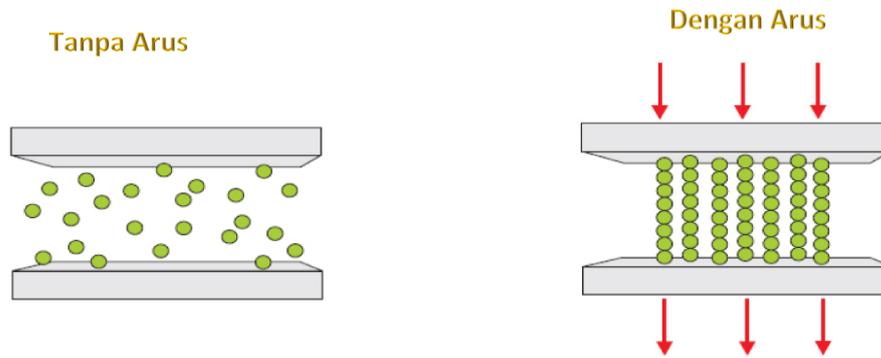
LANDASAN TEORI

Sistem peredam kejut semakin berkembang di era modern ini. Beberapa penelitian muncul untuk meningkatkan performa dari peredam kejut, salah satunya adalah peredam berbasis *Magnetorheological fluid* (MRF). Sistem peredam berbasis MRF termasuk dalam sistem peredam semi-aktif. Untuk lebih memahami peredam kejut berbasis MRF maka pada BAB ini akan dijelaskan mengenai MRF dan sistem peredam MRF.

2.1. Magnetorheological Fluid (MRF)

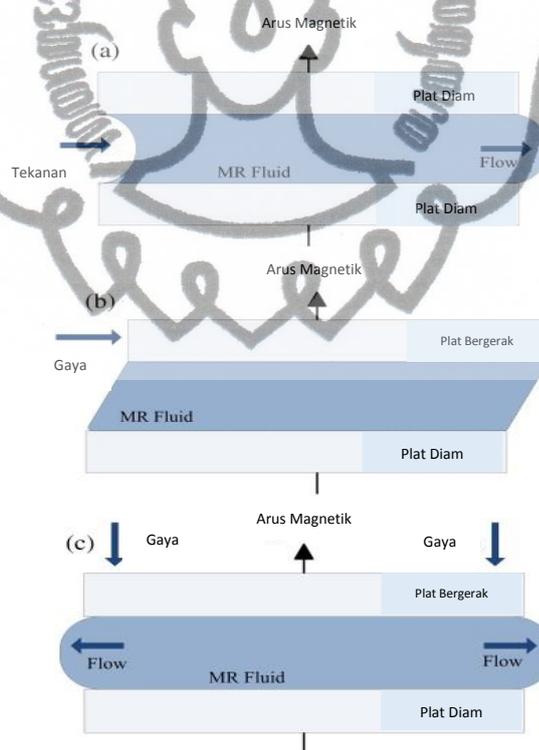
MRF adalah salah satu *Smart Material* yang dapat merubah karakteristiknya jika diberikan medan magnet. MRF dapat berubah dari keadaan cair menjadi semi-solid saat diberikan medan magnet yang kuat seperti yang terlihat pada gambar 2-1. Hal ini disebabkan karena struktur utama penyusun dari MRF adalah oli, campuran dari partikel besi yang berukuran mikro dan beberapa campuran zat adiktif lainnya [1], [6], [15]. Partikel besi yang terkandung dalam MRF berukuran $0.5 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$ [16],[17], [18].

Partikel yang terkandung di dalam MRF harus memiliki sifat magnetisasi yang tinggi [19], [20]. Salah satu material yang terkandung dalam campuran MRF adalah *Carbonyl Iron Particle*. Pada saat tidak dikenai medan magnet partikel-partikel besi yang terdapat pada MRF akan bergerak bebas, sedangkan saat diberikan medan magnet yang cukup kuat, partikel-partikel besi yang terkandung pada MRF akan membentuk susunan yang rapat sehingga MRF berubah menjadi bentuk semi-solid dengan waktu yang sangat cepat. Menurut Jeong-Hoi dalam penelitiannya, respon waktu yang diperlukan MRF adalah kurang dari 10 ms, tergantung dari besar arus yang diberikan, bentuk system elektronik dan kecepatan yang bekerja pada sistem [21].



