

Pemodelan dan Analisis Pengaruh Penggunaan *Adaptive Shock Absorber* Menggunakan Variabel *Orifice* Terhadap Karakteristik Gaya Redam dan Respon Dinamis Kendaraan

Muhamad Rai Anggara Putra dan Harus Laksana Gutur
Laboratorium Vibrasi dan Sistem Dinamis

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia
e-mail: haruslg@me.its.ac.id

Abstrak--Saat proses mobil berjalan pada jalanan yang tidak rata, bodi dan roda mobil akan terkena energi *impact* yang berasal dari jalan yang tidak rata. Energi *impact* yang terjadi akan menimbulkan getaran yang tentunya akan menyebabkan ketidaknyamanan bagi pengendara mobil apabila tidak ada suatu sistem yang dapat meredamnya.. Dalam tugas akhir ini dilakukan pemodelan dan analisis pengaruh penggunaan *adaptive shock absorber* dengan variabel *orifice* terhadap karakteristik gaya redam dan respon dinamis kendaraan dengan variasi konstanta pegas variabel *orifice*, frekuensi eksitasi dan kecepatan kendaraan. Tahap awal penelitian ini dilakukan pemodelan dan simulasi karakteristik gaya redam yang dihasilkan sistem shock absorber dengan konvensional *orifice* dan sistem *adaptive shock absorber* dengan variabel *orifice* dengan input sinusoidal dan *bump modified* dengan frekuensi eksitasi 0,8 Hz, 1 Hz, 1,5 Hz, dan 2 Hz dengan variasi parameter konstanta pegas variabel *orifice* untuk sistem *adaptive shock absorber* dengan range sebesar 250-100 N/m, dan diameter awal *orifice* 3 mm untuk kedua jenis shock absorber. Penelitian selanjutnya dilakukan penambahan sistem konvensional dan *adaptive shock absorber* pada sistem seperempat kendaraan dengan input variasi range kecepatan kendaraan 10-120 km/jam. Parameter sistem *adaptive shock absorber* dengan variabel *orifice* yang dipilih adalah konstanta pegas *orifice* 100 N/m dan frekuensi eksitasi 2 Hz. Diharapkan karakteristik gaya redam yang berbeda antara konvensional dan variabel *orifice*. Variabel *orifice* menghasilkan fluktuasi penurunan nilai gaya redam maksimum ekspansi awal dan akhir terbesar dibandingkan jenis konstanta pegas *orifice* sebelumnya, sedangkan konvensional *orifice* memiliki nilai gaya redam maksimum yang tetap. Penurunan gaya redam terhadap waktu pada variabel *orifice* dapat memberikan kemampuan untuk meredam getaran yang lebih baik pada seperempat kendaraan dibandingkan konvensional *orifice* pada saat kecepatan tinggi atau frekuensi tinggi. Penelitian selanjutnya dilakukan penambahan sistem *adaptive shock absorber* pada sistem quartercar dengan variasi kecepatan kendaraan. Dari variasi tersebut, pada kecepatan tertinggi 120 km/jam tersebut diperoleh bahwa perbandingan perpindahan, kecepatan, percepatan bodi kendaraan pada variabel *orifice* lebih kecil dibandingkan konvensional *orifice*.

Kata kunci : *adaptive shock absorber*, variabel *orifice*, konvensional *orifice*, konstanta pegas variabel *orifice*, karakteristik gaya redam, quartercar

I. PENDAHULUAN

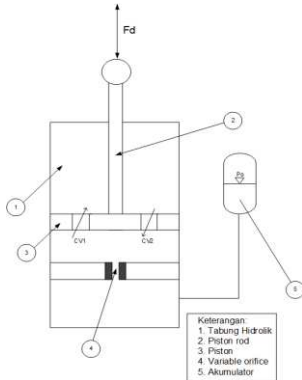
Dewasa ini semakin banyak masyarakat yang menggunakan alat transportasi darat dalam kehidupan sehari-hari. Adanya alat transportasi darat ini dapat mempermudah mobilitas masyarakat untuk berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya. Salah satu alat transportasi darat yang paling sering digunakan adalah mobil. Saat proses mobil berjalan pada jalanan yang tidak rata, bodi dan roda mobil akan terkena energi *impact* yang berasal dari jalan yang tidak rata. Energi kejut yang terjadi akan menimbulkan vibrasi pada bodi mobil, sehingga dapat dirasakan oleh pengendara maupun penumpang yang berada didalamnya. Vibrasi tersebut tentunya akan menyebabkan ketidaknyamanan bagi pengendara mobil apabila tidak ada suatu sistem yang dapat meredamnya. Sehingga pada setiap kendaraan diperlukan suatu sistem untuk meredam vibrasi, salah satunya adalah sistem suspensi. Oleh karena itu keselamatan dan kenyamanan pengendara mobil keduanya tergantung pada sistem suspensi kendaraan.

