# Pemodelan dan Analisis Pengaruh Perubahan Parameter *Variable Orifice* Sistem Suspensi Hidrolik Terhadap Gaya Redam yang Dihasilkan dan Respon Dinamis Penumpang pada Sepeda Motor Honda Beat 2009

Ayu Aulia Hakim dan Harus Laksana Guntur
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* — Salah satu kendaraan yang paling banyak dipakai masyarakat Indonesia adalah sepeda motor. Kendaraan ini harus di desain senyaman mungkin agar pengendara tidak mudah lelah terutama saat berjalan di jalan yang tidak rata. Salah satu aspek yang dapat mempengaruhi kenyamanan sepeda motor saat dikendarai adalah kemampuan sistem suspensi untuk meredam getaran yang ditimbulkan oleh mesin motor itu sendiri maupun akibat profil jalan yang tidak rata. Salah satu cara untuk meningkatkan kenyamanan yaitu memodifikasi sistem suspensi hidrolik dengan *variable orifice*. Dalam tugas akhir ini dilakukan pemodelan dan simulasi dari sistem setengah kendaraan sepeda motor dengan perubahan parameter pada sistem suspensi hidroliknya. Parameter yang diubah adalah dimensi dan posisi dari *orifice* yang awalnya berbentuk lingkaran dengan diameter 0,0019m menjadi bentuk persegi panjang dengan lebar 0,002834m dan panjang 0,003m. Sistem suspensi dan sistem setengah kendaraan sepeda motor dengan pemasangan sistem suspensi *variable orifice* disimulasikan pada MATLAB. Parameter yang dibutuhkan untuk menjalankan simulasi seperti diameter piston (0,01616m), *piston rod* (0,0081m), dan *orifice*, selain itu juga parameter dari kendaraan seperti massa (44,65kg), seluruh koefisien pegas dan damping pada kendaraan. Simulasi dilakukan untuk mencari gaya redam dan respon dinamis yang lebih baik dari sistem suspensi sebelum modifikasi.Dari hasil simulasi pada sistem suspensi *variable orifice shock absorber* didapatkan bahwa perubahan dimensi dan posisi dari *orifice* mempengaruhi besarnya gaya redam yang terjadi serta mengubah karakteristik dari respon dinamis yang ditimbulkan oleh penumpang pada kendaraan dengan penggunaan sistem suspensi tersebut. Gaya redam terbesar dimiliki oleh sistem suspensi *variable orifice* pada semua variasi frekuensi saat kompresi maupun ekspansi. Karakteristik dari gaya redam sistem suspensi *variable orifice* mengikuti besarnya perpindahan piston, setiap perpindahan piston akan menghasilkan nilai gaya redam yang berbeda. Respon dinamis berupa perpindahan, kecepatan, dan percepatan pada sistem suspensi *variable orifice* pada semua variasi frekuensi memiliki nilai yang lebih kecil dibanding dengan sistem suspensi sebelum modifikasi. Untuk percepatan RMS dan perpindahan RMS pada sistem suspensi *variable orifice* masih lebih baik dibanding dengan sistem suspensi sebelum modifikasi.**

***Kata kunci*— *sistem suspensi sepeda motor, hidrolik shock absorber, respon dinamis, parameter, variable orifice.***

## I. PENDAHULUAN

Di era modern ini masyarakat dengan mobilitas tinggi membutuhkan kendaraan yang nyaman untuk berpindah dari satu tempat ke tempat lain, baik itu jarak dekat maupun jarak jauh. Menurut Badan Pusat Statistik, salah satu kendaraan yang paling banyak digunakan masyarakat Indonesia adalah sepeda motor. Kendaraan ini harus didesain senyaman mungkin agar pengendara tidak mudah lelah saat berkendara, karena kelelahaan dapat membuat pengendara lalai sehingga memicu kecelakaan lalu lintas. Berdasarkan data dari WHO (World Health Organization) pada tahun 2015 Indonesia menjadi negara ketiga dengan total kematian akibat kecelakaan lalu lintas terbanyak di Asia.

Salah satu upaya untuk menekan angka kecelakaan lalu lintas di Indonesia adalah dengan meningkatkan kenyamanan sepeda motor itu sendiri. Saat sepeda motor digunakan, pengemudi maupun penumpang akan merasakan getaran yang disebabkan oleh profil jalan yang tidak rata, maupun getaran yang berasal dari mesin kendaraan. Getaran ini tentu saja akan mengganggu pengemudi dan penumpang dalam perjalanannya, karena itu diciptakan sistem suspensi untuk meredam getaran tersebut semaksimal mungkin.

