

Analisa Jumlah Lilitan *Magnetorheological Damper*

Bi Asngali¹, Yuli Prasetyo², Dwitya Solihati Amalia³, Ubaidillah⁴, Bhre Wangsa⁵

^{1,2,3} Perkeretaapian, Teknik, Politeknik Negeri Madiun

^{4,5} Mechanical Engineering Department, Faculty of Engineering, Universitas Sebelas Maret,
email: ¹biasngalimt@pnm.ac.id

ABSTRACT

Magnetorheological dampers with variations in the number of turns are simulated using the Finite Element Method Magnetics (FEMM) software to determine changes in the number of turns to the damping rate of the MR valve. The variations used are 90 turns, 180 turns, 270 turns, 365 turns, and 450 turns with a coil diameter of 0.4 mm, slit size of 0.1 mm, and an up and down serpentine MR valve design. The results of the simulation are the value of magnetic flux density (B) with Tesla units to predict the yield stress value of the MR fluid which is then used to calculate the value of the pressure difference and the value of the damping force. The Tesla value at each slit flow increases according to the input current value. the number of turns to the Tesla value is increasing. The results of calculating the value of the total pressure difference in the off-state conditions for the five variations are the same, namely 0.028330577 MPa. Meanwhile, the total pressure difference in the on-state condition, starting from a variation of 90 turns to a variation of 450 turns, always increases. The highest value of damping force is at current 2 A with a total of 90 turns worth 11007.66494 kN, 180 turns worth 14034.73989 kN, 270 turns worth 26535.68741 kN, and 365 turns worth 22227.83163 kN, except for variations in the number of turns 450 the winding is present at a current of 0.5 A with a value of 37492.11504 kN.

INTISARI

Magnetorheological damper dengan variasi jumlah lilitan disimulasikan menggunakan *software Finite Element Method Magnetics (FEMM)* untuk mengetahui perubahan jumlah lilitan terhadap laju peredaman pada katup MR. Variasi yang digunakan yaitu 90 lilitan, 180 lilitan, 270 lilitan, 365 lilitan, dan 450 lilitan dengan diameter koil 0,4 mm, ukuran celah 0,1 mm, dan desain katup MR *serpentine* (berliku) atas bawah. Hasil dari simulasi yaitu nilai *magnetic flux density (B)* dengan satuan Tesla untuk memprediksi nilai *yield stress* dari MR fluida kemudian digunakan untuk perhitungan nilai beda tekanan dan nilai gaya redaman. Nilai *Tesla* pada setiap aliran celah meningkat sesuai dengan nilai inputan arus. jumlah lilitan terhadap nilai *Tesla* yaitu semakin meningkat. Hasil dari perhitungan nilai beda tekanan total pada kondisi *offstate* kelima variasi sama yaitu 0,028330577 MPa. Sedangkan beda tekanan total pada kondisi *on-state* mulai variasi 90 lilitan sampai dengan variasi 450 lilitan selalu mengalami peningkatan. Nilai gaya redaman tertinggi terdapat pada arus 2 A dengan jumlah lilitan 90 bernilai 11007,66494 kN, 180 lilitan bernilai 14034,73989 kN, 270 lilitan bernilai 26535,68741 kN, dan 365 lilitan bernilai 22227,83163 kN, kecuali pada variasi jumlah lilitan 450 lilitan terdapat pada arus 0,5 A dengan nilai 37492,11504 kN

Kata kunci: Magnetorheological Damper, Magnetorheological fluid, Number of turns, FEMM Simulation.

I. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara dengan jumlah penduduk yang sangat besar, sehingga aktivitas penduduknya memerlukan kendaraan yang banyak. Kendaraan merupakan sebuah mesin transportasi untuk mengangkut orang maupun barang. Kendaraan digunakan untuk mempermudah orang melakukan aktivitas sehari-hari. Kebutuhan untuk keamanan dan kenyamanan dari kendaraan sendiri sangat penting untuk diperhatikan. Faktor penyebab keamanan dan kenyamanan dalam berkendara adalah getaran yang dirasakan oleh tubuh, namun getaran tersebut dapat dikendalikan melalui sistem suspensi yang ada pada kendaraan [1].

Suspensi merupakan sebuah sistem pada kendaraan yang berfungsi untuk meredam getaran dan menopang beban bodi kendaraan [2]. Sistem suspensi yang paling umum dikelompokkan kedalam tiga jenis, yaitu suspensi pasif, suspensi aktif, dan suspensi semi aktif [3] [4] [5] [6]. Sistem suspensi memiliki dua komponen utama yaitu pegas dan shock absorber [7] [8]. Faktor yang dapat mempengaruhi kinerja sistem suspensi adalah fluida yang ada didalam shock absorber [9]. Salah satu fluida yang digunakan adalah fluida magnetorheological (fluida MR).