Sistem suspensi yang biasa digunakan pada mobil yaitu konvensional *shock absorber*. Sistem suspensi dengan *shock absorber* ini menggunakan minyak sebagai fluida kerja, dimana fluida kerja yang digunakan ini menyebabkan terjadinya gaya redaman yang bergantung pada kecepatan relatif terhadap bagian atas silinder hidrolik dan bagian bawah yang dipasangkan pada as roda. Pada tahun 1977, Lang [1] melakukan penelitian mengenai perilaku performa damper, dimana Lang mengembangkan model matematik terhadap performa *shock absorber* berdasarkan karakteristik *dynamic pressure flow* dan *dynamic action* pada *valves* [2]. Berdasarkan penelitian Lang tersebut maka *pressure drop* (Δp) yang terjadi pada damper sangat mempengaruhi terhadap gaya redaman yang terjadi. *Pressure drop* merupakan penurunan tekanan fluida pada silinder hidrolik mengalir secara paksa melalui lubang kecil (*fixed orifice*) dan lubang pipa pada silinder hidrolik [3].

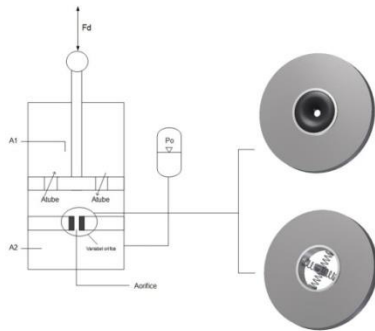
Peraturan mengenai tingkat baku getaran pada tingkat internasional tertuang dalam ISO 2631. Peraturan tersebut menunjukkan bahwa karakteristik redaman dari shock absorber dan respon yang ditimbulkan terhadap bodi kendaraan merupakan hal yang perlu diperhatikan [4]. Oleh karena itu untuk terus meningkatkan pengembangan dari shock absorber, maka perlu dilakukan analisis mengenai sistem suspensi pada mobil dengan menambahkan *variabel orifice*

II. URAIAN PENELITIAN

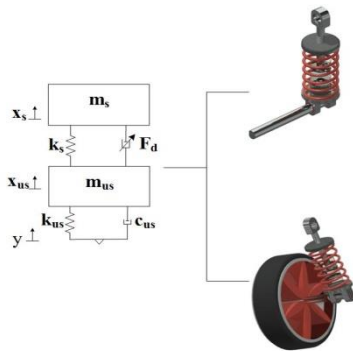
Dalam penelitian ini akan dianalisis karakteristik gaya redaman dari sistem *Adaptive Shock Absorber* dengan input *sinusoidal dan Bump modified*. Berikut pemodelan fisik sistem tersebut:



Gambar 2. 1 Model fisik rancangan sistem adaptive shock absorber



Gambar 2. 2 Bentuk rancangan variabel orifice pada sistem adaptive shock absorber



Gambar 2. 3 Model fisik sistem seperempat kendaraan dengan Fd

Berdasarkan gambar (2.1), (2.2), dan (2.3) pada pemodelan diatas kemudian dibuat persamaan gerak dan *state variable* sebagai berikut.

➤ Sistem Hidrolik dengan Variabel Orifice

Untuk persamaan silinder hidrolik, menggunakan persamaan Bernoulli (2.7).

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gh_2$$

$h_1 = h_2$, sehingga persamaan menjadi:

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_1^2) \tag{1}$$

dimana 1 : saat kondisi awal dan 2 : saat kondisi akhir

a. Hubungan silinder hidrolik dengan *tube* menggunakan persamaan konservasi massa (2.10):

- Saat kondisi ekspansi

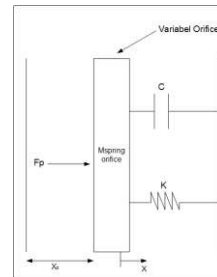
$$F_d = \frac{\rho}{2} A_1 v_1^2 \left(\left(\frac{A_1}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) \tag{2}$$

- Saat kondisi kompresi

$$F_d = \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(\left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 - 1 \right) \tag{3}$$

dimana:

b. Hubungan silinder hidrolik dengan *variabel orifice*:



Gambar 2. 3 Model Dinamis Variabel Orifice

Persamaan getarannya sebagai berikut:

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = F_p$$

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = \Delta P \cdot A_s$$

dimana A_s = Luas permukaan orifice

- Saat kondisi ekspansi dan kompresi

$$Q_1 = Q_{of}$$

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} v_2^2 \left(\left(\frac{A_2}{A_{of}} \right)^2 - 1 \right)$$

