

# Rancang Bangun dan Analisis Karakteristik Dinamis Atmospheric Pressure Shock Absorber (APSA) dengan Diameter Silinder 60 mm dan Diameter Orifice 1 mm Pada Kendaraan Angkut

Bima Adisetya Putra dan Harus Laksana Guntur

Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

*e-mail*: harus\_lg@me.its.ac.id

**Abstrak**—Salah satu suku cadang yang krusial adalah shock absorber. Saat ini, perusahaan yang memproduksi shock absorber merupakan perusahaan asing. Untuk itu, kami mengembangkan shock absorber sederhana yang mempunyai perawatan yang mudah dan berharga murah yang bernama Atmospheric Pressure Shock absorber (APSA) yang dapat diproduksi di Indonesia. Shock absorber ini menggunakan fluida udara sebagai media peredamnya. Dalam tugas akhir ini dilakukan pemodelan seperempat kendaraan shock absorber konvensional yang menghasilkan gaya redam dari shock absorber konvensional dengan input sinusoidal dan bump. Dari simulasi sistem APSA tersebut didapatkan grafik gaya redam terhadap perpindahan dan gaya redam terhadap kecepatan. Setelah itu, didapatkan diameter orifice ekspansi dan kompresi sebesar 1 mm dan diameter silinder sebesar 60 mm dengan gaya redam APSA lebih besar dibandingkan dengan shock absorber konvensional. Setelah itu, dilakukan pembuatan APSA dan diaplikasikan pada kendaraan Daihatsu Gran max pick up. Lalu, dilakukan pengujian dengan variasi kecepatan sehingga didapatkan analisis respon dinamis dari kendaraan tersebut. Hasil pengujian akan dibandingkan dengan pengujian kendaraan dengan shock absorber konvensional dengan metode yang sama dengan APSA. Gaya redam shock absorber konvensional dan APSA semakin besar seiring dengan naiknya kecepatan kendaraan. Pada hasil pengujian didapatkan respon percepatan maksimum APSA yang dilakukan pada bump lebih kecil dibandingkan dengan respon percepatan maksimum pada shock absorber konvensional. Lalu, RMS percepatan APSA pada jalan bergelombang lebih kecil dibandingkan dengan konvensional. Sehingga, APSA lebih baik dibandingkan dengan shock absorber konvensional.

**Kata Kunci**—shock absorber, Atmospheric Pressure Shock absorber (APSA), shock absorber konvensional, diameter orifice, gaya redam, respon dinamis.

## I. PENDAHULUAN

BERDASARKAN data dari *The Association of Indonesia Automotive Industries* (GAIKINDO) pertumbuhan mobil di Indonesia terus meningkat. Hal ini tentunya juga diimbangi dengan kebutuhan akan suku cadang kendaraan juga akan terus meningkat. Salah satu suku cadang yang krusial adalah

*shock absorber*. *Shock Absorber* berfungsi untuk meningkatkan pengendalian dan kestabilan pada kendaraan bermotor. *Shock absorber* merupakan suatu komponen kendaraan yang mempunyai usia pemakaian. Umur pemakaian dari *shock absorber* sekitar 2 tahun. Lebih dari itu, *shock absorber* menjadi lemah dan tidak berfungsi dengan baik. Apabila alat ini tidak berfungsi dengan baik akan menyebabkan kendaraan tidak stabil. Tentunya hal ini akan membahayakan bagi penggunaannya.

Saat ini, perusahaan yang memproduksi *shock absorber* merupakan perusahaan asing. Riset yang dilakukan oleh perusahaan asing ini terpusat di luar Indonesia, sementara *shock absorber* dari perusahaan asing yang ada di pasaran mempunyai harga yang tidak murah. Dengan adanya permintaan yang besar dari konsumen kendaraan bermotor di Indonesia, sebenarnya hal ini menjadi kesempatan bagi Indonesia yang mempunyai potensi yang besar untuk melakukan riset di negara sendiri. Oleh karena itu, diperlukan riset tentang perancangan *shock absorber* yang mempunyai sistem yang lebih sederhana yang dapat diproduksi di Indonesia. Dengan diadakannya riset dan basis produksi yang ada di Indonesia, sehingga shock absorber tersebut diharapkan dapat dijual di pasaran dengan harga yang lebih terjangkau.