Gambar 2-1. Respon MRF tanpa medan magnet dan dengan medan magnet

Secara umum MRF mengalami tiga bentuk deformasi yaitu *squeeze mode*, *shear mode* dan *flow mode* [22]. Dalam semua keadaan, pada prinsipnya MRF selalu berada diantara 2 plat yang memiliki sifat magnetik sebagai media yang digunakan agar fluks magnetik yang diberikan memotong tegak lurus terhadap plat yang menjepit MRF. Seperti yang ditunjukkan oleh gambar 2-2.



Gambar 2-2. a) Flow Mode (b) Shear Mode (c) Squeeze Mode

2.1.1. Flow Mode

Pada keadaan *flow mode* (mode aliran) dua pelat yang sejajar dalam keadaan stasioner, karena adanya gaya dari luar yang diberikan kepada MRF maka terjadi

aliran yang melewati 2 plat yang sejajar tersebut seperti ditunjukkan pada gambar 2.2 (a). Pada mode ini ada dua struktur utama yang dapat diidentifikasi yaitu celah annular dan celah radial. Mode ini paling banyak digunakan dalam aplikasi dari MRF diantaranya digunakan sebagai kontrol hidrolis, shock absorber dan lain-lain.

Perhitungan nilai gaya redaman dalam desain katup mode aliran memiliki dua jenis perhitungan, yaitu radial dan annular. Dalam kondisi sama, desain radial gap memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan annular gap [23].

2.1.2. Squeeze Mode

Prinsip kerja *squeeze mode* adalah dua plat yang menjepit MRF akan diberikan gaya yang sejajar dengan arah arus fluks magnetis sehingga akan menekan MRF seperti gambar 2.2.(b). Saat dalam keadaan semi-solid, MRF yang terkena kompresi akan berubah bentuk hal ini disebut dengan *squeeze mode* [1], [22]. Mode ini sering digunakan untuk meredam gerakan kecil atau perpindahan kecil sepertiudukan mesin atau perangkat penekan getaran [19].

2.1.3. Shear Mode

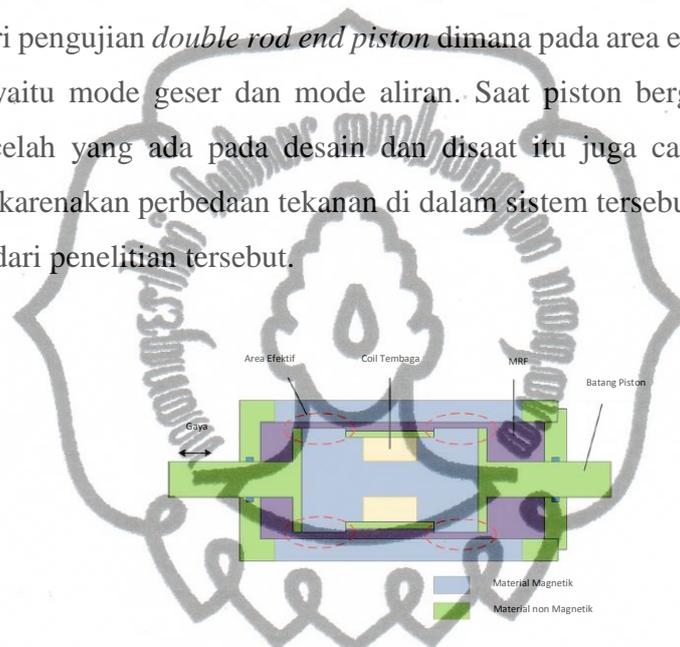
Pada keadaan *shear mode* (mode geser), salah satu pelat yang menjepit MRF akan bergerak atau bergeser secara tegak lurus terhadap arah aliran fluks magnetik, sehingga saat keadaan semi solid, MRF yang bergeser akan berubah bentuk dan oleh para peneliti disebut dengan mode geser. Terdapat dua kategori dalam mode geser ini, mode geser langsung dan mode geser transional [23].

