

Pengaruh Variasi Diameter Orifice Terhadap Karakteristik Dinamis Hydraulic Motor Regenerative Shock Absorber (HM RSA) dengan Satu Silinder Hidraulik

Aida Annisa Amin Daman^{1, a *}, Harus Laksana Guntur^{2, b}, Wiwiek Hendrowati^{3, c}, Moch. Solichin^{4, d}

^{1,2,3,4}Lab. Vibrasi dan Sistem Dinamis, Jurusan Teknik Mesin, FTI, ITS

^{1,2,3,4} Jalan Raya ITS, Surabaya 60111, Indonesia

^aaianinda@gmail.com, ^bharuslg@me.its.ac.id, ^cwiwiek@me.its.ac.id, ^dsolichin@me.its.ac.id

Abstrak

Energi *losses* pada kendaraan juga terjadi pada sistem suspensi. Oleh sebab itu diperlukan pengembangan sistem suspensi yang dapat menghasilkan energi untuk dapat dimanfaatkan kembali oleh kendaraan. Paper ini menyajikan pengaruh variasi diameter orifice terhadap gaya redam, daya bangkitan dan respon dinamis dari *Hydraulic Motor Regenerative Shock Absorber (HM RSA)*. Penelitian diawali dengan pemodelan *HM RSA* pada seperempat kendaraan 2 DOF dan merumuskan persamaan matematis, kemudian dilakukan simulasi untuk memperoleh respon dinamis. Pemodelan *HM RSA* terdiri dari silinder hidraulik, motor hidraulik, dan generator listrik. Orifice diletakkan pada saluran keluar dari diameter hidraulik saat ekspansi dan kompresi. Variasi diameter orifice yang digunakan yaitu 2 mm, 4 mm, dan 6 mm. Hasil penelitian menunjukkan nilai gaya redam terbesar terjadi pada proses kompresi dengan diameter orifice 2 mm yaitu sebesar 16590 N. Nilai gaya redam semakin menurun seiring bertambahnya diameter orifice. Dengan penggunaan *HM RSA*, daya listrik yang dibangkitkan dapat mencapai nilai maksimum dari kapasitas generator yaitu sebesar 100 Watt. Variasi diameter orifice hanya berpengaruh terhadap gaya redam, namun tidak berpengaruh pada respon kelistrikan *HM RSA*.

Kata kunci : *regenerative shock absorber*, orifice, gaya redam, daya bangkitan

Pendahuluan

Sistem suspensi kendaraan merupakan satu penyebab energi *losses* pada kendaraan. Sekitar 10-30% energi kendaraan terbuang pada sistem suspensi [1]. Untuk mengatasi energi *losses* pada sistem suspensi maka berkembang sistem suspensi regeneratif yang dapat mentransformasi energi yang hilang pada sistem *shock absorber* menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan kendaraan. Zuo dan Zhang [2] memodelkan dinamika kendaraan dan memvariasikan kekasaran permukaan jalan, diperoleh hasil bahwa energi yang dapat dimanfaatkan dari *shock absorber* yaitu sebesar 100-400 Watt pada kecepatan 96 km/jam.

Li, dkk [3] mengadakan *road test* pada sebuah mobil yang dipasang *regenerative shock absorber*. Energi rata-rata yang

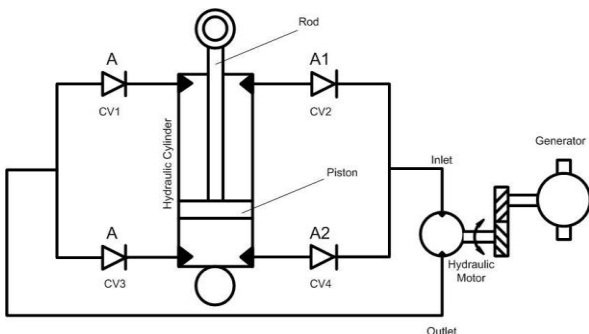
dihasilkan yaitu sebesar 19 Watt pada satu *shock absorber* saat kendaraan melaju 48 km/jam pada jalan yang halus. Laksana Guntur, dkk [4] mengembangkan prototip *regenerative shock absorber* dengan menggunakan sistem transmisi roda gigi dan generator elektrik. Prototip alat tersebut dapat menghasilkan daya listrik sebesar 20 Watt untuk satu suspensi. Penelitian mengenai *Hydraulic Elektromagnetic Suspensions* dikembangkan oleh Lin dan Xuexun [5] yang dikenal dengan *Hydraulic Regenerative Shock Absorber (HM RSA)*. Keunggulan sistem suspensi ini yaitu mudah diaplikasikan karena strukturnya yang sederhana dan tidak membutuhkan banyak komponen.