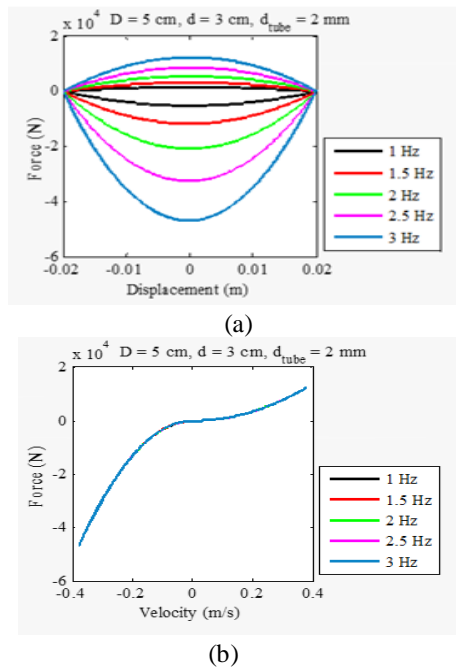
Untuk mengatasi masalah tersebut, kami mahasiswa teknik mesin ITS akan melakukan pengembangan *shock absorber* dengan inovasi baru yang sederhana dengan perawatan yang mudah sehingga mempunyai harga di bawah pasaran, yakni *Atmospheric Pressure Shock Absorber* (APSA). *Shock absorber* ini menggunakan udara sekitar yang dimampatkan sebagai media peredamnya. Pada penelitian ini, Shock absorber tersebut akan disimulasikan dan diimplementasikan pada seperempat kendaraan di mobil Daihatsu Gran max. *Shock absorber* ini diharapkan mempunyai gaya redam dan respon dinamis yang sama dengan produk *shock absorber* konvensional yang ada di pasaran.

## II. URAIAN PENELITIAN

### A. Penelitian Terdahulu

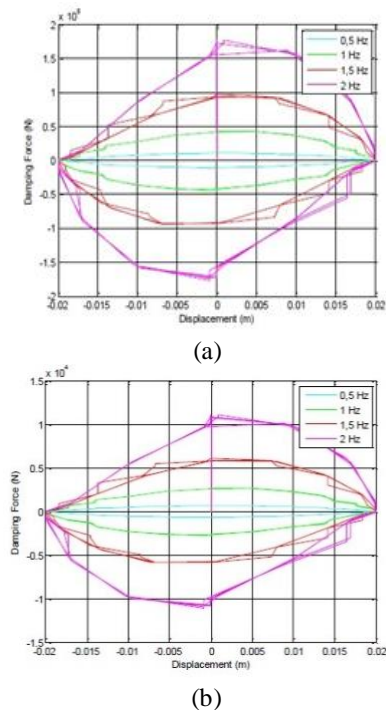
Pada tahun 2015, Sawungsari [1] membuat penelitian tentang HM RSA (hidrolik motor regenerative *shock absorber*). Dari simulasi yang dihasilkan dapat disimpulkan bahwa semakin

besar frekuensi, maka gaya redaman yang dihasilkan akan semakin besar. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 1 berikut ini:



Gambar 1. (a) Grafik Gaya Redam Terhadap Perpindahan [1], (b) Grafik Gaya Redam Terhadap Kecepatan<sup>[1]</sup>.

Pada tahun 2016, Istina Rahmawati [2] melakukan penelitian mengenai suspensi *hydro-pneumatic* dengan kesimpulan dari simulasi bahwa semakin kecil diameter *orifice* ( $D_0$ ) maka gaya redam yang dihasilkan semakin besar yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik respon perpindahan terhadap gaya redam padamassa jenis minyak ( $\rho=860 \text{ kg/m}^3$ ), diameter piston ( $D_p = 3 \text{ cm}$ ) dan diameter *orifice* (a) ( $D_0 = 1 \text{ mm}$ ) dengan variasi frekuensi dan (b) ( $D_0 = 2 \text{ mm}$ ) dengan variasi frekuensi<sup>[2]</sup>.