Fluida magnetorheological adalah bahan yang sifatnya bergantung pada medan magnet [10]. Kondisi MR fluida dapat diubah dengan menggunakan besarnya medan magnet yang bervariasi [11]. Fluida magnetorheological telah digunakan dan banyak dikembangkan diberbagai perangkat. Salah satu pengaplikasiannya pada peredam MR. Magnetorheological damper atau MR damper adalah salah satu jenis suspensi semi aktif yang dapat dikontrol dikondisi medan jalan apapun. Suspensi semi aktif banyak dikembangkan oleh peneliti karena kinerja dari peredam semi aktif lebih baik daripada peredam pasif yang hanya dapat digunakan pada kondisi jalan tertentu saja [12].

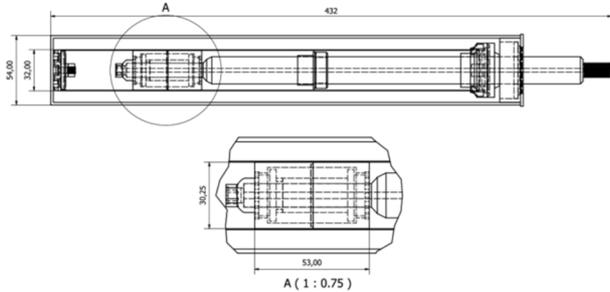
II. Metodologi Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan dua tahapan yaitu desain dan simulasi. Desain dilakukan dengan menggunakan aplikasi Autodesk Inventor Profesional 2020. Acuan desain yang digunakan dalam merancang Magnetorheological damper merupakan damper bekas mobil Nissan dengan tipe GAA17654302-CJ41BSKYB. Damper tersebut merupakan damper pasif yang kemudian dimodifikasi menjadi damper semi aktif atau magnetorheological damper. Simulasi yang

dilakukan menggunakan software Finite Element Method Magnetics (FEMM) [13]. Dari hasil simulasi akan dilakukan perhitungan laju peredaman terhadap setiap variasi. Variasi yang digunakan yaitu jumlah lilitan dengan jumlah lilitan 90, 180, 270, 365, dan 450 lilitan. Dalam setiap variasi memiliki part yang sama yaitu upper dan lower casing, serta upper dan lower bobbin. Pada casing menggunakan bahan aluminium 1100 dan bobbin menggunakan SS304. Fluida yang digunakan yaitu fluida MR dengan tipe 122EG. Sedangkan koil menggunakan kawat jenis tembaga 26 AWG berdiameter 0,4 mm dengan masukan arus 0,5A, 1A, 1,5A, dan 2A.

A. Rancang Desain MR Damper

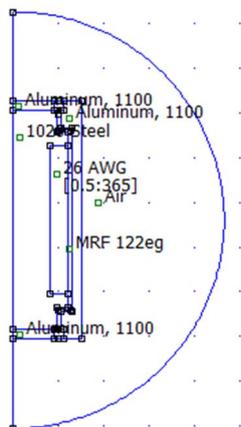
Dimensi katup MR sangat menentukan tingkat kesulitan atau kemudahan dalam proses manufaktur katup MR. Selain itu, sesuai dengan klasifikasi kontrol katup MR, dimensi akan berpengaruh pada nilai penurunan tekanan dan gaya redaman. Desain pada katup MR akan dibuat celah berliku (*serpentine*) yang mencakup kombinasi antara celah annular dan celah radial. Hal ini dilakukan untuk mencapai nilai redaman yang tinggi. Selain Pemilihan material juga berpengaruh terhadap hasil beda tekanan.



Gambar 1. Desain 2D Magnetorheological Damper

B. Rancang Simulasi MR Damper

Tahap simulasi yang pertama yaitu memilih problem, kemudian menggambar tatap, sketsa yang dibuat hanya ¼ dari bagian katup MR. Setelah itu menginputkan material pada setiap part. Kemudian pembuatan circuit, hal yang mempengaruhi hasil simulasi yaitu pemilihan jenis kawat, besar arus, dan jumlah lilitan yang diinputkan pada saat pemilihan circuit.



Gambar 2. Desain 2D Simulasi FEMM Magnetorheological Damper

C. Model Analitis

Simulasi magnetik dilakukan oleh FEMM untuk menentukan kepadatan fluks setiap area. Setelah simulasi dilakukan, kerapatan fluks magnetik rata-rata pada masing-masing area ditentukan sebagai fungsi persamaan ini pada masing-masing area. Perhitungan kondisi off-state dan on-state terdiri dari dua persamaan yaitu [14],