Paper ini mengembangkan sistem suspensi hidraulik yang dihubungkan dengan motor hidraulik dan generator listrik. Penelitian

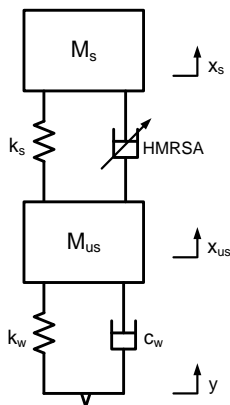
diawali dengan pemodelan *hydraulic motor regenerative shock absorber HMRSA* kemudian dilakukan simulasi untuk memperoleh respon dinamis.

Metode Penelitian

Sistem HMRSA terdiri dari *hydraulic cylinder*, motor hidraulik, *gear*, dan generator seperti yang ditunjukkan gambar 1. Terdapat dua proses yang terjadi pada sistem ini yaitu proses ekspansi ketika *hydraulic cylinder* bergerak ke atas dan proses kompresi ketika *hydraulic cylinder* bergerak ke bawah. Alur saat terjadi proses ekspansi yaitu dari *hydraulic cylinder* menuju *check valve 2 (CV2)* ke *hydraulic motor* dan menggerakkan *gear* yang terhubung dengan generator, kemudian aliran fluida kembali pada *hydraulic cylinder* melalui CV3. *Orifice* diletakkan pada saluran keluar sebelum CV2 dan CV3, dan diameter *orifice* divariasikan yaitu 2 mm, 4 mm, dan 6 mm.



Gambar 1. Skema konfigurasi HMRSA



Gambar 2. Skema model seperempat kendaraan

Sedangkan untuk proses kompresi, aliran fluida dari *hydraulic cylinder* keluar melalui CV3 dan kembali melalui CV1. *Orifice* diletakkan pada saluran keluar saat proses ekspansi dan kompresi dengan variasi diameter *orifice* yaitu 2 mm, 4 mm, dan 8mm. Sistem HMRSA kemudian diaplikasikan pada model seperempat kendaraan seperti yang ditunjukkan gambar 2. Sistem diletakkan diantara massa *sprung (Ms)* yaitu massa bodi kendaraan dan massa *unsprung (Mus)* yaitu massa roda.

Persamaan Gerak

Persamaan yang digunakan pada mekanisme hidraulik adalah persamaan Bernoulli berikut:

$$\frac{P_1}{\rho} + \frac{V_1^2}{2} + gh_1 = \frac{P_2}{\rho} + \frac{V_2^2}{2} + gh_2 + h_T \dots (1)$$

dimana h_T merupakan *headloss* total akibat gesekan fluida dengan saluran, adanya *elbow*, perubahan penampang dan *valve*. Secara matematis dituliskan sebagai berikut:

$$h_T = 32v \frac{LV_p}{D_p^2} + K \frac{V_p^2}{2} \dots \dots \dots (2)$$

dengan mengasumsikan bahwa ketinggian sama, maka perbedaan tekanan sebelum dan sesudah orifice yaitu :

$$\Delta P_{11} = \frac{\rho}{2} (V_{orifice1}^2 - V_{11}^2) + 32v \frac{LV_p}{D_p^2} + K \frac{V_p^2}{2} \dots \dots \dots (3)$$

$$\Delta P_{12} = \frac{\rho}{2} (V_{orifice2}^2 - V_{12}^2) + 32v \frac{LV_p}{D_p^2} + K \frac{V_p^2}{2} \dots \dots \dots (4)$$

dimana ΔP_{11} merupakan perbedaan tekanan saat proses ekspansi dan ΔP_{12} merupakan perbedaan tekanan saat proses kompresi. Kemudian persamaan 3 dan 4 tersebut disubstitusi pada persamaan 5 berikut sehingga diperoleh besar gaya redaman:

$$F_d = (\Delta P_{11} \times A_{11}) + (\Delta P_{12} \times A_{12}) \dots \dots \dots (5)$$