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = \Delta P \cdot A_s$$

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = \frac{\rho}{2} v_1^2 \left(\left(\frac{A_1}{A_{of}} \right)^2 - 1 \right) \cdot A$$

dimana:

$$A_{of} = \text{luas awal orifice} = \frac{\pi D_o^2}{4}$$

$$D_o = \text{diamater awal orifice}$$

State variabel =

$$\ddot{x} = \frac{1}{M} [-C\dot{x} - Kx - \frac{\rho}{2} v_2^2 \left(\left(\frac{A_2}{A_{of}} \right)^2 - 1 \right) \cdot A_s]$$

$$F_d = \Delta p \times A_1$$

$$F_d = \frac{\rho}{2} A_1 v_1^2 \left(\left(\frac{A_1}{A_{of2}} \right)^2 - 1 \right)$$

dimana: $A_{of2} = \text{luas akhir orifice} = \frac{\pi(D_o+x(t))^2}{4}$

$x(t)$ = pertambahan diameter orifice terhadap waktu

➤ Persamaan matematis dari FBD 1 pada gambar 2.3 sebagai berikut:

$$m_s \ddot{x}_s + F_d + k_s(x_s - x_{us}) = 0$$

$$\ddot{x}_s = \frac{1}{m_s} [-F_d - k_s x_s + k_s x_{us}] \tag{4}$$

Persamaan *state variable* dari persamaan (8), yaitu:

$$\dot{x} = v$$

$$\dot{v}_s = \frac{1}{m_s} [-F_d - k_s x_s] \tag{5}$$

Persamaan matematis dari FBD 2 pada gambar 2.3 sebagai berikut:

$$m_{us} \ddot{x}_{us} + c_{us}(\dot{x}_{us} - \dot{y}) + k_{us}(x_{us} - y) - F_d - k_s x_s = 0$$

$$\ddot{x}_{us} = \frac{1}{m_{us}} [-c_{us}(\dot{x}_{us} - \dot{y}) - k_{us}(x_{us} - y) + F_d + k_s x_s]$$

.....

.....

.....

$$\tag{6}$$

Persamaan *state variable* dari persamaan (10) yaitu:

$$\dot{x} = v$$

$$\dot{y} = Y$$

$$\dot{v}_{us} = \frac{1}{m_{us}} [-c_{us}(v_{us} - Y) - k_{us}(x_{us} - y) + F_d + k_s x_s] \tag{7}$$

Parameter-parameter untuk pemodelan diperoleh dari berbagai sumber diantaranya dari referensi dan buku yang berkaitan dengan penelitian ini, *catalog*, dan dari pengujian sebelumnya.

Tabel 2. 1
Parameter untuk sistem adaptive shock absorber[5]

Parameter	Nilai
Diameter batang piston (d)	3 cm
Diameter silinder hidrolik (D)	5 cm
Diameter pipa (d _{tube})	2 mm
Massa jenis fluida (ρ)	860 kg/m ³
Viskositas kinematik fluida (ν) (ISO VG 10)	10 mm ² /s
Panjang pipa (L)	1,75 m
Efisiensi volumetric (η _v)	0.88
Efisiensi mekanik (η _m)	0.9
Massa <i>spring orifice</i> (M ₃)	6 x 10 ⁻⁴ Kg
<i>Damping Spring orifice</i> (C ₃)	1 N.s/m

Tabel 2.2
Variasi parameter untuk sistem adaptive shock absorber[5]

D orifice (d ₀),	K pegas orifice (Coefficient stiffness)	Frekuensi
	250 N/m	0.8 Hz
3 mm	200 N/m	1 Hz
	150 N/m	1.5 Hz
	100 N/m	2 Hz

Tabel 2. 3
Parameter untuk sistem seperempat kendaraan (SUV car) [6]

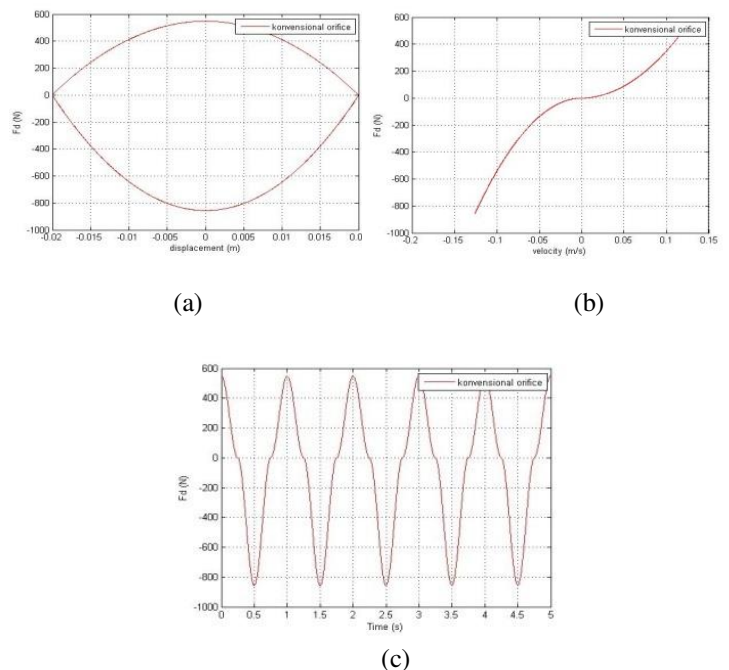
Parameter	Nilai
<i>spring mass</i> (m _s)	650 kg
<i>unsprung mass</i> (m _{us})	55 kg
<i>suspension stiffness</i> (k _s)	27500 N/m
<i>tire stiffness</i> (k _{us})	237000 N/m
<i>Suspension damping coefficient</i> (c _{us})	3000 N.s/m

