

# STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK SUSPENSİ DAN ENERGI BANGKITAN HYDROLIC ELECTRO MECHANIC SHOCK ABSORBER DOUBLE PORT Dengan RASIO DIAMETER SILINDER 1 : 1 DENGAN PEMBEBANAN AKUMULATOR

Rendra Pramana Wahyu Putranto 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- Perkembangan teknologi otomotif semakin meningkat namun jumlah bahan bakar fosil yang semakin menurun. Menurut Center for Energy Transportation and Environment kendaraan bermotor menyalurkan 16 % dari tenaga bahan bakar dan sisanya berupa losses. Dari losses itu dapat dirubah menjadi energy listrik yang dipanen dari gerakan shock absorber. Pengujian dilakukan di laboratorium system dinamis dan getaran Teknik Mesin ITS pada alat Suspension Test Rig, dengan menggunakan ¼ massa kendaraan yaitu 250 kg, variasi frekuensi 1.4Hz, 1.7Hz 2Hz dan pembebanan akumulator 100% charged, 55% charged 0%. Hasil yang didapat ialah nilai redaman viscous, viscous mekanik dan total serta grafik respon massa periodic, impuls dan energy bangkitan. Nilai redaman viscous 1790 Ns/m, viscous mekanik 2368 Ns/m, total 4241 Ns/m. nilai redaman dengan akumulator 100% charged 4843 Nm, 55% charged 4719 Nm, 0% charge 4537 Nm. Hasil grafik impuls nilai peak akumulator 100% charged 1.5 m/s<sup>2</sup> ialah paling tinggi dibandingkan 55% dan 0% dan stabil pada detik ke-1.2s. Hasil grafik periodic nilai RMS akumulator 100% charged pada ketiga frekuensi ialah paling rendah. Hasil energy bangkitan frekuensi 1.4Hz ialah 0.19 watt, 1.7Hz ialah 0.62 watt dan 2Hz ialah 1.31 watt.

**Kata Kunci:** Uji karakteristik, (regenerative shock absorber)RSA, Getaran, Energy bangkitan.

## I. PENDAHULUAN

ENERGI merupakan salah satu sumber kehidupan bagi manusia, terbukti dengan adanya energi, manusia dapat beraktifitas sebagaimana mestinya. Dengan memanfaatkan energi manusia selalu dapat berkembang dan menciptakan sesuatu hal yang baru dari waktu ke waktu. salah satu energy yang selalu dimanfaatkan oleh manusia adalah energi listrik. Saat ini energy listrik adalah energi yang paling banyak dibutuhkan oleh manusia, dan energy listrik tersebut pada umumnya dihasilkan dari bahan alami yang dapat diperbaharui seperti minyak bumi, batubara, gas dll.

Pada kendaraan, hampir selalu kita lihat sekarang ini manusia sebagian besar menggunakan kendaraan setiap harinya, dan perlu juga kita ketahui bahwa setiap kendaraan yang beroperasi menghasilkan 90% kerugian energy setiap waktunya, kurang lebih 62% berasal dari engine, 5-6% dari transmisi, 2-3% dari aksesoris yang dipakai seperti AC, power steering, wiper, dll, begitu juga pada system pengereman yang dapat menghasilkan 6-7% kerugian energy. Semua itu dapat kita manfaatkan sebagai antisipasi terjadinya krisis energy.

VEH (*Vibration Energy Harvesting*) yaitu suatu alat yang memanfaatkan getaran pada system suspensi untuk menghasilkan suatu energy. Salah satu alat yang dibuat VEH yaitu *Regenerative shock absorber*, dengan

memanfaatkan gerak relative pada suspensi terhadap body kendaraan untuk menghasilkan energy listrik. Dan setelah itu RSA banyak dikembangkan oleh para peneliti lainnya, contoh RSA yang mulai dikembangkan sekarang yaitu dengan mengubah gerak translasi menjadi gerak rotasi, kemudian gerak rotasi tersebut digunakan untuk memutar generator sehingga menimbulkan listrik.

Dari uraian di atas, maka penelitian ini tertuju pada studi eksperimen karakteristik hasil pengembangan mekanisme dan desain *Regenerative Shock Absorber*. Dalam penelitian ini dianalisa karakteristik redaman *Regenerative Shock Absorber* dan besar energi yang dibangkitkan *Regenerative Shock Absorber* dengan pengujian eksitasi impulsif dan eksitasi periodik. Harapan dari penelitian ini adalah membuat sumber energi listrik di masa mendatang pada kendaraan bermotor dan mampu sebagai *Shock Absorber*. *Regenerative Shock Absorber* ini dinamakan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA).