Pada motor hidrolik, persamaan yang digunakan untuk mengkonversi aliran dan tekanan hidrolik menjadi torsi dan kecepatan putaran yaitu:

$$T_{mh} = \Delta P_{mh} \cdot q \cdot \eta_m \dots\dots\dots (6)$$

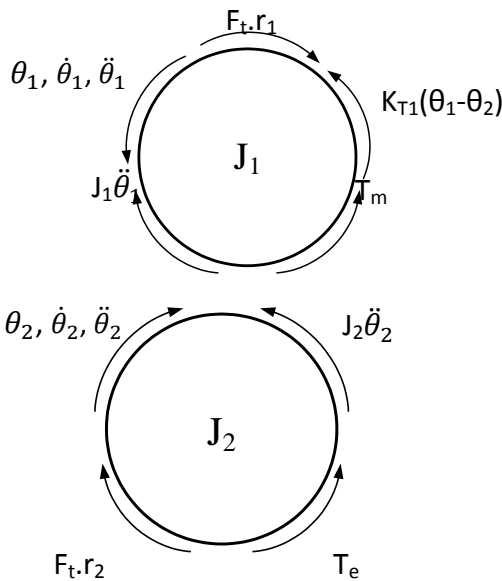
$$\omega = \frac{Q_{mh}}{q} \eta_v \dots\dots\dots (7)$$

Sedangkan persamaan untuk transmisi *free ody diagram* yang ditunjukkan gambar 3 yaitu:

$$(J_1 + J_2 N^2) \ddot{\theta}_1 + T_e \cdot N = T_m \dots\dots\dots (8)$$

Untuk persamaan elektrik generator, yaitu:

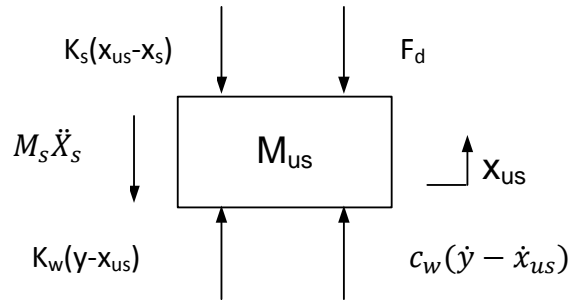
$$(R + R_{load})I + L \frac{dI}{dt} = \alpha \dot{\theta} \dots\dots\dots (9)$$



Gambar 3.

Free body diagram transmisi (a) roda gigi 1 dan (b) roda gigi 2

Dari gambar 2, dapat dibuat *Free Body Diagram* (FBD) pada massa *unsprung* (gambar 4) dan FBD pada massa *sprung* (gambar 5) sebagai berikut:



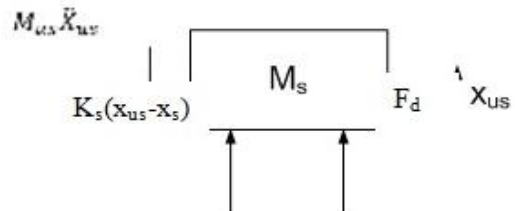
Gambar 4. FBD roda kendaraan

Persamaan dari *free body diagram* di atas yaitu:

$$M_{us} \ddot{x}_{us} - k_w(y - x_{us}) - c_w(\dot{y} - \dot{x}_{us}) + k_s(x_{us} - x_s) + F_d = 0 \dots\dots\dots (10)$$

Sedangkan untuk *free body diagram* dan persamaan yang berlaku pada massa *sprung* adalah sebagai berikut