III. HASIL DAN ANALISA

Dalam pemodelan ini didapatkan respon dinamis dari *Adaptive shock absorber* dengan variabel *orifice* dan sistem seperempat kendaraan dengan menggunakan *adaptive shock absorber* dengan variabel *orifice*. Kemudian didapatkan perbandingan respon dinamis dengan menggunakan konvensional dan variabel *orifice* dan dilakukan analisa.

3.1 Respon Dinamis Pada Sistem Shock Absorber dengan Menggunakan Konvensional Orifice

Sistem shock absorber konvensional *orifice* diberikan diameter *orifice* awal 3mm, input sinusoidal dengan amplitudo 2 cm dan frekuensi eksitasi sebesar 1 Hz, beserta parameter lainnya yang sudah ditentukan. Perlu diketahui bahwa konvensional *orifice* tidak memiliki spring atau hanyalah lubang penyempitan seperti pada umumnya. Waktu yang digunakan untuk simulasi yaitu 5 s. Variasi yang diberikan hanyalah Frekuensi dengan diameter tetap *orifice* awal 3 mm. Berikut respon hasil simulasi pada konvensional *orifice*.



Gambar 3.1 Grafik respon gaya redam terhadap perpindahan (a), kecepatan (b), dan waktu (c) pada silinder hidrolik dengan konvensional *orifice*, diameter *orifice* (d = 3 mm), frekuensi (1 hz)

Gambar 3.1 merupakan grafik respon gaya redam terhadap perpindahan, kecepatan, dan waktu (a – b – c) pada pasangan diameter silinder hidrolik (D = 5 cm), diameter batang piston (d = 3 cm) dengan frekuensi 1 Hz. Pada gambar (a) dan (b) dihasilkan maksimum gaya redam yang dihasilkan saat ekspansi adalah 547,8 N dan saat kompresi adalah -855,9 N. Pada grafik tersebut tidak ada karakteristik lain yang dapat ditunjukkan selain gaya redam yang dihasilkan. Kemudian pada gambar (c) respon gaya redam terhadap waktu, gaya redam yang dihasilkan seiring dengan bertambahnya waktu terlihat selalu konstan sampai pada waktu 5 s, tidak ada perubahan atau perbedaan gaya redam yang terjadi setiap detiknya.

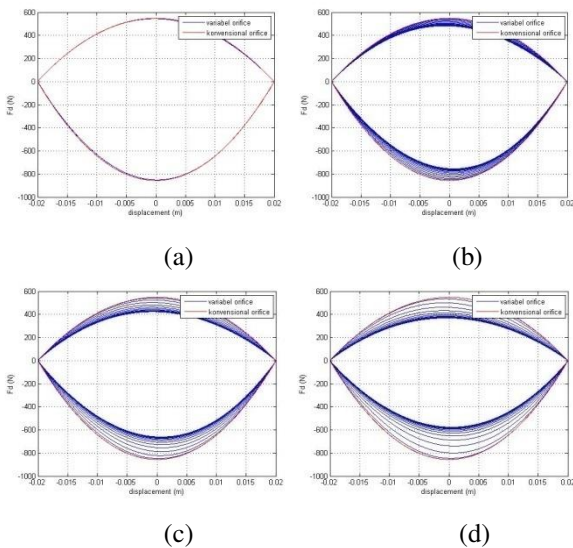
3.2 Respon Dinamis Pada Sistem Adaptive Shock Absorber dengan Variasi K(stiffness) dan Frekuensi dengan Penambahan Variabel Orifice.