### B. Suspensi

Pada sebuah kendaraan, terdapat beberapa komponen penting untuk menunjang keamanan dan stabilitas kendaraan tersebut. Salah satu dari komponen tersebut adalah sistem suspensi kendaraan. Suspensi kendaraan merupakan suatu sistem vital yang terletak diantara bodi kendaraan dan roda-roda, dan dirancang untuk menyerap kejutan dari permukaan jalan sehingga menambah stabilitas dan keamanan berkendara serta memperbaiki kemampuan cengkram roda terhadap jalan [3]. Konstruksi dari suspensi hidrolis konvensional terdiri dari beberapa bagian. Beberapa bagian tersebut diantaranya adalah *shock absorber*, coil spring, dan stabilizer.

### C. Shock Absorber Konvensional dan APSA

Shock absorber konvensional berfungsi sebagai peredam getaran dengan cara mengubah energi kinetic menjadi energi panas melalui fluida yang ada di dalamnya [4]. Peredam hidrolis konvensional menggunakan media oli sebagai fluidanya. Peredam hidrolis ini membantu pegas untuk menghilangkan energi kinetic yang diterima olehnya dari guncangan pada permukaan jalan. Hal ini dikarenakan jika sistem suspensi hanya dilengkapi dengan sebuah pegas saja, maka setiap kendaraan yang menghantam *bump* akan mengalami pantulan yang naik turun selama beberapa kali pada frekuensi natural pegasnya. Ketika tertekan oleh sebuah *bump*, sebuah sistem suspensi membutuhkan komponen untuk mendisipasi energi yang tersimpan pada pegas. *Shock absorber* terdiri dari beberapa komponen. Komponen tersebut yakni, piston, batang piston, orifice, dan tabung silinder. *Shock absorber* konvensional mempunyai dua ruang, yakni ruang atas dan ruang bawah. Kedua ruang tersebut dipisahkan oleh piston yang mempunyai dua buah katup pada orifice. Kedua buah orifice tersebut adalah orifice ekspansi dan orifice kompresi. Berikut ini merupakan gambar *shock absorber* konvensional yang ditunjukkan oleh Gambar 3.



Gambar 3. Shock Absorber Konvensional.

*Shock absorber* konvensional biasa digunakan pada kendaraan bermotor roda dua, empat ataupun lebih. *Shock absorber* konvensional mempunyai dua siklus, yakni siklus ekspansi dan siklus kompresi. Ketika kendaraan sedang berjalan pada permukaan jalan yang bergelombang. Kedua siklus ini bekerja secara bersamaan. Sedangkan APSA mempunyai prinsip yang sama dengan *shock absorber* konvensional, namun dengan fluida dan peletakan orifice yang berbeda yang ditunjukkan pada gambar 2.5 dan 2.6 Fluida yang digunakan pada atmospheric *shock absorber* adalah udara yang terkompresi. Dengan adanya perubahan fluida

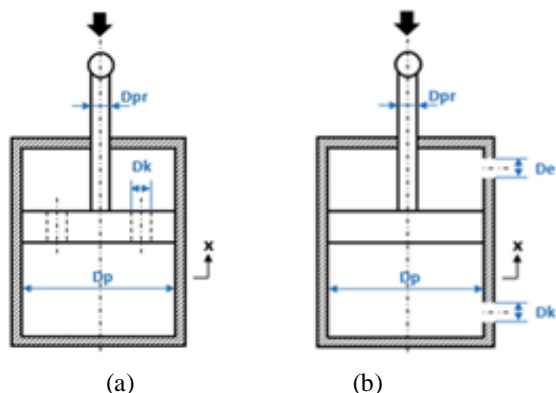
yang digunakan dari minyak *shock absorber* menjadi udara terkompresi, tentunya hal ini akan mempengaruhi luasan dari orifice ekspansi dan orifice kompresi. Hal ini terjadi karena nilai  $\rho_{udara}$  lebih kecil dibandingkan dengan  $\rho_{minyakshockabsorber}$ . Berikut ini merupakan gambar dari APSA yang ditunjukkan pada Gambar 4.