Mode ini sering diaplikasikan untuk kopling, rem, peredam dan lain sebagainya. Aplikasi yang banyak ini dikarenakan kemampuan MRF yang dengan cepat dengan adanya medan magnet sehingga dapat menahan plat yang bergerak. Kemampuan ini yang dimanfaatkan untuk rem dan kopling. Penelitian tentang mode geser sudah pernah dilakukan oleh Kulkarni dkk dengan istilah lain torsional mode [24]. Dalam beberapa penelitian banyak asumsi yang diberikan pada mode geser seperti MRF tidak dapat dimampatkan, nilai tegangan luluh MRF konstan dan merata di setiap bagian, gerak fluida laminar dan stabil serta gaya sentrifugal diabaikan [25].

2.1.4. Mixing Mode

Selain tiga mode dasar, terdapat mode tambahan yaitu mode campuran. Mode campuran adalah mode gabungan antara 2 mode dasar yaitu *flow-squeeze mode*, *shear-squeeze mode* dan *flow-shear mode* [1], [26]. Dalam mode campuran perhitungan terjadi pada area efektif yang sama. Beberapa peneliti telah melakukan penelitian tentang berbagai mode campuran.

Seperti pada penelitian yang dilakukan oleh Cho dan Sung[27] dimana mereka mempelajari fenomena *flow-shear mode*. Dalam penelitiannya, ia mempelajari pengujian *double rod end piston* dimana pada area efektif terdapat dua fenomena yaitu mode geser dan mode aliran. Saat piston bergerak mode geser terjadi di celah yang ada pada desain dan disaat itu juga cairan MR didalam mengalir dikarenakan perbedaan tekanan di dalam sistem tersebut. Berikut gambar 2-3 desain dari penelitian tersebut.



Gambar 2-3. Desain percobaan Shear-Flow mode

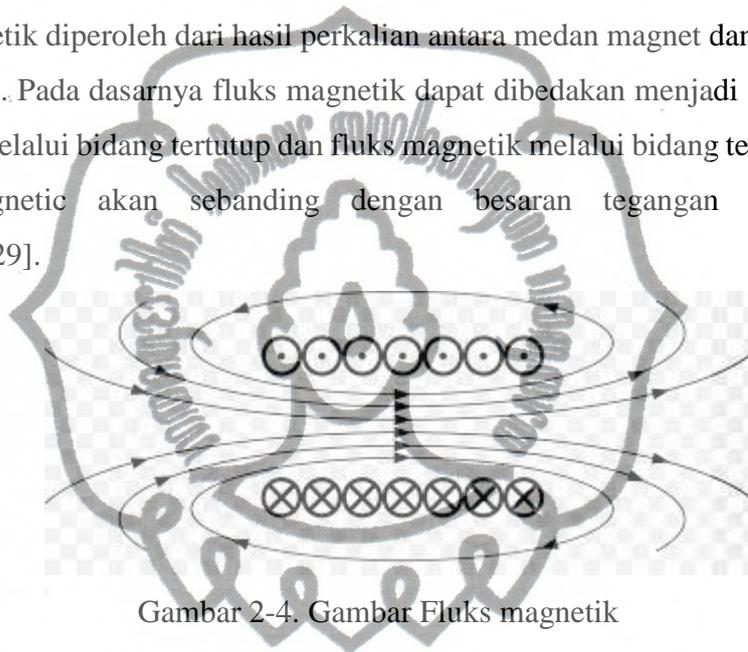
Selain itu penelitian tentang *Squeeze-Flow mode* juga sudah dilakukan. Beberapa peneliti meyakini bahwa *squeeze-flow mode* tidak dapat dipisahkan. Hal ini dikarenakan saat plat menekan MRF akan terdapat pergerakan aliran secara tegak lurus terhadap arah gaya yang ada. Dua fenomena ini terjadi pada area efektif yang sama, sehingga para peneliti meyakini bahwa dua fenomena ini tidak bisa dipisahkan.