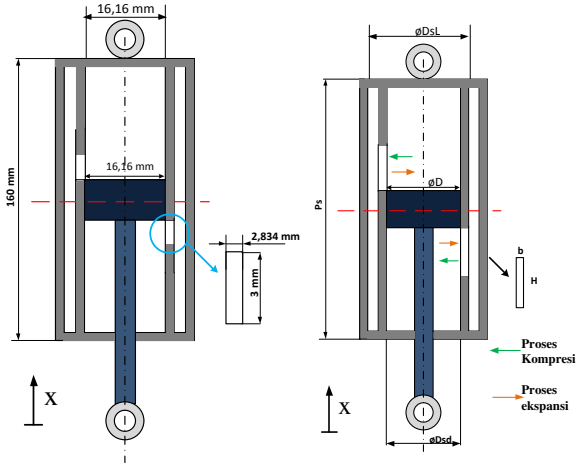
Batasan getaran yang boleh diterima oleh pengemudi selama mengendarai kendaran tercantum dalam ISO 2631[1]. Untuk memenuhi kriteria yang telah ditetapkan pada ISO 2631 perlu dikembangkan *shock absorber* untuk mencapai respon yang diinginkan yaitu kenyamanan bagi penumpang dan pengemudi dalam kondisi jalan yang bervariasi maupun saat terjadi perubahan kecepatan dan perubahan massa muatan. Agar sistem suspensi memiliki performa yang lebih baik maka perlu dilakukan analisa untuk mengetahui karakteristik gaya redam dan respon dinamis dari sistem suspensi sepeda motor dengan *variable orifice*.

## II. URAIAN PENELITIAN

Dalam penelitian ini akan dianalisa karakteristik gaya redam dan respon dinamis dari penumpang sepeda motor dengan cara pemodelan setengah kendaraan sepeda motor beserta pemasangan sistem suspensinya. Gambar 1 adalah pemodelan fisik dan dinamis sistem suspensi *variable orifice*.

*Variable orifice shock absorber* terdiri dari dua buah silinder yaitu silinder dalam dan luar, serta memiliki dua *orifice* yang terletak pada dinding silinder dalam *shock*

*absorber*, masing – masing berada di ruang atas dan bawah piston, pada sisi yang berlawanan. Kedua *orifice* memiliki luasan yang sama yaitu A= b x H, dimana b adalah lebar *orifice* sedangkan H adalah panjang *orifice*. Maksud dari *variable orifice* pada penelitian ini adalah luasan *orifice* yang berubah-ubah sesuai dengan perubahan posisi piston terhadap sumbu x, saat proses kompresi maupun ekspansi tebal piston akan menutup sebagian *orifice* sehingga gaya redam yang dihasilkan akan berbeda disetiap perpindahan piston. Saat menghitung gaya redam maka rumus luasan *orifice* tersebut menjadi $A = b(H - x)$, dimana $x$ adalah jarak perpindahan piston saat naik atau turun sesuai proses yang sedang berlangsung (kompresi atau ekspansi), $x$ disini merupakan fungsi waktu.




Gambar 1 Gambar fisik *variable orifice shock absorber*

Berikut adalah langkah-langkah perumusan gaya redam pada *variable orifice shock absorber* :
Perumusan gaya redam didapat dari hukum Pascal :

$$F = \Delta P.\, A \tag{1}$$

Mencari perumusan perbedaan tekanan dengan prinsip Bernoulli :

$$P_o + \frac{1}{2}\rho {v_o}^2 + \rho g h_o = P_p + \frac{1}{2}\rho {v_p}^2 + \rho g h_p \tag{2}$$

Mencari perbedaan tekanan pada penelitian ini diasumsikan $h_o = h_p$ , sedangkan $g$ dianggap sama maka persamaan menjadi :

$$\frac{P_o}{\rho} + \frac{v_o^2}{2} = \frac{P_p}{\rho} + \frac{v_p^2}{2} \tag{3}$$

$$\Delta P = \frac{\rho}{2}\left(v_o^2 - v_p^2\right) \tag{4}$$

Dari hukum konservasi massa didapatkan persamaan sebagai berikut :

- Kompresi

$$A_p.\, v_p = A.\, v_{ok} \tag{5}$$

$$v_{ok} = \frac{A_p}{A}\, v_p \tag{6}$$

- Ekspansi

$$\left(A_p - A_{pr}\right).\, v_p = A.\, v_{oe} \tag{7}$$

$$v_{oe} = \frac{A_p - A_{pr}}{A}\, v_p \tag{8}$$

dimana,

$$A_p = \frac{1}{4}\pi D^2 \tag{9}$$

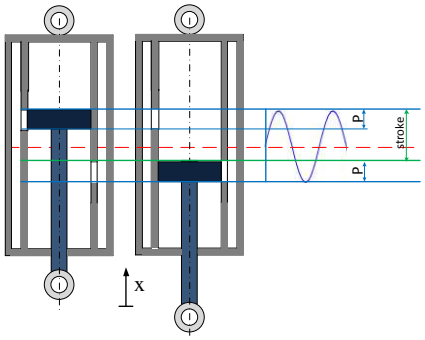
luasan pada masing-masing *orifice* adalah sama, sehingga :

$$A_{upper} = A_{lower} = A = b(H - x) \tag{10}$$

Dimana b adalah lebar *orifice*, H adalah panjang *orifice* modifikasi dan $x$ adalah jarak perpindahan piston yang disamakan dengan input jalan saat disimulasikan. Saat melakukan proses ekspansi maupun kompresi, piston bergerak naik turun sejauh $x$, setiap perpindahan sejauh $x$ ini gaya redam yang dihasilkan berbeda disetiap perpindahannya, $x$ pada persamaan ini memiliki persamaan sebagai berikut :

$$x = P\ Sin\ \omega t \tag{11}$$

dimana P adalah amplitudo dari pergerakan piston.