## II. URAIAN PENELITIAN

Pada Tugas akhir ini tahapan-tahapan yang harus dilakukan sebelum melakukan pengujian adalah sebagai berikut :

### A. Studi Literatur

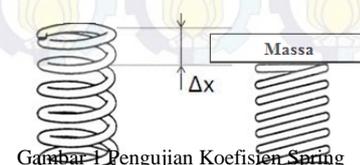
Studi literature ini dilakukan agar dapat menambah wawasan, pengetahuan terhadap materi yang akan dibahas pada tugas akhir ini. berbagai tema tentang memanfaatkan energy pada system suspensi pada kendaraan dapat kita ambil sumbernya dari buku-buku, karya ilmiah, dan seputar tugas akhir terdahulu.

### B. Survei Alat Uji

Tahap survey alat ini berfungsi untuk menentukan dimensi, massa uji, exciter yang akan digunakan pada pengujian. Alat uji yang digunakan adalah suspension test rig yang tersedia di Ruang Design Teknik Mesin ITS dan PT KAYABA.

### C. Pengujian Koefisien Spring

Pengujian koefisien dilakukan dengan memberikan massa penekanan pada *spring* kemudian dicatat perubahan panjang pada *spring* ( $\Delta x$ ). Dari data yang diperoleh akan dihitung nilai koefisien spring ( $k$ ) sesuai dengan Hukum Hooke, yaitu  $F = k \cdot \Delta x$ .



Gambar 1 Pengujian Koefisien Spring

**D. Perhitungan Koefisien Redaman**

Perhitungan koefisien redaman Regenerative shock absorber dan konvensional shock absorber adalah dengan menggunakan model persamaan gerak. Pada kasus ini, pengujiannya dilakukan dengan menggunakan alat uji untuk mendapatkan nilai damping (c). Pada pengujian ini akan didapatkan hasil dari karakteristik shock absorber berupa 2 grafik, yaitu  $F_d$  fungsi kecepatan (v) dan  $F_d$  fungsi jarak (s)

**E. Mekanisme Pengujian**

Pada tahapan pengujian mekanisme ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari suspensi ketika mendapat berbagai macam gaya eksitasi dan amplitude terhadapap energy. Dari pengujian ini akan didapatkan respon massa, voltase, dan daya pada masing-masing pengujian

- Eksitasi Impuls
- Eksitasi Periodik

Pada pengujian Eksitasi ini, massa uji yang digunakan ialah ¼ massa kendaraan yaitu 250 kg. Terdapat tiga variasi frekuensi pada pengujian yaitu 1.4Hz, 1.7Hz, 2Hz dengan amplitude sebesar 2 cm.

**F. Peralatan yang digunakan**

- Konvensional Shock absorber
- RSA (regenerative shock absorber)
- Suspension rig
- Oscilloscope
- Resistor
- Jangka Sorong
- Stopwatch
- Akselerometer
- Multimeter

**III. HASIL DAN ANALISA**

**A. Uji Konstanta Pegas**

Pada Proses pengambilan data kostanta pegas ini dilakukan di LAB Desain Mesin ITS. Adapun prinsip kerja dari pengambilan data tersebut adalah dengan memasang pegas pada alat uji *Suspension test rig* terlebih dahulu, kemudian diberikan gaya dalam bentuk beban diatasnya, setelah itu ukur perubahan panjangnya pada pegas tersebut.

Proses pengambilan data tersebut dilakukan di laboratorium system dinamis dan getaran Teknik Mesin ITS dengan menggunakan ¼ massa kendaraan 250 kg.

Untuk dapat menentukan konstanta pegas pada pengambilan data kali ini dilakukan perhitungan sebagai berikut :