Konsep *Squeeze-Share mode* sudah dilakukan oleh Farjoud dkk [28]. Perhitungan pada konsep ini juga dilakukan pada area efektif yang sama saat terjadi *squeeze* dan *share mode*. Konsep ini lebih dikenal dengan nama torsional shear. Pada konsep mode campuran ini membuktikan bahwa gaya redaman yang diberikan memberikan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan mode tunggal.

2.2. Fluks Magnetik

Fluks magnetic adalah ukuran atau jumlah medan magnet (B) yang melewati luas penampang tertentu. Satuan untuk fluks magnet adalah weber (wb) yang merupakan turunan dari volt-detik. Nilai fluks magnetik yang melalui bidang tertentu akan memiliki nilai yang sebanding dengan medan magnet yang melalui bidang tersebut.

Jika medan magnet seragam melalui bidang dengan tegak lurus maka nilai fluks magnetik diperoleh dari hasil perkalian antara medan magnet dan luas bidang yang dilalui. Pada dasarnya fluks magnetik dapat dibedakan menjadi 2 yaitu fluks magnetik melalui bidang tertutup dan fluks magnetik melalui bidang terbuka. Besar Fluks magnetic akan sebanding dengan besaran tegangan luluh yang dihasilkan[29].



Gambar 2-4. Gambar Fluks magnetik

2.3. Material

Pemilihan material dalam pembuatan sebuah alat menjadi bagian yang cukup penting. Hal ini dikarenakan setiap material memiliki sifat dan kegunaan yang berbeda-beda. Untuk mendapatkan hasil yang maksimal dari sebuah desain perlu dilakukan pemilihan material berdasarkan sifat dan kegunaan material itu sendiri. Pemilihan material juga dilakukan dalam menentukan desain dari struktur alat MRF.

Alat yang mengandung MRF dalam sistem utamanya tidak dapat digunakan dengan material yang tidak tepat. Hal ini karena MRF memiliki sifat yang unik dan sensitif terhadap respon dari luar khususnya medan magnet. Material utama dari alat yang mengandung MRF adalah material yang memiliki sifat magnetik, non magnetik dan *seal* (pelindung kebocoran liquid).

2.3.1. Material Magnetik

Material magnetik adalah material yang dapat tertarik, tertolak atau dipengaruhi oleh medan magnet. Terdapat berbagai macam material yang memiliki sifat magnetic salah satunya adalah *ferromagnetic*. *Ferromagnetic* adalah jenis material yang memiliki momen magnetik yang sangat tinggi. Pada dasarnya material yang memiliki permeabilitas lebih dari 1 merupakan material *ferromagnetic*. Besi, nikel, kobalt dan banyak lainnya merupakan contoh material yang memiliki sifat *ferromagnetic* [25]. Selain itu, material *ferromagnetic* yang mengandung atom karbon lebih kecil akan memiliki sifat magnetic yang lebih tinggi [19]. Dalam desain struktur MRF, material magnetik memiliki peran sangat penting.

Material magnetic memiliki peran utama untuk menjadi jalan bagi arus magnetik agar dapat memberikan pengaruh dari luar terhadap MRF. Saat MRF terkena arus magnetik, akan terjadi perubahan wujud dari keadaan awal berbentuk liquid menjadi bentuk semi-solid. Efek dari MR sering dikaitkan dengan bidang yang diinduksi magnetisasi partikel tersuspensi. Jika dalam keadaan tidak ada medan magnet MRF memiliki suspensions viskositas yang relatif rendah, akan tetapi saat diberikan medan magnet partikel MRF akan tarik menarik membentuk rantai anisometric yang akan menjangkau sistem [23].