Dalam variasi ini, sistem *Adaptive shock absorber* diberikan diameter orifice awal 3mm, input sinusoidal dengan amplitudo 2 cm dan frekuensi eksitasi sebesar 1 Hz. Perlu diketahui bahwa variabel orifice memiliki spring yang memiliki nilai K tertentu, sedangkan untuk konvensional orifice tidak memiliki spring atau hanyalah lubang penyempitan seperti pada umumnya. Waktu yang digunakan untuk simulasi yaitu 15 s,

Tabel 3.1
Variasi parameter untuk sistem adaptive shock absorber

D orifice (d ₀),	K pegas orifice (Coefficient stiffness)	Frekuensi
3mm	250 N/m	0,8 Hz
	200 N/m	1 Hz
	150 N/m	1,2 Hz
	150 N/m	2 Hz

3.2.1 Frekuensi Eksitasi 1(hz)



Gambar 3. 2 Grafik respon gaya redam terhadap perpindahan pada silinder hidrolik dengan variabel orifice dan konvensional orifice dengan variasi nilai Kspring (a). K 250 N/m, (b). K 200 N/m, (c). K150 N/m, (d). K 100 N/m

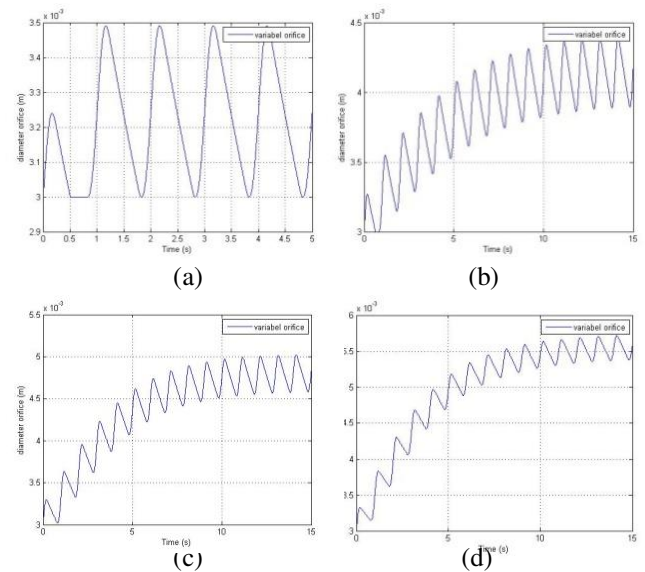
Gambar 3.2 merupakan grafik respon gaya redam terhadap perpindahan antara variabel orifice dengan konvensional orifice (a – b – c – d) pada diameter silinder

hidrolik (D = 5 cm), diameter orifice 3 mm, frekuensi eksitasi 1Hz, dan amplitudo 2 cm dengan variasi nilai Kspring pada variabel orifice. Pada gambar a. (K_{spring} 250 N/m) terlihat perbedaan antara variabel dan konvensional orifice, dimana respon yang terjadi pada konvensional orifice tidak adanya perubahan gaya redaman yang terjadi, berbeda dengan respon yang terjadi pada variabel orifice. Pada variabel orifice gaya redaman maksimum yang dihasilkan terlihat semakin menurun hingga mencapai penurunan pada nilai gaya redaman maksimum tertentu. Sama halnya dengan gambar b.(K_{spring} 200 N/m), c.(K_{spring} 150 N/m), d.(K_{spring} 100 N/m) terlihat perbedaan yang sama antara variabel dan konvensional orifice seperti yang sudah dijelaskan pada gambar (a). Berikut perbedaan nilai gaya redam yang dihasilkan antara variabel dan konvensional orifice yang dijelaskan pada tabel dibawah ini

Tabel 3.2
Gaya redam yang dihasilkan silinder hidrolik dengan variabel orifice

Kspring (N/m)	Variabel Orifice				Δ Ekspansi (N)	Δ Kompresi (N)
	Ekspansi awal max. (N)	Ekspansi akhir max. (N)	Kompresi awal max.(N)	kompresi akhir max.(N)		
250	547,8026	544,37	855,98	850,6597	3,4326	5,3203
200	547,8026	512,57	855,98	814,29	35,2326	41,69
150	547,8026	463,747	855,98	727,468	84,0556	128,512
100	547,8026	411,313	855,98	652,24	136,4896	203,74

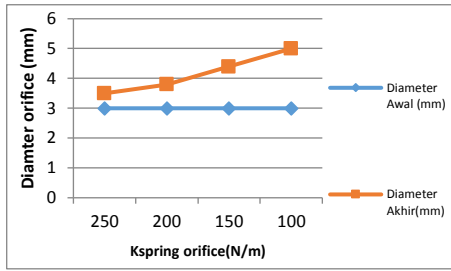
3.2.2 Respon Perubahan Diameter Awal Orifice terhadap Waktu pada Silinder Hidrolik dengan Menggunakan Variabel Orifice



Gambar 3.3 Grafik (a) K 250 N/m, (b) K 200 N/m, (c) K 150 N/m, (d) K 100 N/m respon perubahan diameter awal orifice terhadap waktu pada silinder hidrolik dengan variabel orifice

Gambar 3.3 merupakan grafik diameter awal orifice terhadap waktu pada silinder hidrolik dengan variabel orifice (a-b-c-d), diameter awal orifice 3 mm, frekuensi 1 Hz dengan variasi nilai Kspring orifice. Pada grafik tersebut menunjukkan karakteristik dimana semakin kecil nilai kekakuan Kspring variabel orifice maka penambahan diameter orifice mula-mula akan semakin besar. Pada gambar a. terlihat pada waktu 1,2 s orifice tidak mengalami penambahan diameter, begitupun dengan gambar b, c, d pada waktu melebihi 10 s, orifice sudah tidak mengalami penambahan diameter lagi.