$$\Delta P = \Delta P_{viscous} + \Delta P_{yield} \dots(1)$$

$$\Delta P_{viscous} = \frac{6\eta QL}{\pi d^3 R} \dots(2)$$

$$\Delta P_{yield} = \frac{c\tau(B)L}{d} \dots(3)$$

Persamaan diatas merupakan persamaan beda tekanan untuk celah annular. Persamaan (2) menunjukkan bahwa beda tekanan viskos ($\Delta P_{viscous}$) berbanding lurus dengan viskositas fluida (η), laju aliran fluida (Q), panjang celah annular (L), dan invers-kubik ke celah katup (d) dan berbanding terbalik dengan jari-jari saluran (R). Namun, dalam persamaan (3) menunjukkan bahwa penurunan tekanan dari tegangan luluh bergantung pada lintasan tekanan berbanding lurus dengan nilai tegangan luluh bergantung pada medan ($\tau(B)$) fluida MR, panjang celah annular (L), dan profil kecepatan aliran koefisien (c) tetapi berbanding terbalik dengan ukuran gap (d). Koefisien (c) diperoleh dengan menghitung rasio antara penurunan tekanan yang tergantung medan dan penurunan tekanan viskos menggunakan fungsi perkiraan seperti dalam persamaan (4) [14].

$$c = 2.07 + \frac{12Q\eta}{12Q\eta + 0.8\pi Rd^2\tau(B)} \dots(4)$$

Persamaan untuk celah radial, penurunan tekanan viskos berbanding lurus dengan viskositas fluida (η), laju aliran fluida (Q), dan $\ln(R_o/R_i)$, tetapi berbanding terbalik kubik dengan celah katup (d). R_o dan R_i adalah jari-jari luar dan jari-jari dalam celah radial. Penurunan tekanan luluh secara proporsional berkaitan dengan nilai tegangan luluh yang bergantung pada lapangan ($\tau(B)$) fluida MR dan koefisien profil kecepatan aliran (c) dan berbanding terbalik dengan ukuran celah (d) [14]

$$\Delta P_{viscous} = \frac{6\eta Q}{\pi d^3} \ln\left(\frac{R_o}{R_i}\right) \dots(5)$$

$$\Delta P_{yield} = \frac{c\tau(B)}{d} (R_o - R_i) \dots(6)$$

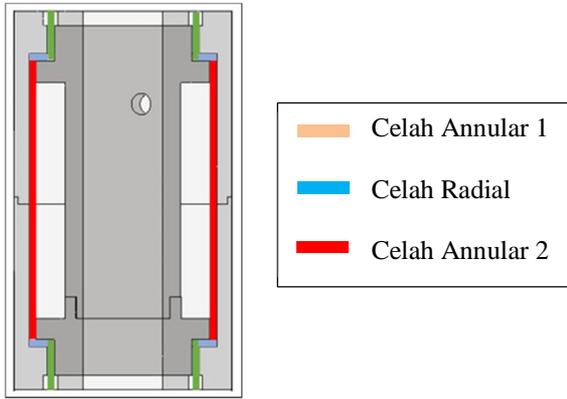
Nilai total penurunan tekanan dapat dihitung dengan menambahkan semua penurunan tekanan pada celah annular dan radial tergantung pada desain setiap katup, dapat ditentukan dengan persamaan dibawah ini [14]

$$\Delta P_{valve} = \Sigma(\Delta P_{annular}) + \Sigma(\Delta P_{radial}) \dots(7)$$

$$\Delta P_{valve} = \Sigma \left[\frac{6\eta QL_a}{\pi d_n^3 R_n} + \frac{c_a \tau_a(B) L_a}{d_n} \right] + \Sigma \left[\frac{6\eta Q}{\pi d_r^3} \ln\left(\frac{R_o}{R_i}\right) + \frac{c_r \tau_r(B)}{d_r} (R_o - R_i) \right] \dots(8)$$

III. Hasil dan Pembahasan

Desain katup dibuat celah serpentine (berkelok) yang bertujuan meningkatkan area efektif untuk meningkatkan nilai beda tekanannya. Area efektif akan menghasilkan nilai magnetic fluks density yang tinggi. Nilai beda tekanan akan mempengaruhi aliran fluida MR dan mengetahui gaya redaman yang dihasilkan dari MR damper. Gambar 3. merupakan jalur celah serpentine atas bawah pada Magnetorheological damper.



Gambar 3. Jalur Celah *Serpentine*

Di bawah ini merupakan parameter-parameter dari desain MR damper yang akan digunakan untuk mengetahui ukuran-ukuran dari desain dan untuk menginputkan nilai pada proses perhitungan beda tekanan.