2.3.2. Material Non Magnetik

Material non magnetik adalah material yang tidak dapat dipengaruhi oleh medan magnet. Pada umumnya material yang memiliki sifat non magnetik memiliki nilai permeabilitas kurang dari 1. Dalam kehidupan sehari-hari banyak material memiliki sifat non magnetik diantaranya adalah plastik, nylon, aluminium dan lain-lain. Sifat non magnetik juga merupakan bagian penting untuk membuat desain struktur alat MRF.

Dalam pembuatan struktur utama alat MRF, penggunaan material non magnetik cukup penting di dalam desain. Hal ini dikarenakan penggunaan material ini ditujukan untuk mengunci atau membatasi aliran medan magnet yang ada agar sesuai dengan yang diharapkan. Kebocoran medan magnet yang ada akan

menyebabkan penurunan fluks densitas sehingga nilai yang akan dihasilkan tidak akan maksimal.

2.3.3. Seal

Penggunaan seal pada berbagai desain merupakan salah satu hal penting yang tidak dapat diabaikan. Seal memiliki fungsi sebagai pelindung kebocoran *liquid*, sebagai pelindung agar tidak ada kotoran yang masuk ke sistem, menjaga komponen agar tidak rusak dan lain sebagainya. Berbagai macam alat telah menggunakan seal sebagai pelindung *liquid* seperti contohnya pada alat hidrolis, *shock absorber*, *gear box* dan lain sebagainya. Penggunaan seal dalam setiap desain berbeda-beda tergantung fungsi dan jenis seal itu sendiri.

Pada umumnya seal dibagi menjadi dua jenis yaitu *Static Seal* dan *Dynamic Seal*. *Static seal* adalah tipe seal yang digunakan pada benda diam atau tidak bergerak seperti contohnya gasket pada gearbox. Sedangkan dinamik seal adalah jenis seal yang digunakan pada benda bergerak, contohnya seperti seal pada *shock absorber*, mesin hidrolis dan lain sebagainya. Setiap jenis seal memiliki karakteristik yang berbeda-beda tergantung dengan bahan dasar penyusunnya dan kegunaannya.

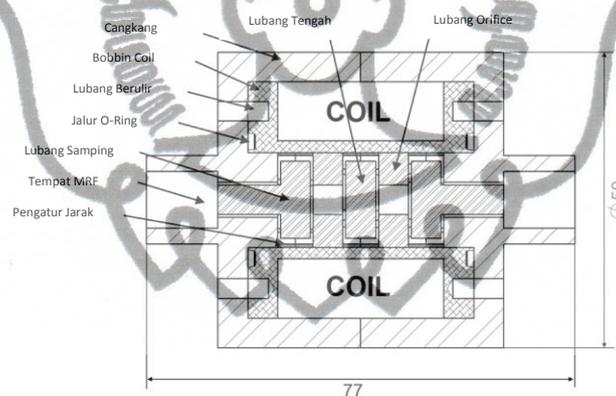
Dalam penggunaannya, seal untuk MRF sedikit berbeda, hal ini dikarenakan sifat dari cairan MRF yang mudah reaktif dengan bahan yang memiliki sifat ferromagnetik. Material seal yang digunakan juga harus kompatibel dengan material dasar penyusun MRF yang biasanya cairan berbasis hidrokarbon. Selain itu dibutuhkan seal yang dapat menahan tekanan yang diberikan oleh MRF. Menurut Harkaitz Urreta dkk mengungkapkan seal MRF harus dapat menahan tekanan lebih dari 3 Bar [30].

2.5. Aplikasi MRF Damper

Pemanfaat MRF sudah mencakup banyak hal seperti dalam bidang sipil, elektronik, kesehatan, mekanik dan lain sebagainya [1], [6], [7], [28], [31]. Banyak penelitian dan prototipe hasil pengembangan MRF sudah dipublikasikan dan dipatenkan. Hampir sebagian besar aplikasi MRF digunakan pada peredam getaran aktif seperti *shock absorber*.