Berikut grafik karakteristik pertambahan diameter orifice pada gambar 3.4.

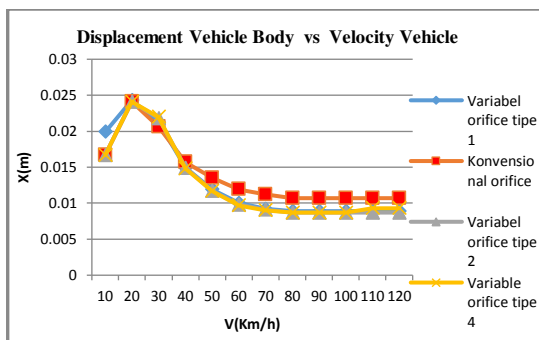


Gambar 3.4 Grafik perbandingan diameter awal dan akhir diameter orifice pada silinder hidrolik dengan variasi nilai Kspring orifice

Gambar 3.4 menunjukkan bahwa peningkatan diameter orifice Δ semakin besar seiring dengan berkurangnya nilai kekakuan Kspring orifice, dimana pada nilai Δ pada Kspring 250 N/m yaitu 0,5 m, Kspring 200 N/m yaitu 0,8 mm, Kspring 150 N/m yaitu 1,4 mm, Kspring 100 N/m yaitu 2mm. Gambar 5.9 terlihat perbandingan antara diameter awal dan akhir peningkatan orifice. Diameter awal untuk semua nilai variasi Kspring orifice tetap 3mm, namun setelah itu terjadi peningkatan diameter sampai pada diameter akhir yang bervariasi Untuk Kspring orifice 250N/m diameter akhirnya yaitu 3,5 mm, Kspring 200 N/m bernilai 3,8 mm, Kspring 150 N/m bernilai 4,4 mm, dan Kspring 100 N/m bernilai 5mm.

3.3 Pengaruh Kecepatan Kendaraan Terhadap Respon Dinamis Sistem Seperempat Kendaraan Dengan Penambahan Adaptive Shock Absorber

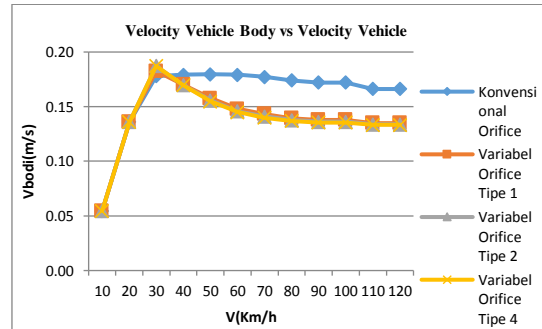
Pengaruh kecepatan kendaraan terhadap respon dinamis sistem seperempat kendaraan yang dihasilkan merupakan perbandingan nilai rms perpindahan, kecepatan dan percepatan *body* kendaraan dengan variasi kecepatan kendaraan 10 km/jam-120 km/jam dengan panjang lintasan 6m. Perbandingan yang akan dihasilkan yaitu antara *adaptive shock absorber variabel orifice* dengan *shock absorber konvensional orifice*.



Gambar 3.5 Grafik Perpindahan Bodi Kendaraan terhadap Kecepatan Kendaraan

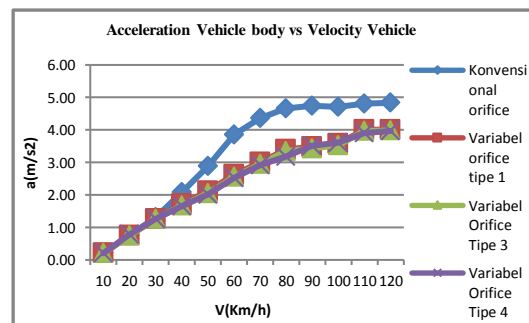
Gambar 3.5 menunjukkan bahwa pada titik tertinggi dari grafik sistem pada konvensional orifice dapat mentransmisikan x_{rms} sebesar 0,0241 m dan variabel orifice tipe 1 sebesar 0,0243 m, tipe 2 sebesar 0,0241 m, dan tipe 4 sebesar 0,0241 m saat kecepatan kendaraan 20 km/jam (0,9 Hz) dengan amplitudo jalan yang digunakan sebesar 2 cm

(0,02 m) dan panjang gelombang 6 m. Kemudian ketika kecepatan kendaraan mencapai 60 km/jam (2,8 Hz) sistem pada konvensional orifice dapat mentransmisikan x_{rms} sebesar 0,0119 m dan variabel orifice tipe 1 sebesar 0,01 m, tipe 2 sebesar 0,0098 m, dan tipe 3 sebesar 0,0097 m. Kemudian pada saat kendaraan bergerak dengan kecepatan tertinggi yaitu 120 km/jam (5,55 Hz) sistem pada konvensional orifice dapat mentransmisikan x_{rms} sebesar 0,0107 m dan variabel orifice tipe 1 sebesar 0,0089 m, tipe 2 sebesar 0,0087 m, dan tipe 3 sebesar 0,0093 m.