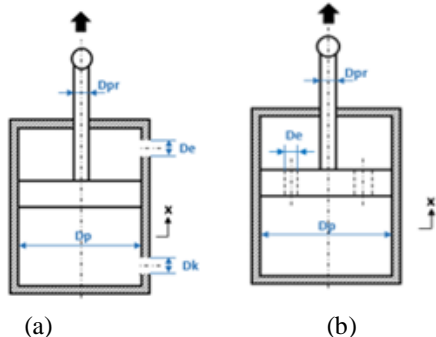
Gambar 4. Atmospheric Pressure Shock Absorber.

**D. Pemodelan Shock Absorber Konvensional dan APSA**

Pemodelan sistem suspensi *shock absorber* konvensional dan APSA pada saat kompresi dan ekspansi ditunjukkan oleh Gambar 5 – 6.



Gambar 5. (a) Pemodelan Shock Absorber Konvensional Ketika Kompresi, (b) Pemodelan APSA Ketika Kompresi



Gambar 6. (a) Pemodelan Shock Absorber Konvensional Ketika Ekspansi, (b) Pemodelan APSA Ketika Ekspansi.

- Keterangan :
- Dpr : Diameter Piston Rod
  - Dk : Diameter Kompresi
  - De : Diameter Ekspansi
  - Dp : Diameter Piston

**E. Persamaan Shock Absorber Konvensional dan APSA Saat Kompresi dan Ekspansi**

Berdasarkan Gambar 5 – 6 dapat dibuat persamaan sebagai berikut,

➤ Persamaan gaya redam kompresi

$$F_{dk} = \frac{1}{2} \rho \left( \left( \frac{A_p - A_{pr}}{A_o} \right)^2 - 1 \right) v_p^2 A_p \quad [5] \quad (1)$$

➤ Persamaan gaya redam ekspansi

$$F_{de} = \frac{1}{2} \rho \left( \left( \frac{A_p - A_{pr}}{A_o} \right)^2 - 1 \right) v_p^2 (A_p - A_{pr}) \quad [5] \quad (2)$$

➤ Persamaan gerak suspensi kendaraan

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = c\dot{y} + ky \quad [6] \quad (3)$$

**F. Parameter Simulasi Shock Absorber Konvensional dan APSA**

Parameter yang digunakan untuk pemodelan pada Gambar 5 – 6 ditunjukkan oleh Tabel 1.

Tabel 1.  
Parameter Shock Absorber Konvensional

| Parameter                       | Konvensional          | APSA                     |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| diameter batang piston (Dpr)    | 18 mm                 | 25 mm                    |
| diameter silinder hidrolik (Dp) | 32 mm                 | 60 mm                    |
| massa jenis fluida ( $\rho$ )   | 860 kg/m <sup>3</sup> | 1.1839 kg/m <sup>3</sup> |
| Koefisien discharge             | 0.3                   | 0.3                      |
| Diameter ekspansi               | 2,5 mm                | 0.1 mm                   |
| Diameter kompresi               | 3 mm                  | 0.1 mm                   |