Gambar 5. FBD bodi kendaraan



$$M_s \ddot{x}_s - k_s(x_{us} - x_s) - F_d = 0 \dots\dots\dots (11)$$

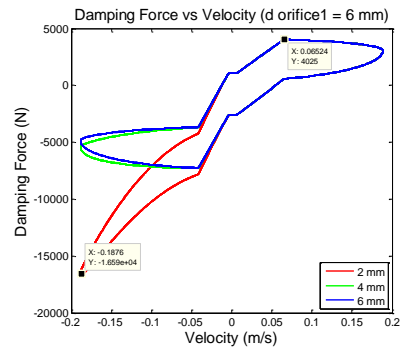
Dari persamaan 5, 8, dan 9 dibangun blok diagram simulasi dan disimulasikan respon dinamis pada sistem seperempat kendaraan.

Hasil dan Pembahasan

Hasil yang diperoleh berupa simulasi respon dinamis sistem HMRSA sebelum diaplikasikan pada sistem seperempat kendaraan yaitu pada gambar 6 dan gambar 7, kemudian simulasi respon dinamis sistem HMRSA yang telah diintegrasikan pada sistem seperempat kendaraan dengan input sinusoidal seperti gambar 8 dan gambar 9. Pada gambar 6, 7, 8, dan 9, nilai positif menunjukkan hasil proses ekspansi, sedangkan nilai negatif menunjukkan hasil

proses kompresi. Pada gambar 6(a), (b), dan (c), terlihat bahwa perbedaan nilai hanya terjadi pada nilai positif yaitu proses ekspansi. Hal ini menunjukkan bahwa variasi diameter *orifice* 1 hanya berpengaruh pada proses ekspansi saja, sedangkan proses kompresi hanya dipengaruhi oleh variasi diameter *orifice* 2.

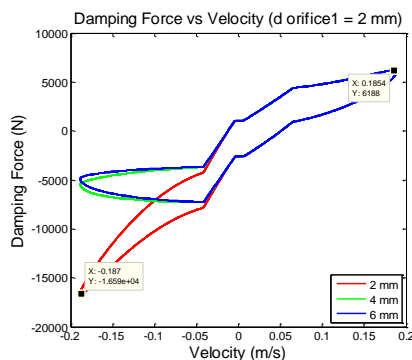
Pada proses ekspansi, nilai gaya redam tertinggi terjadi pada diameter *orifice* 1 2 mm, yaitu sebesar 6188 N. Nilai gaya redam menurun seiring bertambahnya diameter *orifice* 1. Sedangkan pada proses kompresi, nilai gaya redam tertinggi terjadi pada diameter *orifice* 2 2mm yaitu 16590 N. Semakin besar diameter *orifice*, nilai gaya redam semakin menurun. Hal ini sesuai dengan persamaan 3, 4, dan 5. Gaya redam dipengaruhi oleh perbedaan tekanan, sedangkan perbedaan tekanan dipengaruhi oleh kecepatan aliran fluida melalui *orifice*. Semakin besar diameter *orifice* menyebabkan kecepatan aliran fluida melalui *orifice* menurun. Penurunan kecepatan juga menyebabkan penurunan perbedaan tekanan sehingga gaya redam menurun.



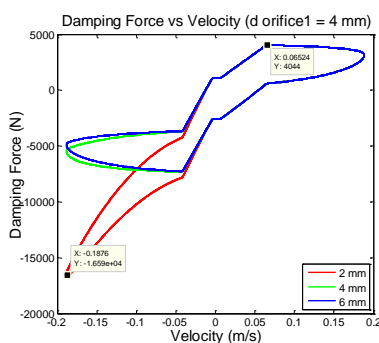
(c)

Gambar 6. Grafik respon gaya redam terhadap kecepatan pada HM RSA variasi diameter orifice 2 dengan diameter orifice 1 sebesar (a) 2 mm (b) 4 mm (c) 6 mm