Gambar 2 Ilustrasi pergerakan piston *variable orifice*

$$\mathrm{P} = \frac{1}{2}(\text{stroke piston} - \text{tebal piston}) \tag{12}$$

$$\mathrm{P} = \frac{1}{2}(0{,}045\mathrm{m} - 0{,}03\mathrm{m}) \tag{13}$$

$$\mathrm{P} = 0{,}0075\ \mathrm{m}$$

Perumusan perbedaan tekanan dengan substitusi persamaan konservasi massa ke persamaan perbedaan tekanan sehingga didapat perbedaan tekanan saat kompresi sebagai berikut :

- Kompresi

$$\Delta P = \frac{\rho}{2}\left(v_{ok}^2 - v_p^2\right) \tag{14}$$

$$\Delta P = \frac{\rho}{2}\left(\left(\frac{A_p}{A}\, v_p\right)^2 - v_p^2\right) \tag{15}$$

$$\Delta P = \frac{\rho}{2}\left(\left(\frac{A_p}{b(H-x)}\right)^2 - 1\right) v_p^2 \tag{16}$$

$$\Delta P = \frac{\rho}{2}\left(\left(\frac{A_p}{b(H-x)}\right)^2 - 1\right) v_p^2 \tag{17}$$

Dengan cara yang sama maka didapatkan persamaan perbedaan tekanan saat ekspansi sebagai berikut :

- Ekspansi

$$\Delta P = \frac{\rho}{2}\left(v_{oe}^2 - v_p^2\right) \tag{18}$$

$$\Delta P = \frac{\rho}{2}\left(\left(\frac{A_p - A_{pr}}{b(H-x)}\right)^2 - 1\right) v_p^2 \tag{19}$$

Persamaan gaya redam didapat dari substitusi persamaan perbedaan tekanan dan luasan ke persamaan hukum pascal sehingga didapat gaya redam sebagai berikut :

- Kompresi

$$F_{Dk} = \Delta P.\, A_k \tag{21}$$

$$F_{Dk} = \left[\frac{\rho}{2}\left(\left(\frac{A_p}{b(H-x)}\right)^2 - 1\right) v_p^2\right]\frac{1}{4}\pi D^2 \tag{22}$$

$$F_{Dk} = \left[\left(\left(\frac{A_p}{b(H-x)}\right)^2 - 1\right)\frac{\rho \pi D^2}{8} v_p^2\right] \tag{23}$$

$$F_{Dk} = \left[\left(\frac{\rho\pi D^2}{8}\left(\frac{A_p}{b(H-x)}\right)^2\right) - \left(\frac{\rho\pi D^2}{8}\right)\right] v_p^2 \quad (24)$$

$$F_{Dk} = \left[\left(\frac{\rho\pi D^2 {A_p}^2}{8b^2(H-x)^2}\right) - \left(\frac{\rho\pi D^2}{8}\right)\right] v_p^2 \quad (25)$$

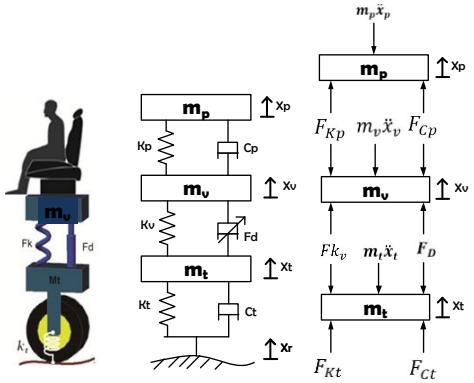
- Ekspansi

$$\mathrm{F} = \Delta P.A_e \quad (26)$$

$$F_{De} = \left[\frac{\rho}{2}\left(\left(\frac{A_p - A_{pr}}{b(H-x)}\right)^2 - 1\right) v_p^2\right] \frac{1}{4}\pi(D^2 - d^2) \quad (27)$$

$$F_{De} = \left[\left(\frac{\rho\pi(A_p - A_{pr})^2(D^2-d^2)}{8b^2(H-x)^2}\right) - \left(\frac{\rho\pi(D^2-d^2)}{8}\right)\right] v_p^2 \quad (27)$$

Kemudian sistem suspensi *variable orifice* ini diaplikasikan pada sistem setengah kendaraan sepeda motor. Berikut ini adalah pemodelan fisik dan dinamis dari sistem setengah kendaraan dengan menggunakan sistem suspensi *variable orifice*.