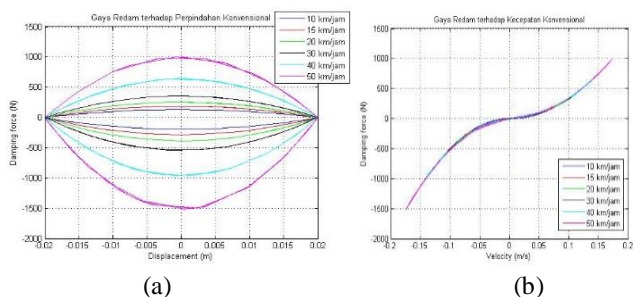
**G. Tahapan Penelitian**

Dalam penelitian ini dimasukkan *input bump* dengan variasi kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam dan *input sinusoidal* dengan variasi kecepatan 30 km/jam, 40 km/jam, dan 50 km/jam untuk *shock absorber* konvensional dan APSA berdasarkan parameter yang ada pada Tabel 1 sehingga didapatkan grafik gaya redam terhadap perpindahan dan kecepatan dengan nilai positif untuk kondisi ekspansi dan nilai negatif untuk kondisi kompresi. Lalu grafik gaya redam *shock absorber* konvensional dan APSA tersebut dibandingkan antara satu dengan yang lainnya. Setelah itu, lalu APSA dengan parameter yang disimulasikan tersebut dibuat untuk diujikan pada kendaraan Daihatsu Gran max Pick up dan dibandingkan dengan *shock absorber* konvensional yang juga diujikan pada kendaraan tersebut. Pengujian dilakukan dengan menjalankan kendaraan uji pada polisi tidur dengan kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam dan jalan bergelombang dengan kecepatan 30 km/jam, 40 km/jam, dan 50 km/jam. Pengujian dilakukan untuk mendapatkan respon percepatan dari kendaraan dengan menggunakan *shock absorber* konvensional dan APSA dengan masing-masing variasi kecepatan yang telah disebutkan. Lalu, respon percepatan dari *shock absorber* konvensional dan APSA tersebut dibandingkan satu sama lain.

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

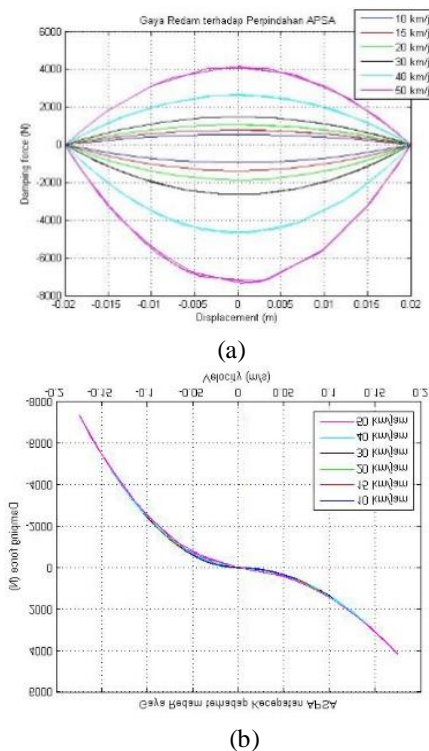
A. Simulasi Gaya Redam Shock Absorber Konvensional dan APSA

Pada Shock Absorber konvensional, hasil yang didapatkan dari simulasi ini dengan variasi kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam, 30 km/jam, 40 km/jam, dan 50 km/jam dan berdasarkan persamaan dan parameter yang ada adalah berupa 2 grafik, yakni grafik gaya redam terhadap perpindahan dan grafik gaya redam terhadap kecepatan yang ditunjukkan pada Gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. (a) Grafik Gaya Redam Terhadap Perpindahan Konvensional, (b) Grafik Gaya Redam Terhadap Kecepatan Konvensional.

Sedangkan untuk APSA, hasil simulasi juga menghasilkan grafik gaya redam terhadap perpindahan dan grafik gaya redam terhadap kecepatan yang ditunjukkan pada Gambar 8 berikut ini:

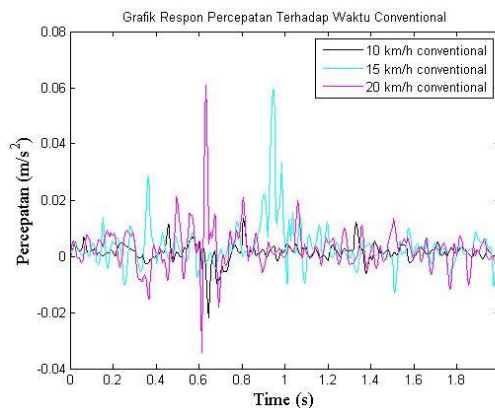


Gambar 8. (a) Grafik Gaya Redam Terhadap Perpindahan Konvensional, (b) Grafik Gaya Redam Terhadap Kecepatan Konvensional.