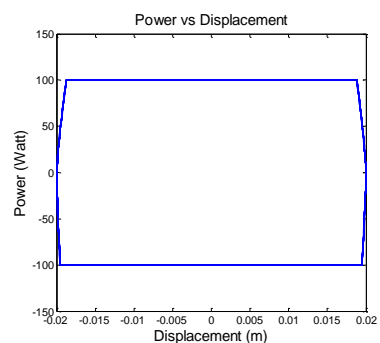
Gambar 7 menunjukkan respon kelistrikan terhadap perpindahan pada generator. Pada gambar 7 terlihat hanya satu warna saja. Hal ini menunjukkan bahwa variasi diameter *orifice* tidak mempengaruhi respon kelistrikan generator. Simulasi pada HM RSA dapat menghasilkan daya mendekati daya maksimum yang dimiliki oleh generator yaitu sebesar 100 Watt baik pada proses ekspansi maupun kompresi. Sedangkan arus dan tegangan yang dihasilkan yaitu 5 A dan 19,6 V.



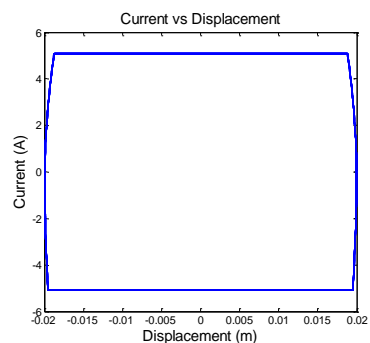
(a)



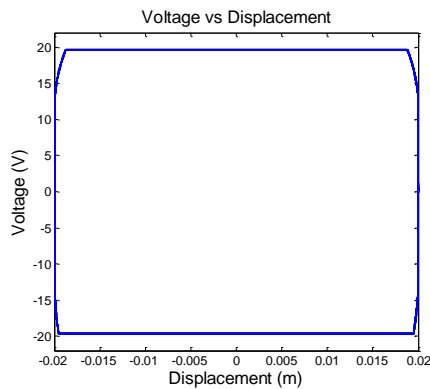
(b)



(a)



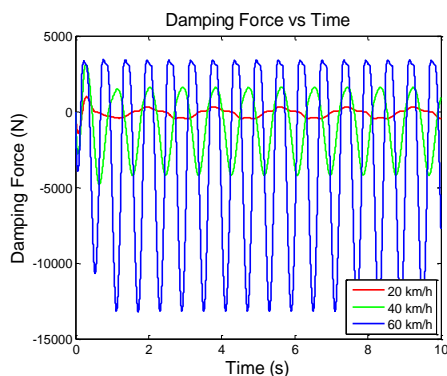
(b)



(c)

Gambar 7. Respon kelistrikan terhadap perpindahan pada generator meliputi respon (a) Daya Listrik Bangkitan (b) Arus Listrik (c) Tegangan Listrik

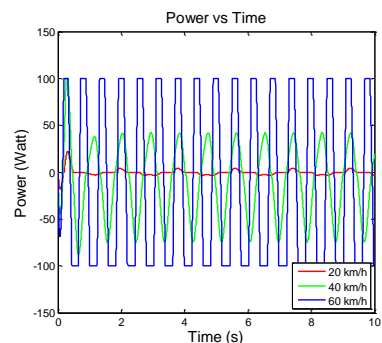
Gambar 8 menunjukkan Gaya redam terhadap waktu akibat input sinusoidal variasi kecepatan kendaraan. Perbedaan nilai positif (proses ekspansi) dan negatif (proses kompresi) disebabkan perbedaan diameter *orifice* yang digunakan pada saluran ekspansi dan saluran kompresi. Diameter pada saluran ekspansi lebih besar daripada diameter pada saluran kompresi sehingga nilai gaya redam proses kompresi lebih besar. Semakin cepat laju kendaraan, osilasi grafik yang dihasilkan semakin banyak dan nilai gaya redam semakin besar.