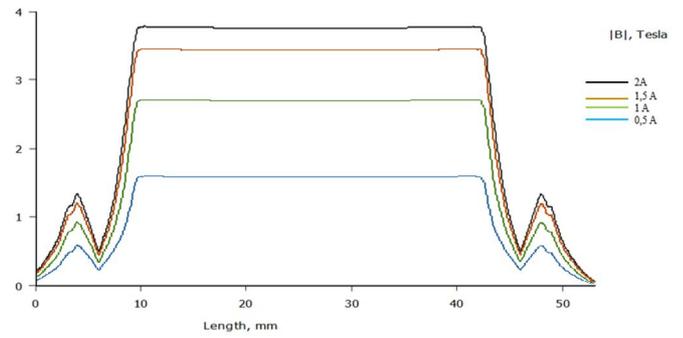
Tabel 1. Data Parameter Desain Magnetorheological Damper

Parameter	Deskripsi	Satuan	Nilai
Dv	Diameter <i>valve</i>	mm	30,25
Dp	Diameter piston rod	mm	11
da	Celah <i>annular</i>	mm	1
dr	Celah <i>radial</i>	mm	1
La1	Panjang jalur <i>annular</i> 1	mm	7
La2	Panjang jalur <i>annular</i> 2	mm	37
R0	Radius <i>annular</i> 1	mm	10,5
R1	Radius <i>annular</i> 2	mm	15,5
η (MRF122EG)	Viskositas fluida	mm	0,042

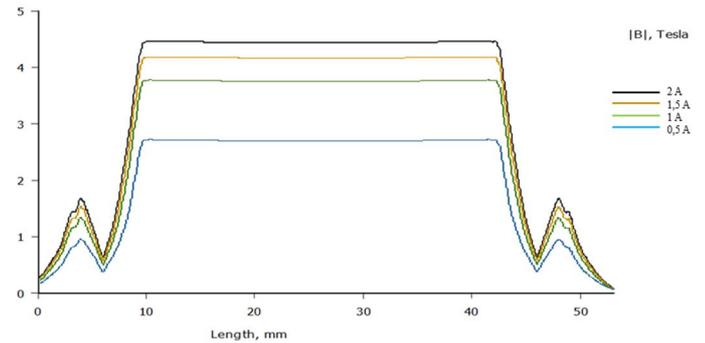
A. Pengaruh Variasi Input Arus terhadap Variasi Jumlah Lilitan

Untuk memperkirakan hasil penurunan tekanan yang dipengaruhi oleh input saat ini, nilai tegangan luluh dapat dinyatakan dalam persamaan berikut [14].

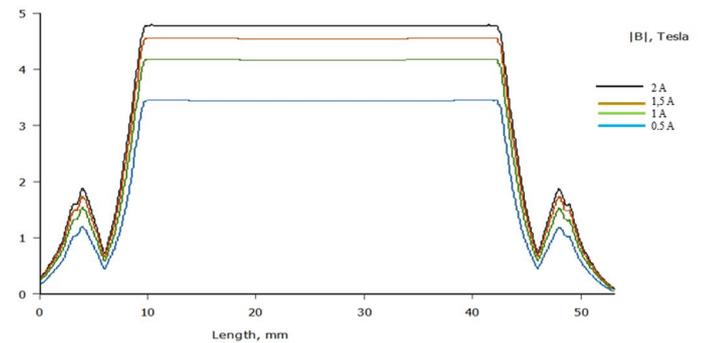
$$\left. \begin{aligned}
 (B) &= -58.92B^3 + 74.66B^2 + 35.74B - 3.387, \text{ for } \tau_y(B) > 0 \\
 (B) &= 0, \text{ for } \tau_y(B) \leq 0
 \end{aligned} \right\} (9)$$



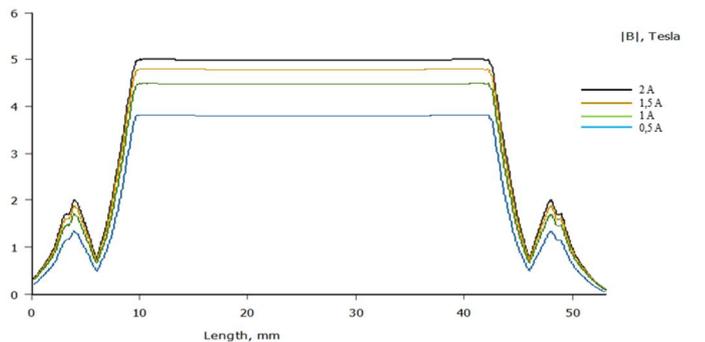
Gambar 4. Grafik Simulasi Magnetic Flux Density Variasi 90 Lilitan



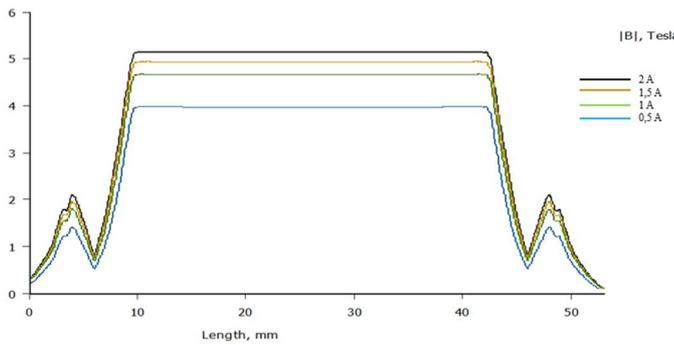
Gambar 5. Grafik Simulasi Magnetic Flux Density Variasi 180 Lilitan