Gambar 3 Model fisik dan *dinamis* sistem setengah kendaraan sepeda motor dengan *variable orifice shock absorber*

Setelah mendapatkan model dinamis seperti gambar 3 maka dibuat persamaan matematisnya sebagai berikut :

a. Massa ban

$$+\uparrow \sum F = m_t\ddot{x}_t \quad (28)$$

$$+\uparrow \; -m_t\ddot{x}_t - F_{Dk} + F_{Ct} - F_{Kv} + F_{Kt} = 0 \quad (29)$$

b. Massa kendaraan

$$+\uparrow \sum F = m_v\ddot{x}_v \quad (30)$$

$$+\uparrow \; -m_v\ddot{x}_v + F_{Dk} + F_{Kv} - F_{Cp} - F_{Kp} = 0 \quad (31)$$

c. Massa penumpang

$$+\uparrow \sum F = m_p\ddot{x}_p \quad (32)$$

$$+\uparrow \; -m_p\ddot{x}_p + F_{Cp} + F_{Kp} = 0 \quad (33)$$

Tabel 1.
Keterangan rumus

| Simbol | Keterangan |
|---|---|
| $D$ | diameter piston |
| $d$ | diameter piston rod |
| $do$ | diameter *orifice* |
| $v_{ok}$ | kecepatan fluida saat kompresi |
| $v_{oe}$ | kecepatan fluida saat ekspansi |
| $v_p$ | kecepatan piston |
| $A_k$ | luasan kompresi (luasan piston) |
| $A_e$ | luasan ekspansi |
| $A_p$ | luasan piston |
| $A_o$ | luasan *orifice* |
| $A_{pr}$ | Luasan *piston rod* |
| $b$ | Lebar *orifice* modifikasi |
| H | panjang *orifice* baru |
| $\rho$ | massa jenis fluida |
| $F_{De}$ | gaya redam saat ekspansi |
| $F_{Dk}$ | gaya redam saat ekspansi |
| $m_p$ | massa penumpang |
| $m_v$ | massa kendaraan |
| $m_t$ | massa roda |
| $K_p$ | konstanta kekakuan alas duduk penumpang |
| $K_v$ | konstanta kekakuan pegas *shock absorber* |
| $K_t$ | konstanta kekakuan ban |
| $C_p$ | konstanta redaman alas duduk penumpang |
| $C_t$ | konstanta redaman ban |
| $P_{pr}$ | Panjang *piston rod* |

Setelah mendapatkan persamaan matematis dari sistem setengah kendaraan sepeda motor dengan pemasangan sistem suspensi *variable orifice* langkah selanjutnya yaitu membuat blok diagram berdasarkan pemodelan yang telah dilakukan untuk melakukan simulasi pada MATLAB. Simulasi yang dilakukan pada sistem setengah kendaraan menggunakan *input* sinusoidal yang dilakukan pada kecepatan 20 km/jam sampai 80 km/jam dengan kenaikan 20 km/jam, dan *input bump* dengan *low impact* yang menggunakan *severity* parameter 1 serta *high impact* yang menggunakan *severity* parameter 5. Simulasi gaya redam terhadap perpindahan dan kecepatan dilakukan variasi frekuensi mulai dari 0,5 Hz sampai 2 Hz dengan kenaikan 0,5 Hz. Semua simulasi menggunakan amplitudo jalan 0,02 m.Parameter-parameter untuk melakukan simulasi didapatkan dari jurnal referensi terdapat pada tabel berikut :

Tabel 2.
Parameter sepeda motor Honda Beat

| Parameter | Nilai | Keterangan |
|---|---|---|
| Massa total penumpang ($m_p$) | 80 kg | - |
| Konstanta damping alas duduk ($c_p$) | 1165 N.s/m | - |
| Konstanta pegas alas duduk ($k_p$) | 200 N/m | - |
| Massa kendaraan kosong ($m_V$) | 44,65 Kg | - |
| Konstanta pegas suspensi kendaraan ($k_V$) | 11062 N/m | - |
| Massa ban ($m_t$) | 6,6 Kg | - |
| Konstanta damping ban ($c_t$) | 3430 N.s/m | *Radial Tire* 28 Psi |
| Konstanta pegas ban ($k_t$) | 1143 N/m | |

Tabel 3.
Parameter *variable orifice shock absorber*

| Keterangan | Dimensi (mm) |
|---|---|
| Lebar *variable orifice* | 3 |
| Panjang *variable orifice* | 2,834 |

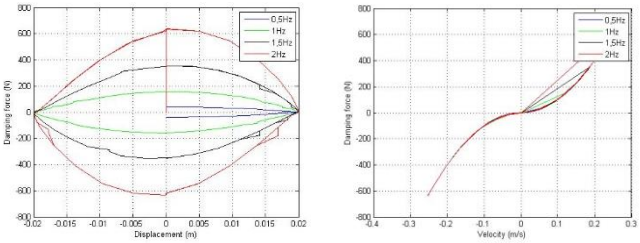
Dari pemodelan dan simulasi yang dilakukan, didapatkan besarnya gaya redam dan respon dinamis pada masing-masing variasi frekuensi. Respon dinamis yang dimaksud pada penelitian ini adalah respon perpindahan dan kecepatan

terhadap gaya redam, serta respon perpindahan, kecepatan, dan percepatan terhadap waktu [3].

## III. HASIL DAN ANALISA

Simulasi dari pemodelan yang dilakukan menghasilkan respon dinamis.