Dengan menggunakan rumus Hukum Hooke

$$F = k \cdot \Delta X \text{ atau } \Delta W = k \cdot \Delta X$$

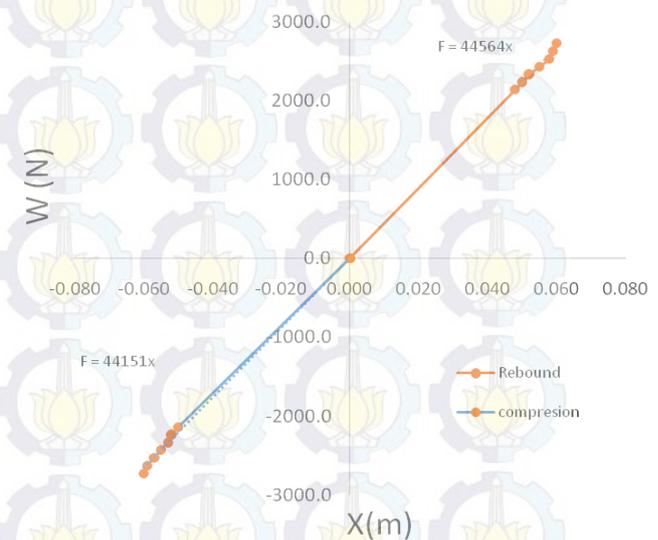
Maka didapatkan nilai k (konstanta pegas) pada masing-masing data tersebut. Hasil dari perhitungan tersebut dapat ditunjukkan pada tabel 4.2 berikut :

Tabel 2 Data hasil pengujian konstanta pegas

No.	Massa(kg)	W(N)	$\Delta W(N)$	X(m)	$\Delta X(m)$	K(N/m)
1	0	0	0	0.31	0	0

2	217.9	-2137.6	-2137.6	0.260	-0.05	42752
3	227.9	-2235.7	-98.1	0.258	0.052	42994
4	237.9	-2333.8	-98.1	0.257	0.053	44034
5	247.9	-2431.9	-98.1	0.255	0.055	44216
6	257.9	-2530.0	-98.1	0.253	0.057	44386
7	267.9	-2628.1	-98.1	0.251	0.059	44544
8	277.9	-2726.2	-98.1	0.250	-0.06	45437
9	277.9	2726.2	0.0	0.250	0.060	45437
10	267.9	2628.1	98.1	0.251	0.059	44544
11	257.9	2530.0	98.1	0.252	0.058	43621
12	247.9	2431.9	98.1	0.255	0.055	44216
13	237.9	2333.8	98.1	0.258	0.052	44881
14	227.9	2235.7	98.1	0.260	0.050	44714
15	217.9	2137.6	98.1	0.262	0.048	44533
16	0	0	0	0.31	0	0
RATA-RATA						44308
K Pegas						44357.5

Dari tabel 4.2 diatas dapat kita buat grafik hubungan antara perubahan beban (W) terhadap perubahan panjang (X) yang dihasilkan pada pegas tersebut.



Gambar 1 Grafik Konstanta pegas

Dari grafik 4.2 didapatkan fungsi untuk kompresi spring ialah 44151.x dan untuk fungsi pada saat kondisi rebound ialah 44564.x.

Dari grafik dan tabel tersebut dapat kita simpulkan bahwa semakin tinggi beban yang digunakan maka semakin tinggi pula perubahan panjang yang dihasilkan pada pegas tersebut. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat grafik pada gambar 4.2 bahwasanya garis hampir terlihat lurus atau mendekati linier. Hal ini sesuai dengan hokum Hooke dimana  $F = k \Delta x$ , semakin besar gaya yang terjadi mana semakin besar juga nilai dari displacement.

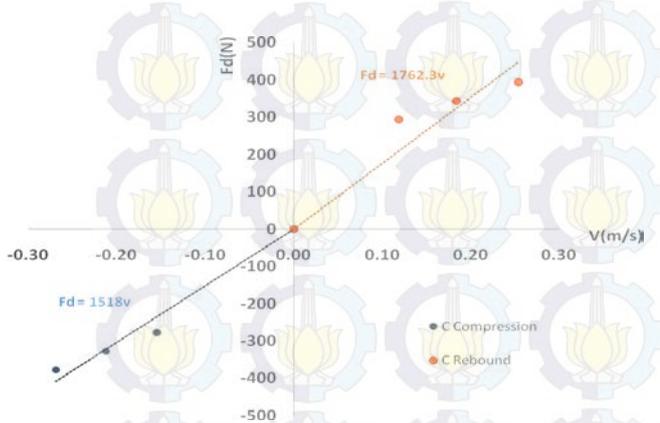
## B. Uji Koefisien Redaman

Pada tahapan ini, pengujian koefisien redaman HEMSA dengan dan tanpa menggunakan akumulator. Dimana variasi dari akumulator ialah 100% charged, 55% charged dan 0%.