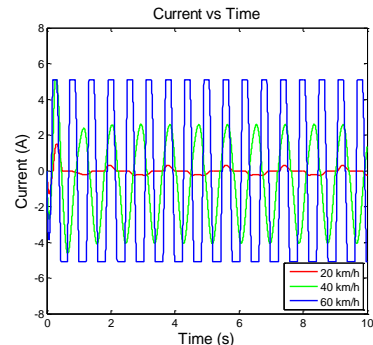
Gambar 8. Gaya redam terhadap waktu akibat input sinusoidal variasi kecepatan kendaraan

Gambar 9 merupakan respon kelistrikan generator akibat input sinusoidal variasi kecepatan kendaraan. Ketiga grafik respon kelistrikan pada gambar 9 menunjukkan *trend* yang sama, yaitu semakin besar kecepatan

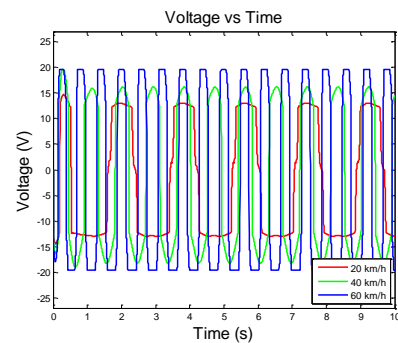
kendaraan maka semakin besar respon arus, tegangan, dan daya listriknya. Untuk daya dan arus listrik yang terjadi pada kecepatan kendaraan 20 km/jam adalah mendekati 0 dikarenakan frekuensi untuk kecepatan kendaraan tersebut hanya sebesar 0.55 Hz. Daya maksimum yang dapat dibangkitkan oleh sistem HMRSA yaitu 100 Watt pada kecepatan 60 km/h. Arus listrik dan tegangan yang dihasilkan pada kecepatan 60 km/h yaitu 5 A dan 20 V. Hal ini sama dengan respon kelistrikan yang dihasilkan HMRSA sebelum diintegrasikan pada sistem seperempat kendaraan.



(a)



(b)



(c)

Gambar 9. Respon kelistrikan generator akibat input sinusoidal variasi kecepatan kendaraan meliputi respon (a) Daya Listrik Bangkitan (b) Arus Listrik (c) Tegangan Listrik

Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan mengenai pengaruh variasi diameter *orifice* terhadap respon dinamis HMRSA, dapat disimpulkan bahwa :

1. Diameter *orifice* sangat berpengaruh pada nilai gaya redam yang dihasilkan pada HMRSA. Semakin kecil diameter *orifice* yang digunakan, semakin besar gaya redam yang dihasilkan. Gaya redam terbesar dihasilkan pada diameter *orifice* 2 mm pada proses kompresi yaitu 16590 N.
2. Diameter *orifice* tidak berpengaruh pada nilai respon kelistrikan generator, baik itu arus, tegangan, maupun daya listrik bangkitan. Daya listrik bangkitan maksimal yaitu sebesar 100 Watt. Sedangkan arus dan tegangan listrik maksimal yang dihasilkan sebesar 5 A dan 19.6 Volt.
3. Pada sistem HMRSA yang diintegrasikan pada seperempat kendaraan dan pemberian input sinusoidal 60 km/jam, nilai maksimum dari gaya redam sebesar 13170 N. Untuk respon daya listrik yang dihasilkan yaitu sebesar 100 Watt, arus listrik sebesar 5 A, dan tegangan listrik sebesar 20 Volt.

Referensi

- [1] M. Donahue. Implementation of an active suspension preview controller for improved ride comfort. MS thesis, The University of California at Berkeley. 2001.
- [2] L. Zuo and P. Zhang. Energy Harvesting, Ride Comfort, and Road Handling of Regenerative Vehicle Suspensions. ASME Journal of Vibration and Acoustics. 2012.
- [3] Zhongjie Li, Lei Zuo, George Luhrs, Liangjun Lin, Yi-xian Qin. Electromagnetic Energy-Harvesting Shock Absorbers: Design, Modeling and Road test. IEEE Transactions on Vehicular Technology. 2012.
- [4] Harus Laksana Guntur, Wiwiek Hendrowati, Rahman Roy Lubis. Development and Analysis of a Regenerative Shock Absorber for Vehicle Suspension. JSME Journal of System Design&Dynamics. Vol7, No.3 (2013) 304-315.
- [5] X. Lin, dan G. Xuexun. Hydraulic Transmission Electromagnetic Energy-regenerative Active Suspension and Its Working Principle. International Conference of Intelligent Systems and Application. 2010.