### 3.1 Respon Dinamis Sistem Suspensi *Variable Orifice Shock Absorber*




Gambar 4. Respon gaya redam terhadap perpindahan

Gambar 4 adalah grafik respon gaya redam terhadap perpindahan dan kecepatan dengan variasi frekuensi 0,5 Hz, 1 Hz, 1,5 Hz, dan 2 Hz. Pada grafik respon gaya redam terhadap perpindahan dapat dilihat bahwa semakin besar frekuensi maka semakin besar pula gaya redam yang dihasilkan oleh sistem suspens, sesuai perumusan $F = \Delta P.A$, $\Delta P$ dipengaruhi oleh kecepatan piston, sedangkan kecepatan piston dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan, dimana kecepatan kendaraan berbanding lurus dengan frekuensi ($f = \frac{v}{\lambda}$). Sesuai dengan penjelasan sebelumnya maka frekuensi berbanding lurus dengan kecepatan, selain itu kecepatan berbanding lurus dengan gaya redam yang dihasilkan. Grafik gaya redam terhadap perpindahan untuk melihat pengaruh frekuensi terhadap besarnya gaya redam yang terjadi, sedangkan grafik gaya redam terhadap kecepatan untuk melihat karakteristik getaran, dari *trendline* grafik dapat mencari nilai zeta untuk mengategorikan apakah getaran yang terjadi itu termasuk *underdamped, overdamped* atau *critically damped.*

Pada grafik 4 gaya redam terhadap perpindahan dan gaya redam terhadap kecepatan terdapat nilai negatif yang menunjukkan proses kompresi yang terjadi pada sistem suspensi, sedangkan nilai positif menunjukkan proses ekspansi pada sistem suspensi. Pada sistem suspensi ini nilai gaya redam kompresi lebih besar jika dibandingkan dengan gaya redam saat ekspansi, hal ini dikarenakan perbandingan jumlah *orifice* yang ada pada dinding silinder adalah satu banding satu untuk kompresi dan ekspansi, selain itu juga pengaruh luasan yang bekerja saat kompresi lebih besar ($A_p$) dibanding luasan yang yang bekerja saat proses ekspansi ($A_p$ - $A_{pr}$) sesuai persamaan 4.53 dan 4.57, dimana luasan yang bekerja tersebut berpengaruh pada besarnya gaya redam yang terjadi saat ekspansi maupun kompresi karena luasan berpengaruh terhadap perbedaan tekanan yang terjadi sesuai perumusan $F = \Delta P.A$.

Karakteristik dari grafik gaya redam terhadap kecepatan maupun percepatan dari sistem suspensi *variable orifice* sama dengan sistem suspensi sebelum modifikasi. Pada grafik gaya redam terhadap perpindahan terlihat jelas perbedaan grafik antara masing-masing frekuensi, namun pada grafik frekuensi 0,5 Hz tampak hanya setengah siklus kerja dari sistem suspensi, hal tersebut dikarenakan waktu *setting* simulasi yang terlalu pendek, sehingga sistem suspensi memang belum mencapai dua siklus kerjanya. Pada grafik respon gaya redam terhadap kecepatan tidak terlihat perbedaan antara grafik frekuensi 0,5 Hz dan 1 Hz, karena grafik pada frekuensi tersebut berhimpit dengan grafik frekuensi 1,5 Hz dan 2 Hz.

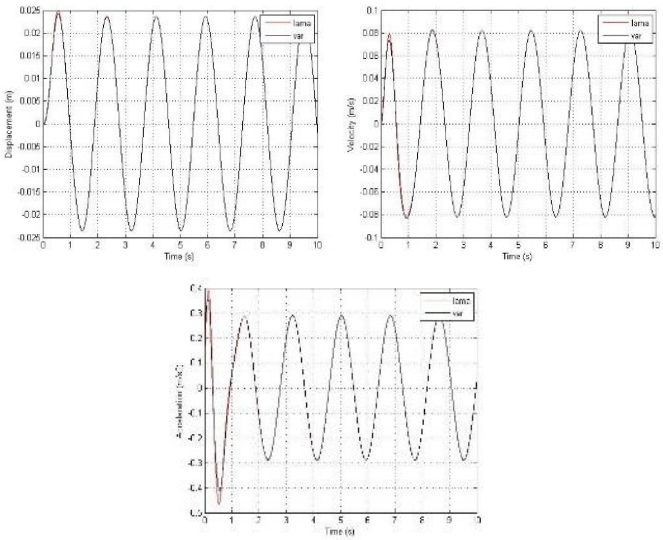
Tabel 4.
Gaya redam pada sistem suspensi *variable orifice*

| Frekuensi (Hz) | Panjang orifice (mm) | Lebar orifice (mm) | Gaya redam ekspansi (N) | Gaya redam kompresi (N) |
|---|---|---|---|---|
| 0,5 | 0,003 m | 0,002834 m | 39,3181 | 39,4782 |
| 1 | | | 162,5621 | 157,9134 |
| 1,5 | | | 342,5247 | 355,3055 |
| 2 | | | 649,0688 | 650,2498 |