Dari hasil simulasi shock absorber konvensional dan APSA didapatkan bahwa semakin tinggi kecepatan kendaraan maka gaya redam dari shock absorber konvensional dan APSA akan semakin tinggi.

B. Analisis Perbandingan Respon Percepatan Shock Absorber Konvensional pada Bump dan Jalan Bergelombang

Kecepatan yang dilalui oleh kendaraan uji pada bump adalah 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam. Berikut ini merupakan grafik perbandingan respon percepatan shock absorber konvensional pada bump yang ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Grafik Perbandingan Respon Percepatan Shock Absorber Konvensional pada Bump.

Berdasarkan Gambar 9 data dari grafik perbandingan respon percepatan shock absorber konvensional pada bump diberikan pada Tabel 2 Di bawah ini:

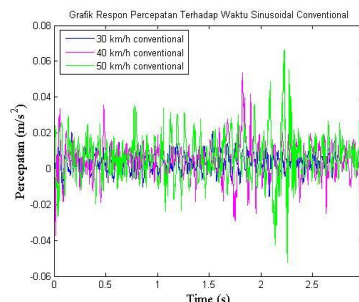
Tabel 2.

Data Perbandingan Respon Percepatan Shock Absorber Konvensional pada Bump

| Kecepatan Kendaraan Uji | Respon Percepatan Maksimum |
|-------------------------|----------------------------|
| 10 km/jam               | 0.01345 m/s <sup>2</sup>   |
| 15 km/jam               | 0.05946 m/s <sup>2</sup>   |
| 20 km/jam               | 0.0608 m/s <sup>2</sup>    |

Berdasarkan tabel 3.1 dapat dilihat bahwa trendline dari data respon percepatan maksimum pada pengujian yang dilakukan pada bump dengan menggunakan shock absorber konvensional dengan variasi kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam adalah naik.

Untuk jalan bergelombang, kecepatan yang dilalui oleh kendaraan uji pada jalan bergelombang adalah 30 km/jam, 40 km/jam, 50 km/jam. Berikut ini merupakan grafik perbandingan respon percepatan shock absorber konvensional pada jalan bergelombang yang ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 10. Grafik Perbandingan Respon Percepatan Shock Absorber Konvensional pada Jalan Bergelombang.

Berdasarkan Gambar 10 data dari grafik perbandingan respon percepatan *shock absorber* konvensional pada jalan bergelombang diberikan pada Tabel 3 di bawah ini:

Tabel 3.

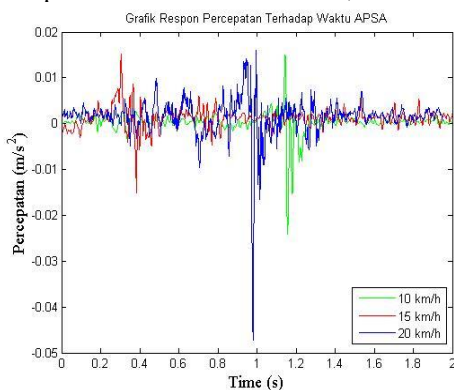
Data Perbandingan RMS Percepatan *Shock Absorber* Konvensional pada Jalan Bergelombang

| Kecepatan Kendaraan Uji | RMS                       |
|-------------------------|---------------------------|
| 30 km/jam               | 0.012979 m/s <sup>2</sup> |
| 40 km/jam               | 0.024236 m/s <sup>2</sup> |
| 50 km/jam               | 0.038362 m/s <sup>2</sup> |

Berdasarkan Tabel 3 dapat dilihat bahwa *trendline* dari data RMS percepatan pada pengujian yang dilakukan pada jalan bergelombang dengan menggunakan *shock absorber* konvensional dengan variasi kecepatan 30 km/jam, 40 km/jam, dan 50 km/jam adalah naik.