Gambar 6. Grafik Simulasi Magnetic Flux Density Variasi 270 Lilitan



Gambar 7. Grafik Simulasi Magnetic Flux Density Variasi 365 Lilitan



Gambar 8. Grafik Simulasi Magnetic Flux Density Variasi 450 Lilitan

Prediksi nilai tegangan luluh dapat dihitung dengan persamaan (9) dengan kerapatan fluks magnet yang diperoleh dari simulasi. Nilai tegangan luluh akan digunakan dalam persamaan (3), (4), (6) untuk menghitung nilai beda tekanan. Hasil perhitungan variasi jumlah lilitan 90 dengan variasi input arus 0,5A; 1A; 1,5A; 2A pada celah annular 1 adalah 10,66MPa; 16,81MPa; 30,53MPa; 36,90MPa. Hasil prediksi celah annular 2 yaitu 46,26MPa; 49,70MPa; 300,50MPa; 608MPa. Dan prediksi nilai tekanan celah radial yaitu 16,96MPa, 33,75MPa, 41,35MPa, 44,05MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa yield stress berbanding lurus terhadap nilai magnetic flux density.

Hasil perhitungan untuk variasi jumlah lilitan 180 pada celah annular 1 adalah 30,09MPa; 40,67MPa; 43,60MPa; 47,68MPa. Hasil prediksi celah annular 2 yaitu 48,28MPa; 342,37MPa; 548,47MPa; 783,11MPa. Dan prediksi nilai tekanan celah radial yaitu 38,13MPa; 48,02MPa; 47,93MPa; 43,58MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi kenaikan yang signifikan pada celah annular 1 dan annular 2. Tetapi, pada celah radial terjadi peningkatan hanya terjadi pada input arus 0,5 A sampai 1 A sedangkan pada input arus 1,5 A dan 2 A terjadi penurunan dikarenakan adanya nilai puncak (peak) pada MR fluida sehingga dapat menurunkan kinerja dari MR fluida.

Hasil perhitungan variasi 270 lilitan untuk celah annular 1 yaitu 26,60MPa; 41,39MPa; 44,18MPa, 46,46MPa. Pada celah annular 2 yaitu 410,92MPa; 933,39MPa, 1278,09MPa; 1603,72MPa. Sedangkan pada celah radial yaitu 37,39MPa; 46,75MPa, 40,51MPa, 32,96MPa. Hasil penelitian menunjukkan terjadi kenaikan yang signifikan pada celah annular 1 dan annular 2. Tetapi, pada celah radial terjadi peningkatan hanya terjadi pada input arus 0,5 A sampai 1 A sedangkan pada input arus 1,5 A dan 2 A terjadi penurunan.

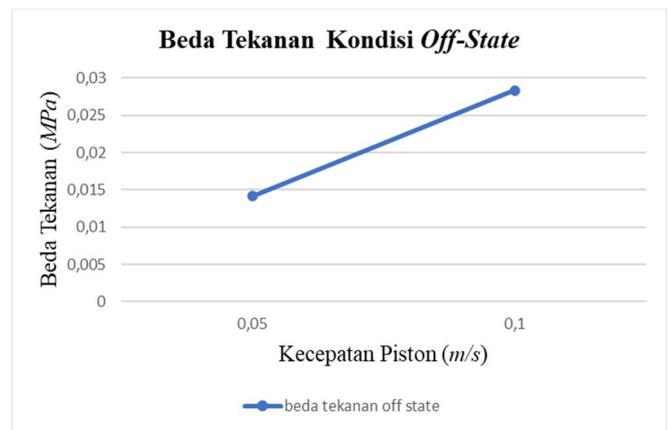
Hasil untuk variasi jumlah lilitan 365 pada celah annular 1 adalah 44,38MPa; 47,94MPa; 48,25MPa; 46,39MPa. Hasil prediksi celah annular 2 yaitu 243,73MPa; 834,47MPa; 1317,71MPa; 1338,35MPa. Untuk prediksi nilai tekanan radial 48,23MPa; 41,50MPa; 24,81MPa; 13,58MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terjadi kenaikan yang signifikan hanya pada celah annular 2 saja. Pada celah annular 1 terjadi kenaikan pada input arus 0,5 A sampai 1,5 A dan pada arus 2 A terjadi penurunan

Hasil perhitungan pada variasi 450 lilitan pada celah annular 1 yaitu 39,97MPa; 45,06MPa; 46,38MPa; 48MPa. Pada celah annular 2 yaitu 783,62MPa; 1596,24MPa; 1868,66MPa; 2108,05MPa. Sedangkan pada celah radial

yaitu 47,38MPa; 38,15MPa; 16,29MPa; 11,36 MPa. Hasil penelitian menunjukkan terjadi kenaikan yang signifikan pada celah annular 1 dan celah annular 2, semakin besar nilai arus yang diinputkan maka semakin besar nilai yield stress. Sedangkan pada celah radial, semakin besar input arus maka nilai yield stress semakin menurun.