### a. Nilai Redaman HEMSA tanpa menggunakan akumulator.

Pengambilan data dilakukan di laboratorium system dinamis dan getaran Teknik Mesin ITS dengan menggunakan tiga variasi massa. Massa awal ialah 28.5 kg dan variasi peningkatan ialah 5 kg. Dilakukan pada beberapa kondisi yaitu viscous, viscous mekanik dan total.

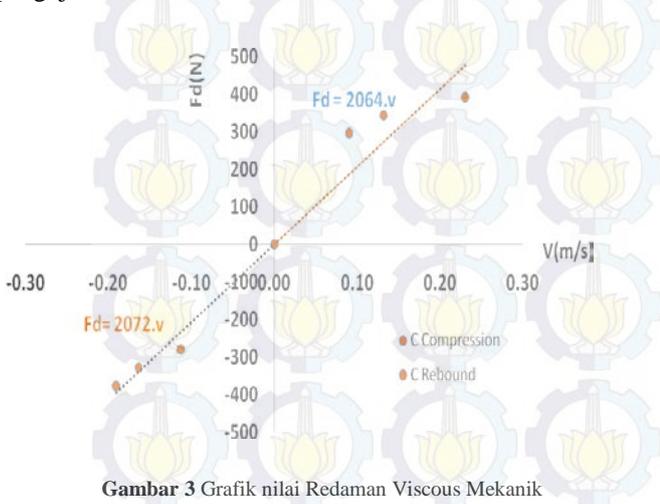
Berikut adalah grafik dan tabel yang dihasilkan oleh pengujian nilai redaman viscous :



Gambar 2 Grafik nilai Redaman Viscous

Dari gambar 2 ialah grafik nilai redaman viscous tanpa menggunakan akumulator. Dengan nilai trendline kompresi sebesar 1518 Ns/m dan nilai trendline rebound sebesar 1762.3 Ns/m. Didasarkan pada persamaan  $F_d = C \cdot v$  dengan nilai  $F$  ialah massa  $\frac{1}{4}$  kendaraan dikalikan gravitasi didapatkan nilai  $c$ . hal ini telah sesuai dimana semakin besarnya massa yang diberikan, maka akan membuat nilai  $v$  juga akan bertambah dan akan membuat nilai dari  $c$  semakin besar.

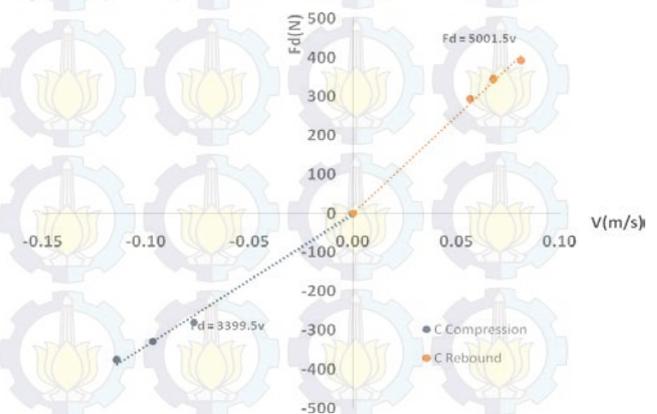
Berikut adalah grafik dan tabel yang dihasilkan oleh pengujian nilai redaman viscous mekanik :



Gambar 3 Grafik nilai Redaman Viscous Mekanik

Dari gambar 4.6 ialah grafik nilai redaman viscous + mekanik tanpa menggunakan akumulator. Dengan nilai trendline kompresi sebesar 2072 Ns/m dan nilai trendline rebound sebesar 2064 Ns/m. Didasarkan pada persamaan  $F_d = C \cdot v$  dan  $f_s = \mu_k \cdot N$ . dengan nilai  $F$  ialah massa  $\frac{1}{4}$  kendaraan dikalikan gravitasi didapatkan nilai  $c$ . penambahan  $\mu_k$  akan mempengaruhi nilai redaman dari system. hal ini telah sesuai dimana semakin besarnya massa yang diberikan, maka akan membuat nilai  $v$  juga akan bertambah dan akan membuat nilai dari  $c$  semakin besar dan nilai redaman viscous mekanik akan lebih besar dibandingkan dengan nilai redaman viscous dikarenakan adanya pengaruh dari  $\mu_k$

Berikut adalah grafik dan tabel yang dihasilkan oleh pengujian nilai redaman total :