### 3.2 Perbandingan Respon Dinamis Penumpang pada Sistem Setengah Kendaraan Sepeda Motor dengan Penggunaan Sistem Suspensi Sebelum Modifikasi dan Sistem Suspensi *Variable Orifice Shock Absorber*

#### 3.2.1 *Input* Sinusoidal

a. Kecepatan 20 km/jam




Gambar 5. Grafik respon perpindahan, kecepatan, dan percepatan pada 20 km/jam

Tabel 5.
Nilai respon dinamis hasil simulasi setengah kendaraan sepeda motor dengan sistem suspensi sebelum modifikasi dan sistem suspensi *variable orifice* (v = 20 km/jam) [4]

| Jenis Suspensi | Perpindahan *Max* (m) | Kecepatan *Max*. (m/s) | Percepatan Max ($m/s^2$) |
|---|---|---|---|
| Sebelum modifikasi | 0,0250 | 0,0828 | 0,4653 |
| *Variable orifice* | 0,0242 | 0,0836 | 0,4127 |

Grafik pada gambar 5 dan data pada tabel 5 menunjukkan bahwa respon dinamis yang dimiliki sistem suspensi *variable orifice* lebih kecil dibanding sistem suspensi sebelum modifikasi. Kedua sistem suspensi ini mencapai *steady state*

dalam waktu yang sama. Perbedaan perpindahan maksimum kedua sistem suspensi hanya mencapai 3,2% dari perpindahan maksimum sebelum modifikasi.

Untuk hasil simulasi pada kecepatan 40 km/jam, 60 km/jam, dan 80 km/jam ditampilkan dalam bentuk tabel

b. Kecepatan 40 km/jam

Tabel 6.
Nilai respon dinamis hasil simulasi setengah kendaraan sepeda motor dengan sistem suspensi sebelum modifikasi dan sistem suspensi *variable orifice* (v = 40 km/jam)

| Jenis Suspensi | Perpindahan *Max*. (m) | Kecepatan *Max*. (m/s) | Percepatan *Max*.(m/s$^2$) |
|---|---|---|---|
| Sebelum modifikasi | 0,0312 | 0,2118 | 1,5349 |
| *Variable orifice* | 0,0254 | 0,1797 | 1,1737 |

Data pada tabel 6 menunjukkan bahwa respon dinamis yang dimiliki sistem suspensi *variable orifice* lebih kecil dibanding sistem suspensi sebelum modifikasi. Kedua sistem suspensi mencapai *steady state* dalam waktu yang sama. Perbedaan perpindahan maksimum kedua sistem suspensi yang mencapai 18,6% dari perpindahan maksimum sistem suspensi sebelum modifikasi.

c. Kecepatan 60 km/jam

Tabel 7.
Respon dinamis hasil simulasi setengah kendaraan sepeda motor dengan sistem suspensi sebelum modifikasi dan sistem suspensi *variable orifice* (v = 60 km/jam)

| Jenis Suspensi | Perpindahan Maksimum (m) | Kecepatan Maksimum (m/s) | Percepatan Maksimum (m/s$^2$) |
|---|---|---|---|
| Sebelum modifikasi | 0,0296 | 0,1718 | 2,2240 |
| *Variable orifice* | 0,0251 | 0,1706 | 2,6402 |

Tabel 7 menunjukkan bahwa respon dinamis yang dimiliki sistem suspensi *variable orifice* lebih kecil dibanding sistem suspensi sebelum modifikasi. Kedua sistem mencapai *steady state* pada waktu yang sama. Sistem suspensi *variable orifice* memiliki perpindahan, kecepatan dan percepatan yang cenderung lebih kecil dibanding sistem suspensi sebelum modifikasi. Perbedaan perpindahan maksimum kedua sistem suspensi mencapai 19,3% dari perpindahan maksimum sebelum modifikasi.

d. Kecepatan 80 km/jam

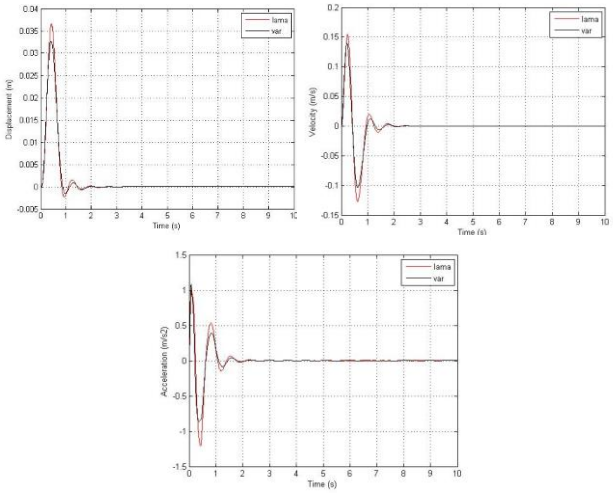
Tabel 8.
Nilai respon dinamis hasil simulasi setengah kendaraan sepeda motor sistem suspensi sebelum modifikasi dan sistem suspensi *variable orifice*(v=80km/jam)

| Jenis Suspensi | Perpindahan *Max*. (m) | Kecepatan *Max*. (m/s) | Percepatan *Max* (m/s$^2$) |
|---|---|---|---|
| Sebelum modifikasi | 0,0162 | 0,1718 | 2,0600 |
| *Variable orifice* | 0,0143 | 0,1722 | 2,2496 |