B. Beda Tekanan Kondisi Off-state Setiap Variasi Jumlah Lilitan

Beda tekanan saat kondisi Off-State merupakan beda tekanan pada desain katup MR tanpa adanya arus listrik. Nilai beda tekanan pada off-state dinyatakan dalam persamaan (2) dan (5). Hasil beda tekanan off-state pada setiap variasi adalah sama. Pada celah annular 1 yaitu 0,00192MPa dan 0,00384MPa. Pada celah annular 2 yaitu 0,00909MPa dan 0,01818MPa. Dan pada celah radial yaitu 0,00061MPa dan 0,00123MPa.



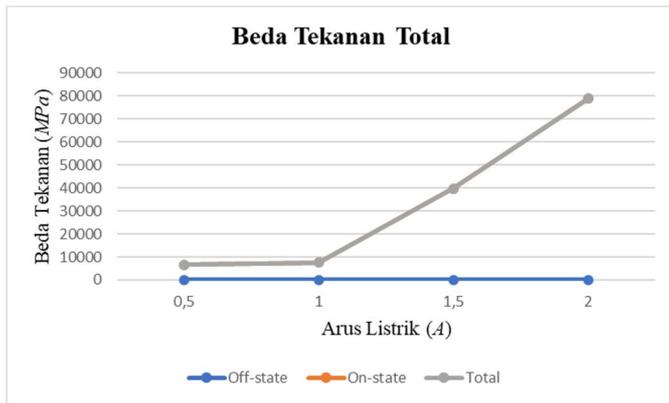
Gambar 9. Beda Tekanan pada Kondisi Off-state

C. Beda Tekanan Kondisi On-state pada Setiap Variasi Jumlah Lilitan

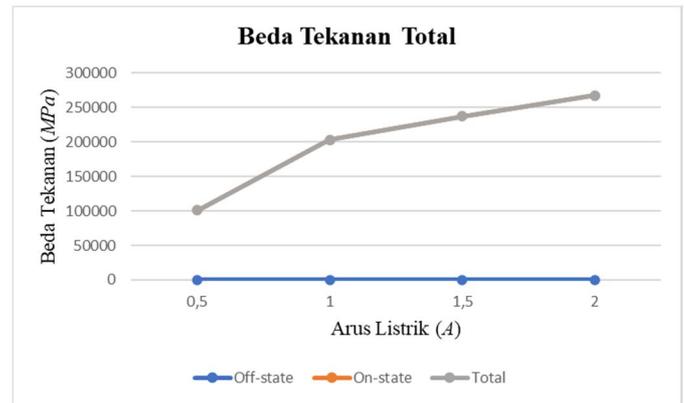
Beda tekanan pada kondisi on-state merupakan beda tekanan ketika koil sudah dialiri arus listrik. Beda tekanan kondisi on-state tergantung pada bentuk celah dalam desain katup yang digunakan. Dalam penelitian ini terbagi menjadi dua jenis bentuk celah yaitu annular dan radial. Beda tekanan on-state dapat dihitung dengan Persamaan (3) dan (6). Untuk menghitung beda tekanan kondisi on-state, diperlukan parameter-parameter yaitu kecepatan aliran koefisien c yang diperoleh melalui persamaan (c).

D. Beda Tekanan Total pada Setiap Variasi Jumlah Lilitan

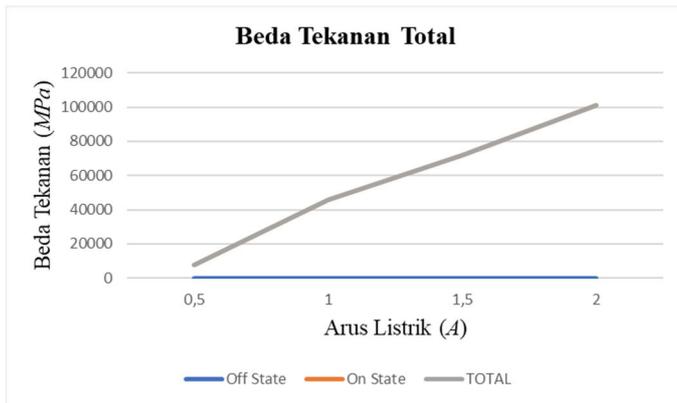
Beda tekanan total merupakan beda tekanan yang didapatkan dari penjumlahan seluruh beda tekanan pada setiap celah pada kondisi off-state maupun on-state.