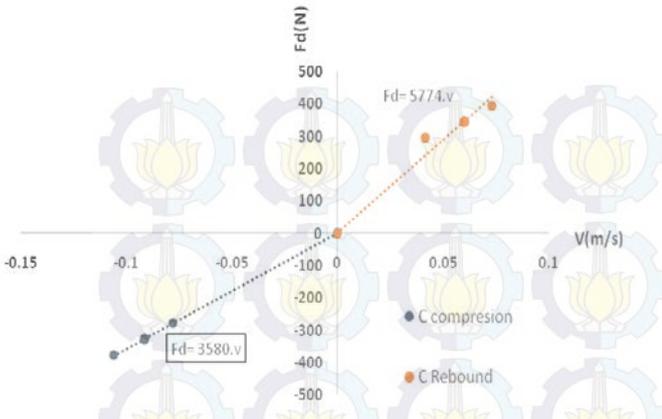


Gambar 4 Grafik nilai Redaman Total.

Dari gambar 4.4 ialah grafik nilai redaman total tanpa menggunakan akumulator. Dengan nilai trendline kompresi sebesar 3399.5 Ns/m dan nilai trendline rebound sebesar 5001.5 Ns/m. Didasarkan pada persamaan  $F_d = C \cdot v$ ,  $f_s = \mu_k \cdot N$  dan  $T_e = 2BLIRN$  dengan nilai  $F$  ialah massa  $\frac{1}{4}$  kendaraan dikalikan gravitasi didapatkan nilai  $c$ . Penambahan  $\mu_k$  dan  $T_e$  akan mempengaruhi nilai redaman dari system. hal ini telah sesuai dimana semakin besarnya massa yang diberikan, maka akan membuat nilai  $v$  juga akan bertambah dan akan membuat nilai dari  $c$  semakin besar dan nilai redaman total akan lebih besar dibandingkan dengan nilai redaman viscous mekanik dikarenakan adanya pengaruh dari  $\mu_k$  dan  $T_e$ .

### b. Nilai Redaman HEMSA dengan menggunakan akumulator.

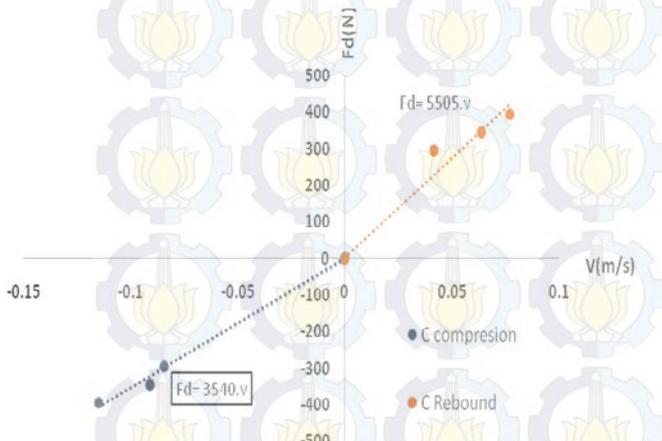
Berikut adalah grafik dan tabel yang dihasilkan oleh pengujian nilai redaman dengan akumulator terisi 100% :



Gambar 4. 1. Grafik distribusi nilai redaman kompresi dan rebound koefisien pada saat akumulator terisi 100 %

Dari grafik 4.8. didapatkan distribusi nilai redaman pada saat akumulator terisi 100 %. Trenline redaman untuk kompresi sebesar 3580 Ns/m sedangkan trenline untuk nilai redaman rebound ialah sebesar 5774 Ns/m. Dapat disimpulkan bahwa nilai redaman rebound lebih besar dibandingkan dengan nilai redaman kompresi.

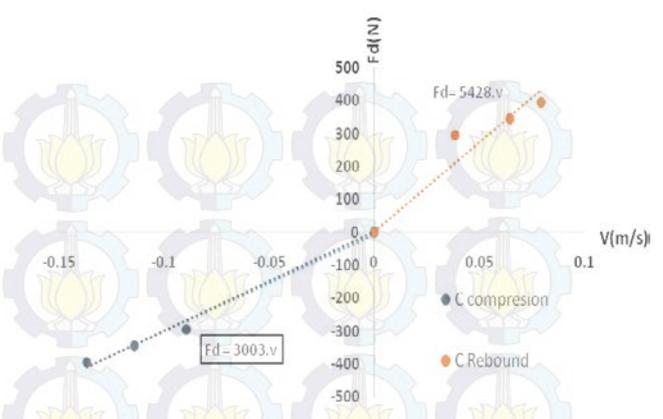
Berikut adalah grafik dan tabel yang dihasilkan oleh pengujian nilai redaman dengan akumulator terisi 55% :