Gambar 3.6 Grafik Kecepatan Bodi Kendaraan terhadap Pertambahan Kecepatan Kendaraan

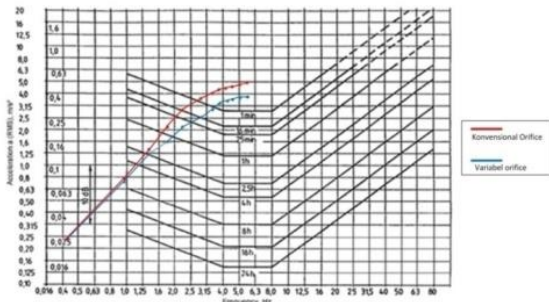
Gambar 3.6 menunjukkan bahwa pada titik tertinggi dari grafik sistem pada konvensional orifice dapat mentransmisikan v_{rms} sebesar 0,180 m/s dan variabel orifice tipe 1 sebesar 0,183 m/s, tipe 2 sebesar 0,187 m/s, dan tipe 4 sebesar 0,187 m/s saat kecepatan kendaraan 20 km/jam (0,9 Hz) dengan amplitudo jalan yang digunakan sebesar 2 cm (0,02 m) dan panjang gelombang 6 m. Kemudian ketika kecepatan kendaraan mencapai 60 km/jam (2,8 Hz) sistem pada konvensional orifice dapat mentransmisikan v_{rms} sebesar 0,179 m dan variabel orifice tipe 1 sebesar 0,148 m/s, tipe 2 sebesar 0,146 m/s, dan tipe 3 sebesar 0,145 m/s. Kemudian pada saat kendaraan bergerak dengan kecepatan tertinggi yaitu 120 km/jam (5,55 Hz) sistem pada konvensional orifice dapat mentransmisikan v_{rms} sebesar 0,166 m/s dan variabel orifice tipe 1 sebesar 0,135 m/s, tipe 2 sebesar 0,134 m/s, dan tipe 3 sebesar 0,133 m/s.



Gambar 3.7 Grafik Percepatan Bodi Kendaraan terhadap Pertambahan Kecepatan Kendaraan

Gambar 3.7 menunjukkan bahwa pada titik tertinggi dari grafik sistem pada konvensional orifice dapat mentransmisikan a_{rms} sebesar 4,835 m/s^2 dan variabel orifice tipe 1 sebesar 4,009 m/s^2 , tipe 3 sebesar 3,980 m/s^2 , dan tipe 4 sebesar 3,968 m/s^2 saat kecepatan kendaraan 120 km/jam (5,5 Hz) dengan amplitudo jalan yang digunakan sebesar 2 cm (0,02 m) dan panjang gelombang 6 m. Kemudian ketika kecepatan kendaraan mencapai 60 km/jam (2,8 Hz) sistem

pada konvensional orifice dapat mentransmisikan arms sebesar $3,852 \text{ m/s}^2$ dan variabel orifice tipe 1 sebesar $2,623 \text{ m/s}^2$, tipe 3 sebesar $2,561 \text{ m/s}^2$, dan tipe 4 sebesar $2,534 \text{ m/s}^2$. Kemudian pada saat kendaraan bergerak dengan kecepatan rendah yaitu 20 km/jam ($0,926 \text{ hz}$) sistem pada konvensional orifice dan variabel orifice dapat mentransmisikan arms yang hampir sama yaitu sebesar $0,750 \text{ m/s}^2$.



Gambar 3.8 Ketahanan pengemudi terhadap percepatan body kendaraan,.

Gambar 3.8 menunjukkan waktu ketahanan pengemudi terhadap percepatan body kendaraan untuk sistem seperempat kendaraan menggunakan *adaptive shock absorber* dengan variabel orifice ($K_{\text{spring}} 100 \text{ N/m}$) lebih baik dibandingkan konvensional orifice pada profil jalan sinusoidal untuk kecepatan 10 km/jam pengendara dapat bertahan selama 24 jam. Pada kecepatan 20 km/jam pengendara dapat bertahan kurang dari 8 jam. Untuk kecepatan 30 km/jam pengendara dapat bertahan selama 2,5 jam. Pada kecepatan 40 km/jam pengendara dapat bertahan kurang dari 2,5 jam. Pada kecepatan 50 km/jam pengendara dapat bertahan kurang dari 1 jam. Pada kecepatan 60 km/jam pengendara dapat bertahan selama 16 menit. Pada kecepatan 70 km/jam pengendara dapat bertahan kurang 1 menit dan untuk kecepatan $80-120 \text{ km/jam}$ pengendara hanya dapat bertahan kurang dari 1 menit