Respon *steady state* kedua sistem suspensi mencapai *steady state* pada waktu yang sama. Perbedaan perpindahan maksimum kedua sistem suspensi mencapai 11,7% dari perpindahan maksimum sebelum modifikasi. Karakteristik sistem suspensi *variable orifice* yang perlu diperhatikan yaitu kecepatan dan percepatan maksimumnya memiliki nilai lebih besar dibanding sistem suspensi sebelum modifikasi pada kecepatan tinggi.

### *3.2.2 Input Bump*

*a. Low impact*




Gambar 6. Grafik respon perpindahan, kecepatan, dan percepatan (high impact)

Tabel 9.
Nilai perpindahan, kecepatan, dan percepatan maksimum pada setengah kendaraan sepeda motor terhadap waktu dengan *input bump* ($\gamma$ = 1)

| Jenis Suspensi | Perpindahan Maksimum (m) | Kecepatan Maksimum (m/s) | Percepatan Maksimum (m/s$^2$) |
|---|---|---|---|
| Sebelum modifikasi | 0,0212 | 0,1981 | 2,0411 |
| *Variable orifice* | 0,0171 | 0,1745 | 1,6725 |

Respon dinamis pada sistem suspensi *variable orifice* lebih kecil dibanding sistem suspensi sebelum modifikasi pada perpindahan, kecepatan, dan percepatan maksimumnya. Dari data yang didapat dapat disimpulkan bahwa sistem suspensi *variable orifice* memiliki respon dinamis yang lebih baik dibanding sistem suspensi sebelum modifikasi saat dikenai beban kejut rendah (*low impact*).

*b. High Impact*

Tabel 10.
Nilai perpindahan, kecepatan, dan percepatan maksimum pada setengah kendaraan sepeda motor terhadap waktu dengan *input bump* ($\gamma$ = 5)

| Jenis Suspensi | Perpindahan Maksimum (m) | Kecepatan Maksimum (m/s) | Percepatan Maksimum (m/s$^2$) |
|---|---|---|---|
| Sebelum modifikasi | 0,0366 | 0,1541 | 1,2064 |
| Variable orifice | 0,0327 | 0,1405 | 0,8638 |

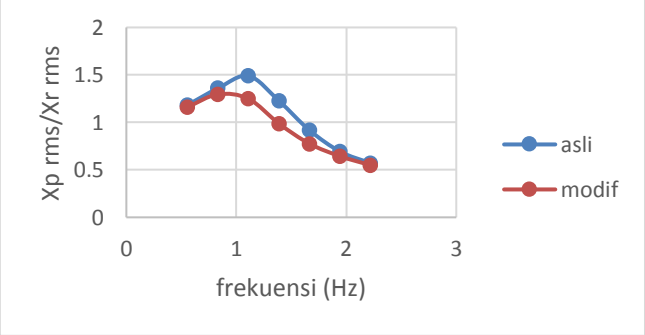
Dari data yang didapat menunjukkan bahwa nilai perpindahan dan kecepatan maksimum yang dihasilkan

sistem suspensi *variable orifice* lebih kecil dibanding respon dinamis sistem suspensi sebelum modifikasi.

Berikut ini adala tabel perbandingan perpindahan rms penumpang, yang kemudian dibuat grafik yang ditunjukkan pada gambar 7.

Tabel 11.
Nilai perpindahan RMS dari sistem suspensi sebelum modifikasi dan sistem suspensi *variable orifice*

| F (Hz) | Xr rms(m) | Sebelum Modifikasi | | *Variable Orifice* | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Xprms (m) | Xprms/Xr rms | Xprms (m) | Xprms/Xr rms |
| 0,5556 | 0,0142 | 0,0168 | 1,183099 | 0,0165 | 1,161972 |
| 0,8333 | 0,0142 | 0,0193 | 1,359155 | 0,0184 | 1,295775 |
| 1,1111 | 0,0141 | 0,021 | 1,489362 | 0,0176 | 1,248227 |
| 1,3889 | 0,0142 | 0,0174 | 1,225352 | 0,014 | 0,985915 |
| 1,6667 | 0,0142 | 0,013 | 0,915493 | 0,011 | 0,774648 |
| 1,9444 | 0,0143 | 0,0099 | 0,692308 | 0,0092 | 0,643357 |
| 2,2222 | 0,0144 | 0,0082 | 0,569444 | 0,0079 | 0,548611 |