C. Analisis Perbandingan Respon Percepatan APSA pada Bump dan Jalan Bergelombang

Kecepatan yang dilalui oleh kendaraan uji pada *bump* adalah 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam. Berikut ini merupakan grafik perbandingan respon percepatan APSA pada *bump* yang ditunjukkan pada Gambar 11 di bawah ini,



Gambar 11. Grafik Perbandingan Respon Percepatan APSA pada *Bump*.

Berdasarkan Gambar 11 Data dari grafik perbandingan respon percepatan APSA pada *bump* diberikan pada Tabel 4.

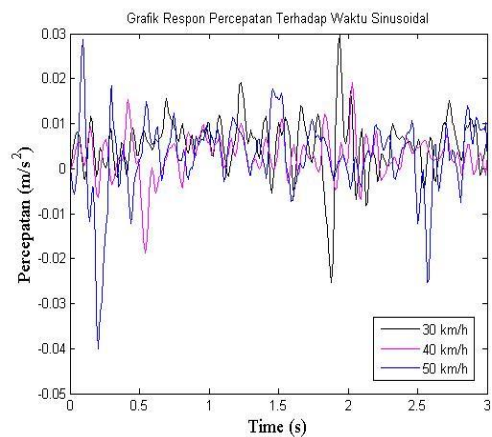
Tabel 4.

Data Perbandingan Respon Percepatan APSA pada *Bump*

| Kecepatan Kendaraan Uji | Respon Percepatan Maksimum |
|-------------------------|----------------------------|
| 10 km/jam               | 0.01494 m/s <sup>2</sup>   |
| 15 km/jam               | 0.01515 m/s <sup>2</sup>   |
| 20 km/jam               | 0.01608 m/s <sup>2</sup>   |

Berdasarkan Tabel 4 dapat dilihat bahwa *trendline* dari data respon percepatan maksimum pada pengujian yang dilakukan pada *bump* dengan menggunakan APSA dengan variasi kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam adalah naik.

Untuk jalan bergelombang, kecepatan yang dilalui oleh kendaraan uji pada jalan bergelombang adalah 30 km/jam, 40 km/jam, 50 km/jam. Berikut ini merupakan grafik perbandingan respon percepatan APSA pada jalan bergelombang yang ditunjukkan pada Gambar 12 di bawah ini,



Gambar 12. Grafik Perbandingan Respon Percepatan APSA pada Jalan Bergelombang.

Berdasarkan Gambar 12 data dari grafik perbandingan respon percepatan APSA pada jalan bergelombang diberikan pada tabel 3.4 di bawah ini:

Tabel 5.

Data Perbandingan RMS Percepatan APSA pada Jalan Bergelombang

| Kecepatan Kendaraan Uji | RMS                       |
|-------------------------|---------------------------|
| 30 km/jam               | 0.014123 m/s <sup>2</sup> |
| 40 km/jam               | 0.010948 m/s <sup>2</sup> |
| 50 km/jam               | 0.018396 m/s <sup>2</sup> |

Berdasarkan tabel 3.4 dapat dilihat bahwa pada kecepatan 30 km/jam RMS percepatan memiliki nilai yang paling tinggi dibandingkan kedua variasi kecepatan yakni kecepatan 40 km/jam dan kecepatan 50 km/jam. Pada variasi kecepatan 40 km/jam dan kecepatan 50 km/jam mempunyai *trendline* yang naik.

D. Perbandingan Data Pengujian *Shock Absorber* Konvensional dan APSA

Berikut ini merupakan perbandingan data hasil seluruh pengujian dari *shock absorber* konvensional dan APSA yang ditunjukkan pada Tabel 6 - 7 di bawah ini:

Tabel 6.