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisis pada sistem *adaptive shock absorber* dan sistem seperempat kendaraan dengan penambahan variabel orifice, maka dapat disimpulkan bahwa semakin kecil nilai K_{spring} Orifice yang digunakan pada *adaptive shock absorber* dengan variabel orifice, maka penurunan gaya redam ekspansi dan kompresi maksimum yang dihasilkan semakin besar. Berbeda dengan shock absorber dengan konvensional orifice yang memiliki gaya redam maksimum yang tetap/tidak mengalami kenaikan atau penurunan. Semakin kecil nilai K_{spring} orifice pada *adaptive shock absorber* dengan menggunakan variabel orifice, maka kenaikan Δ diameter orifice semakin besar. Untuk $K_{\text{spring}} 250 \text{ N/m}$ Δ diameter $0,5 \text{ mm}$, $K_{\text{spring}} 200 \text{ N/m}$ Δ diameter $0,8 \text{ mm}$, $K_{\text{spring}} 150 \text{ N/m}$ Δ diameter $1,4 \text{ mm}$, $K_{\text{spring}} 250 \text{ N/m}$ Δ diameter 2 mm . Semakin besar frekuensi eksitasi pada *adaptive shock absorber* menggunakan variabel orifice dengan nilai K_{spring} terkecil sebesar 100 N/m , maka penurunan gaya redam ekspansi dan kompresi maksimum yang dihasilkan akan semakin besar. Pada saat kecepatan rendah sebesar $0-30 \text{ km/jam}$ *Adaptive shock absorber* dengan variabel orifice dan shock absorber dengan konvensional orifice memiliki X_{rms} yang hampir sama. Sedangkan saat kecepatan tinggi sebesar $40-120 \text{ km/jam}$ nilai X_{rms} akhir variabel orifice lebih kecil dari konvensional orifice. Pada saat kecepatan rendah $0-30 \text{ km/jam}$ *Adaptive shock absorber* dengan variabel orifice dan

shock absorber dengan konvensional orifice memiliki V_{rms} yang hampir sama. Sedangkan saat kecepatan tinggi sebesar $40-120 \text{ km/jam}$ nilai V_{rms} akhir variabel orifice lebih kecil dari konvensional orifice. Pada saat kecepatan rendah sebesar $0-30 \text{ km/jam}$ *Adaptive shock absorber* dengan variabel orifice dan shock absorber dengan konvensional orifice memiliki a_{rms} yang hampir sama. Sedangkan saat kecepatan tinggi sebesar $40-120 \text{ km/jam}$ nilai a_{rms} akhir variabel orifice lebih kecil dari konvensional orifice. Berdasarkan grafik ISO-2631, untuk sistem seperempat kendaraan dengan sistem konvensional orifice dan variabel orifice pada profil jalan sinusoidal pada kecepatan 0 sampai 120 km/jam memiliki waktu ketahanan yang berbeda untuk penumpang, dimana adaptive shock absorber dengan variabel orifice memiliki waktu ketahanan penumpang yang lebih lama dibanding dengan shock absorber konvensional orifice.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dr. Harus Laksana Guntur ST, M.Eng yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Lang H.H. 1997. A Study of the Characteristics of Automotive Hydraulic Dampers at High Stroking Frequencies. Ph.D. Dissertation. University of Michigan. Ann Arbor
- [2] W. Kortum, M. Valasek, O. Vaculin: COPERNICUS. Semi-Active Damping of Truck Suspensions and their Influence on Driver and Road Loads, Final Technical Report. SADTS, CIPA-CT-94-0 130, DLR (Project Coordinator), WeBling, 1998.
- [3] Zhang, H., Guo, X., Xu, L., Hu, S., Fang, Z., May. 2014. Parameters Analysis of Hydraulic-Electrical Energy Regenerative Absorber on Suspension Performance. Hindawi Publishing Corporation
- [4] Annuar, Kapsul. 2014. Karakteristik Redaman dan Energi bangkitan dari Regeneratif Shock Absorber dengan Motor Hidrolik. Surabaya : Teknik mesin ITS
- [5] Benaziz, S. Nacivet, Thouverez. 2012. Nonlinear dynamic analysis of a shock absorber hydraulic spring valve. France: La Garenne-Colombes
- [6] Santosa, Dikki Tesna, Sumardi, dan Triwiyatno, Aris. 2012. Perancangan Sistem Suspensi Aktif Nonlinear Tipe Paralel dengan Kendali Hybrid Fuzzy PID pada Model Seperempat Kendaraan. Semarang: Universitas Diponegoro.