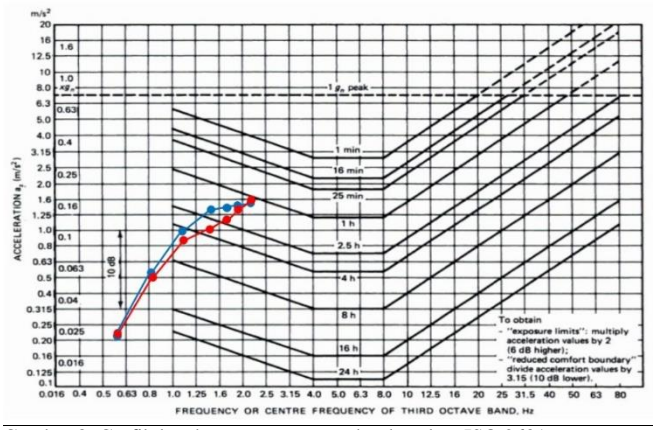



Gambar 7. Grafik perbandingan *displacement transmissibility* antara penggunaan sistem suspensi sebelum modifikasi dan *variable orifice*

Untuk menganalisa kenyamanan penumpang kendaraan akibat eksitasi sinusoidal maka digunakan standar kenyamanan ISO 2631. Untuk mencari besar frekuensinya menggunakan persamaan $f = \frac{v}{\lambda}$, dengan asumsi panjang jalan adalah 10 m. nilai percepatan rms penumpang tercantum pada tabel 11.

Tabel 11 Nilai percepatan RMS dari sistem suspensi sebelum modifikasi dan sistem suspensi *variable orifice*

| Kecepatan (km/jam) | Frekuensi (Hz) | Percepatan RMS Penumpang ($m/s^2$) | |
|---|---|---|---|
| | | Suspensi sebelum modifikasi | *Suspensi variable orifice* |
| 20 | 0.5556 | 0,2148 | 0,2185 |
| 30 | 0.8333 | 0,5398 | 0,5169 |
| 40 | 1.1111 | 1,028 | 0,8599 |
| 50 | 1.3889 | 1,3164 | 1,0582 |
| 60 | 1.6667 | 1,3885 | 1,1996 |
| 70 | 1.9444 | 1,4006 | 1,3547 |
| 80 | 2.2222 | 1,4457 | 1,5261 |




Gambar 8. Grafik ketahanan penumpang berdasarkan ISO 2631

Berdasarkan grafik ISO 2631 kendaraan dengan sistem suspensi *variable orifice* memiliki ketahanan penumpang yang sama dengan suspensi sebelum modifikasi kecuali pada kecepatan 50 km/jam. Dari analisis ketahanan pengemudi saat berkendara, dapat disimpulkan untuk kedua sistem suspensi bahwa semakin bertambahnya kecepatan maka respon ketahanan pengemudi semakin menurun. Nilai respon ketahanan pengemudi dapat diketahui pada tabel 12.

Tabel 12. Perbandingan nilai ketahanan pengemudi saat berkendara dengan kendaraan yang menggunakan sistem suspensi sebelum modifikasi dan *variable orifice*

| Kecepatan (km/jam) | Ketahanan Berkendara | |
|---|---|---|
| | Suspensi sebelum modifikasi | Suspensi *variable orifice* |
| 20 | 24 jam | 24 jam |
| 30 | 8 jam | 8 jam |
| 40 | 4 jam | 4 jam |
| 50 | 1 jam | 2,5 jam |
| 60 | 1 jam | 1 jam |
| 70 | 1 jam | 1 jam |
| 80 | 1 jam | 1 jam |

## IV. KESIMPULAN

1. Gaya redam pada sistem suspensi *variable orifice shock absorber* lebih besar dibanding sistem suspensi sebelum modifikasi pada semua variasi frekuensi baik saat ekspansi maupun kompresi.
2. Respon dinamis berupa percepatan, kecepatan, dan perpindahan terhadap waktu pada sistem suspensi dengan *variable orifice* memiliki nilai yang lebih kecil dibanding dengan sistem suspensi sebelum modifikasi, kecuali pada kecepatan 80 km/jam.
3. Ketahanan penumpang pada kendaraan dengan sistem suspensi *variable orifice* sama dengan sistem suspensi sebelum modifikasi pada kecepatan 20 km/jam hingga 80 km/jam, kecuali pada 50 km/jam.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapakan terima kasih kepada Bapak Dr. Harus Laksana Guntur ST, M.Eng dan Moch. Solichin, ST., MT. yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

[1] International Standard Organization. 1997. ISO 2631-1 Mechanical Vibration and shock – Evaluation of Human Eksposure to Whole Body Vibration Part 1: General requirements.

[2] Rao, Singiresu S. 2011. Mechanical Vibrations Fifth Edition. Miami: Pearson Education, Inc.

[3] Rahmawati, Istina dan Laksana Guntur, Harus. 2015. Pemodelan dan Analisis Pengaruh Perubahan Parameter Sistem Suspensi *Hydro-pneumatic* Terhadap Gaya Redam dan Gaya Pegas Serta Respon Dinamis Mobil. Surabaya : Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

[4] Tae, Lee Choon dan Young, Byung Moon. 2004. Simulation and Experimental Validation of Vehicle Dynamic Characteristics for Perpindahan-sensitive Shock Absorber. Korea Selatan : Busan National University.