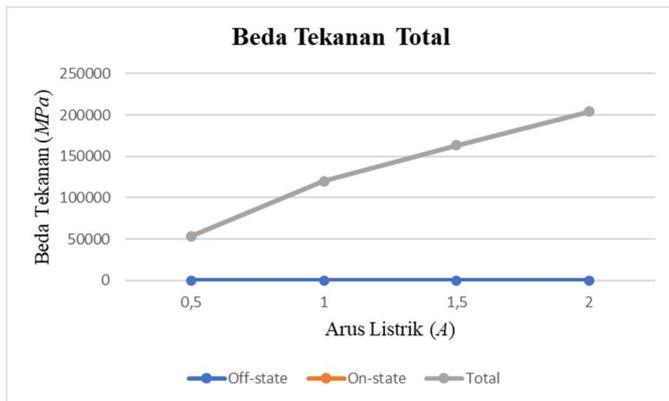
Gambar 10. Beda Tekanan Total Variasi 90 Lilitan



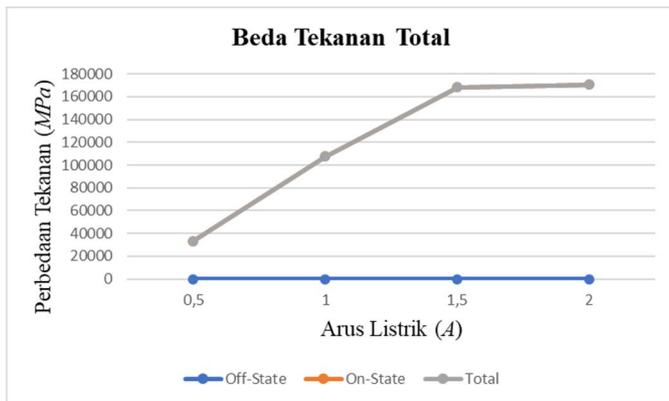
Gambar 14. Beda Tekanan Total Variasi 450 Lilitan



Gambar 11. Beda Tekanan Total Variasi 180 Lilitan



Gambar 12. Beda Tekanan Total Variasi 270 Lilitan



Gambar 13. Beda Tekanan Total Variasi 365 Lilitan

Nilai beda tekanan total pada variasi 90 lilitan dengan variasi input arus 0,5A; 1A; 1,5A; 2A yaitu 6540,21MPa; 7494,64MPa; 39758,61MPa; 78766,27MPa. Nilai beda tekanan total variasi 180 lilitan yaitu 7952MPa; 45557MPa; 71609,24MPa; 101235,42MPa. Nilai beda tekanan total variasi 270 lilitan yaitu 53401,05MPa; 119894,34MPa; 163273,41MPa; 204212,04MPa. Nilai beda tekanan total variasi 365 lilitan yaitu 33305,77MPa; 107662MPa; 168203,83MPa; 170546,88MPa. Nilai beda tekanan total variasi 450 lilitan yaitu 100993,60MPa; 203266,27MPa; 237247,03MPa; 267347,51MPa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar nilai arus yang diinputkan maka semakin besar nilai beda tekanan.

E. Nilai Gaya Redaman

Karena nilai penurunan tekanan dihitung, besarnya gaya redaman yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan berikut:

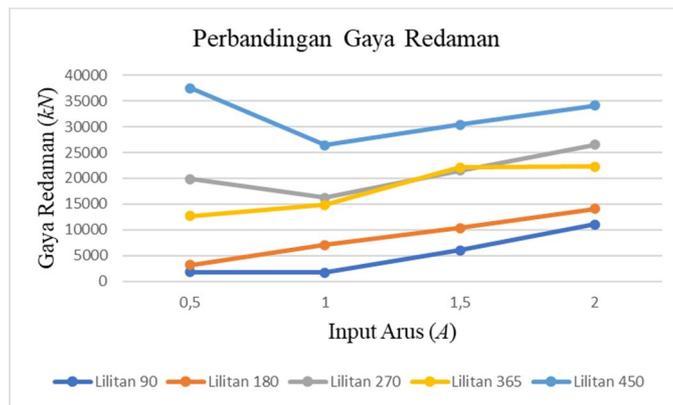
$$\Delta P = \frac{F_d}{A_p} \tag{10}$$

$$A_p = \pi R_p^2 \tag{11}$$

Di mana F_d merupakan prediksi gaya redaman dan R_p adalah jari-jari piston.

Tabel 2. Perbandingan Nilai Gaya Redaman terhadap Input Arus

I(A)	Gaya Redaman (kN)				
	Lilitan 90	Lilitan 180	Lilitan 270	Lilitan 365	Lilitan 450
0,5	1812,40	3163,61	19836,87	12649,94	37492,11
1	1658,21	7067,52	16191,06	14810,56	26431,10
1,5	6035,78	10336,58	21525,41	22090,68	30432,46
2	11007,66	14034,73	26535,68	22227,8	34120,40