Perbandingan Respon Percepatan Maksimum *Bump* Antara *Shock Absorber* Konvensional dengan APSA

| Kecepatan Kendaraan Uji | RMS APSA                 | RMS Konvensional         |
|-------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 10 km/jam               | 0.01494 m/s <sup>2</sup> | 0.01345 m/s <sup>2</sup> |
| 15 km/jam               | 0.01515 m/s <sup>2</sup> | 0.05946 m/s <sup>2</sup> |
| 20 km/jam               | 0.01608 m/s <sup>2</sup> | 0.0608 m/s <sup>2</sup>  |

Tabel 7.

Perbandingan RMS Jalan Bergelombang Antara *Shock Absorber* Konvensional dengan APSA

| Kecepatan Kendaraan Uji | RMS APSA                  | RMS Konvensional          |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 30 km/jam               | 0.014123 m/s <sup>2</sup> | 0.012979 m/s <sup>2</sup> |
| 40 km/jam               | 0.010948 m/s <sup>2</sup> | 0.024236 m/s <sup>2</sup> |
| 50 km/jam               | 0.018396 m/s <sup>2</sup> | 0.038362 m/s <sup>2</sup> |

Pada Tabel 6 - 7 dapat dilihat perbandingan respon percepatan antara APSA dengan *shock absorber* konvensional pada *bump* maupun jalan bergelombang dengan masing-masing variasi kecepatan. Dari keseluruhan data yang diambil pada *bump*, respon percepatan maksimum pada APSA lebih kecil dibandingkan dengan *shock absorber* konvensional kecuali pada kecepatan 10 km/jam. Pada data pengujian yang diambil pada jalan yang bergelombang menunjukkan bahwa RMS APSA lebih rendah daripada RMS *shock absorber* konvensional kecuali pada kecepatan 30 km/jam. Sehingga, pada kecepatan yang sama gaya redam APSA lebih tinggi sehingga respon percepatan maksimum dan RMS percepatan menjadi lebih rendah.

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil simulasi dan analisa respon percepatan yang didapat dari hasil pengujian *shock absorber* konvensional dan APSA pada Daihatsu Gran Max maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Telah terbuatnya *prototype* dari APSA dengan diameter 6 cm dan lubang *orifice* ekspansi sebesar 1 mm dan kompresi 1 mm.
2. *Prototype* dapat dipasang pada Daihatsu gran max pick up pada bagian suspensi belakang.
3. Gaya redam yang didapatkan dari hasil simulasi menunjukkan bahwa gaya redam pada APSA lebih besar dibandingkan dengan *shock absorber* konvensional.
4. Hasil simulasi dari APSA dan *shock absorber* menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan kendaraan maka semakin tinggi gaya redam dari *shock absorber* tersebut.
5. Gaya redam yang semakin tinggi pada kecepatan yang sama membuat respon percepatan kendaraan semakin rendah.
6. Secara keseluruhan, APSA lebih baik dibandingkan dengan *shock absorber* konvensional karena respon percepatan APSA lebih kecil dibandingkan dengan *shock absorber* konvensional.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. Sawungsari, "Pemodelan Dan Analisis Pengaruh Variasi Tekanan Awal Akumulator Terhadap Gaya Redam, Daya Listrik Bangkitan, Dan Respon Dinamis Pada Hydraulic Motor Regenerative Shock Absorber (HMRSA)," Surabaya, 2015.
- [2] I. Rahmawati, "Pemodelan dan Analisis Pengaruh Perubahan Parameter Sistem Suspensi Hydro-Pneumatic Terhadap Gaya Redam dan Gaya Pegas Serta Respon Dinamis Mobil," Surabaya, 2016.
- [3] K. L. Poonamohan, Pinjarla, *Design and Analysis of a Shock Absorber*. India: GIET, 2012.
- [4] W. R. Kruger, O. Vaculin, and M. Spieck, "Evaluation of Active Damping for Reduction of Noise, Vibration, and Motion of Ground Vehicles by Multibody Simulation," Germany, 2004.
- [5] Fox and McDonald's, *Introduction to Fluid Mechanics Eighth Edition*. Amerika: John Wiley & Sons Inc, 2011.
- [6] S. S. Rao, *Mechanical Vibrations Fifth Edition*. Miami: Pearson Education, Inc, 2011.