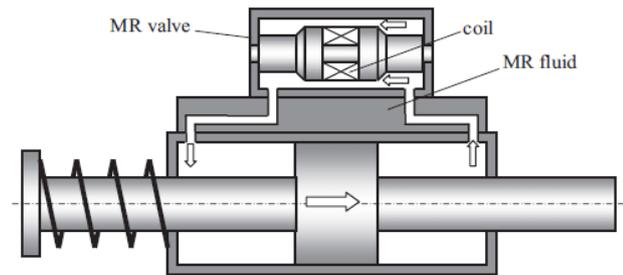
Pada era ini, penelitian tentang *shock absorber* dengan MRF sebagai fluida yang digunakan berkembang sangat cepat. Banyak inovasi yang dilakukan para peneliti untuk meningkatkan kinerja dari *shock absorber*. Seperti model *Shock Absorber MRF by-pass valve* [16], MRF damper dengan lubang piston by-pass [14], perbandingan hasil MRF damper pada mode geser, mode aliran dan mode campuran [27], *MRF damper single-tube, twin-tube* [26] dan lain sebagainya.

Penelitian yang dilakukan oleh Imaduddin dkk [31] yang melakukan penelitian tentang pengaruh dimensi gap terhadap performa MRF. Pada penelitian tersebut dibuat desain dengan jalur campuran annular dan radial dengan variasi gap sebesar 0.5-2 mm. Pada penelitian yang dilakukan, diperoleh hasil valve tipe annular memiliki kontribusi pada *pressure drop* sebesar 58% dibandingkan dengan tipe valve radial. Selain itu percobaan pada pengaruh dimensi gap juga dilakukan dengan hasil gap ukuran 0.5-0.75 mm memiliki nilai *pressure drop* paling tinggi. Gambar desain dijelaskan pada gambar 2-5.



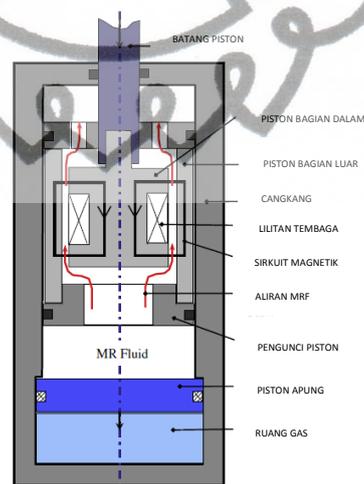
Gambar 2-5. Struktur MR Valve dengan jalur kompleks Annular Radial [31]

Selain dilakukan penelitian dengan pengembangan jenis saluran dan geometri saluran, juga terdapat beberapa penelitian yang dilakukan dengan berbagai jenis model desain. Salah satunya adalah *by-pass valve*. Desain pada penelitian ini ditunjukkan oleh gambar 6. Penelitian ini dilakukan oleh Milekie pada tahun 2012 [16]. Dengan asumsi pergerakan piston konstan, perhitungan yang dilakukan menggunakan Model Bingham. Dari hasil penelitian diperoleh hasil dengan gab sebesar 0.5 mm memiliki gaya sebesar 900 N. Sedangkan gab sebesar 0.25 mm menghasilkan gaya sebesar 2000 N dengan nilai arus yang sama (1A).



Gambar 2-6. Desain MR Shock Absorber Milekie [16]

Untuk mencapai hasil yang maksimal dalam sebuah desain, ada beberapa aspek yang perlu diperhatikan terlebih lagi dalam desain penggunaan dari MRF. Menurut penelitian yang dilakukan oleh Nguyen dan Choi [32], bahwa ada beberapa faktor yang mempengaruhi performa dari MRF termasuk dimensi dan pemilihan bahan. Dalam penelitian yang dilakukan dengan desain pada gambar 7, perhitungan nilai optimasi menggunakan aplikasi FEM dan ANSYS. Lalu hasil desain diuji dengan pengujian satu roda. Dari hasil penelitian yang dilakukan, penggunaan MRF dengan desain yang tepat dapat mengontrol getaran dengan baik pada keadaan jalan berbentuk sinusoidal.



Gambar 2-7. Desain Shock Absorber MRF Nguyen dan Choi [32]