Gambar 15. Perbandingan Nilai Gaya Redaman

Hasil penelitian bahwa semakin besar nilai arus yang diinputkan maka semakin besar nilai gaya redaman pada setiap variasi. Pada variasi jumlah lilitan 90 lilitan, 180 lilitan, 270 lilitan, dan 365 lilitan maka nilai gaya redaman tertinggi pada arus 2 A. Sedangkan pada jumlah lilitan 450 lilitan, nilai gaya redaman tertinggi pada arus 0,5 A.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan tentang pengaturan jumlah lilitan terhadap laju peredaman pada Magnetorheological damper, maka dapat disimpulkan bahwa:

- Variasi jumlah lilitan 450 menghasilkan nilai laju peredaman paling besar dibandingkan dengan variasi jumlah lilitan yang lain.
 - Prediksi laju peredaman pada variasi jumlah lilitan 90 yang dapat dicapai sebesar 11007,66494 MPa dengan input arus sebesar 2 A dan kecepatan piston sebesar 0,1 m/s.
 - Prediksi laju peredaman pada variasi jumlah lilitan 180 yang dapat dicapai sebesar 14034,73989 MPa dengan input arus sebesar 2 A dan kecepatan piston sebesar 0,1 m/s.
 - Prediksi laju peredaman pada variasi jumlah lilitan 270 yang dapat dicapai sebesar 26535,68741 MPa dengan input arus sebesar 2 A dan kecepatan piston sebesar 0,1 m/s.
 - Prediksi laju peredaman pada variasi jumlah lilitan 365 yang dapat dicapai sebesar 22227,83163 MPa dengan input arus sebesar 2 A dan kecepatan piston sebesar 0,1 m/s.
 - Prediksi laju peredaman pada variasi jumlah lilitan 450 yang dapat dicapai sebesar 37492,11504 MPa dengan input arus sebesar 0,5 A dan kecepatan piston sebesar 0,1 m/s.
- Laju peredaman pada variasi jumlah lilitan 90 lilitan, 180 lilitan, dan 365 lilitan terjadi peningkatan yang signifikan mulai dari input arus 0,5 A sampai dengan 2 A. Ketika pada variasi 270 lilitan dan 450 lilitan saat input arus 0,5 A nilai gaya redaman lebih tinggi dibandingkan pada input arus 1 A, tetapi pada input arus mulai 1 A sampai dengan 2 A mulai terjadi peningkatan yang signifikan.

REFERENSI

- Afizah, Siti Nurul. Analisis Pengaruh Kekakuan Dan Koefisien Redaman Pada Suspensi Kereta Api Untuk Kenyamanan Ditinjau Pada Center Of Gravity. *Diss. Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, 2018.
- Wahjudi, Sadar. "Desain dan Analisis Perubahan Fluks Magnet Terhadap Efek Peredaman Pada Prototipe Suspensi Pintar." *Jurnal Energi dan Teknologi Manufaktur (JETM)* 1.01 (2018): 25-29.
- Hurmuzlu, Yildirim, and Osita DI Nwokah, eds. The mechanical systems design handbook: modeling, measurement, and control. *CRC Press*, 2017.
- Nugroho, Yunias Rizki. Sistem Pengendalian Suspensi Semi-Aktif Variable Stiffness & Variable Damping (Vsvd) Dengan Menggunakan Full State Feedback Control & Pid Controller. *Diss. Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*, 2016.
- Djaja, Yuhani, and Djoko Santoso. "Perencanaan Pegas Pada Shock Absorber Roda Belakang Mobil Jenis Sedan Kapasitas 1500 CC." *Mekanikal: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin* 10.1 (2014): 12-19.
- Hurmuzlu, Yildirim, and Osita DI Nwokah, eds. The mechanical systems design handbook: modeling, measurement, and control. *CRC Press*, 2017.
- Bhalodi, Atmiya K., et al. "Magneto-Rheological dampers in automotive suspensions." *International Research Journal of Engineering and Technology* 3.7 (2016): 1613-1618.
- Wijaya, Alan Budi. "Analisa Pegas Tekan Pada Sistem Suspensi Mobil Air Engine." *Almikanika* 2.2 (2021): 77-86.
- Irawan, Bambang, and Galih Aldy Prasetyo. "Desain Dan Pembuatan Smart Absorber Mekanik Beban Maksimum 100KGF." *Seminar Nasional Rekayasa Teknologi Manufaktur*. Vol. 1. 2021.
- Dalvi, B. (2015). Modelling & Testing Of Mr Dampers. *Mechanical Engineering* 13.
- Avraam, More Thomas. "MR-fluid brake design and its application to a portable muscular rehabilitation device." *Universite Libre de Bruxelles* (2009).
- Maharani, Elliza Tri, et al. "A mathematical modelling and experimental study of annular-radial type magnetorheological damper." *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics* 66.4 (2021): 543-560.
- D.C. Meeker, "Improvised open boundary conditions for magnetic finite elements," *IEEE Transactions on Magnetism*, 49(10):5243-5247, Oct. 2013.

- [14]Lenggana, Bhre Wangsa, et al. "Performance prediction of a novel modular magnetorheological damper for seismic building." *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences* 58.2 (2019): 275-286.