Gambar 4. 2. Grafik distribusi nilai redaman kompresi dan rebound koefisien pada saat akumulator terisi 55 %

Dari grafik 4.9. didapatkan distribusi nilai redaman untuk beban akumulator terisi setengah atau 55 % charged. Rata – rata nilai redaman untuk kompresi sebesar 3565 Ns/m, sedangkan untuk nilai redaman rebound ialah sebesar 5873 Ns/m. Dapat disimpulkan bahwa nilai redaman rebound lebih besar dibandingkan dengan nilai redaman kompresi.

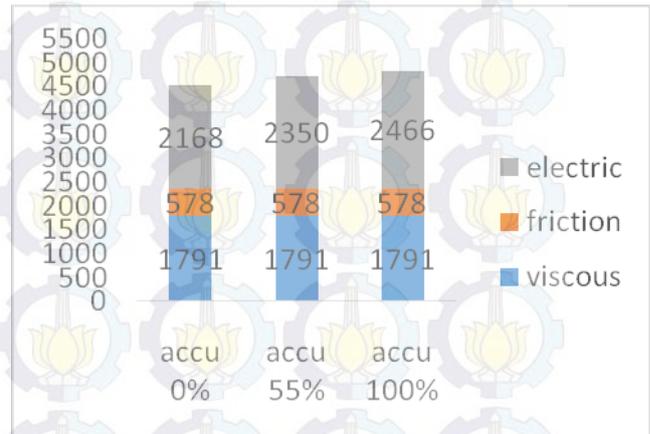
Berikut adalah grafik dan tabel yang dihasilkan oleh pengujian nilai redaman dengan akumulator terisi 0% :



Gambar 4. 3. Grafik distribusi nilai redaman kompresi dan rebound koefisien pada saat akumulator terisi 0 %

Dari grafik 4.10. didapatkan distribusi nilai redaman pada saat akumulator kosong atau 0 % charged. Trenline nilai redaman untuk kompresi sebesar 3003 Ns/m sedangkan trenline nilai redaman rebound ialah sebesar 5428 Ns/m. Dapat disimpulkan bahwa nilai redaman rebound lebih besar dibandingkan dengan nilai redaman kompresi.

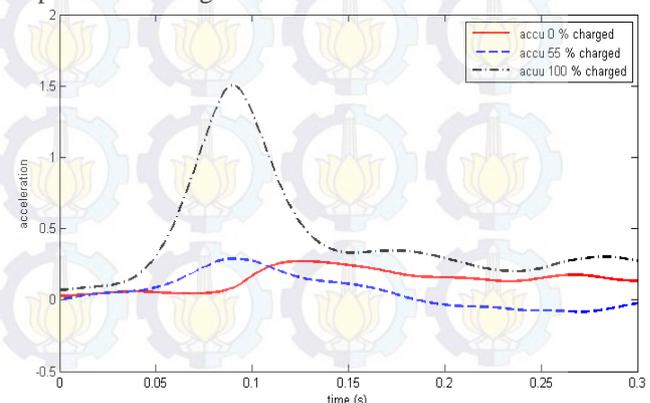
c. Distribusi Nilai Redaman



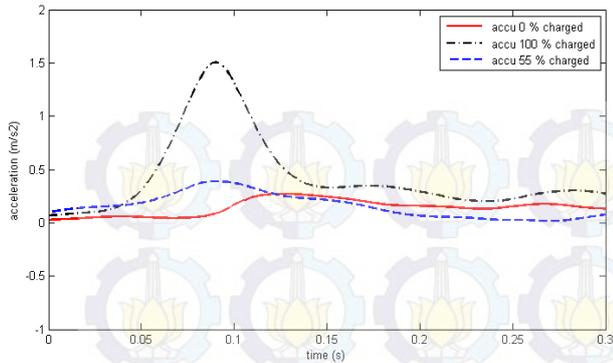
Gambar 4. 4 Grafik distribusi nilai redaman kompresi dan rebound koefisien dengan menggunakan akumulator

C. Hasil Pengujian Respon Massa dengan Eksitasi Dinamis

Berikut adalah grafik RMS base dan sprung eksitasi impuls 1.4Hz dengan 3 kondisi akumulator.



Gambar Grafik RMS base eksitasi impuls 1.4Hz dengan 3 kondisi akumulator.



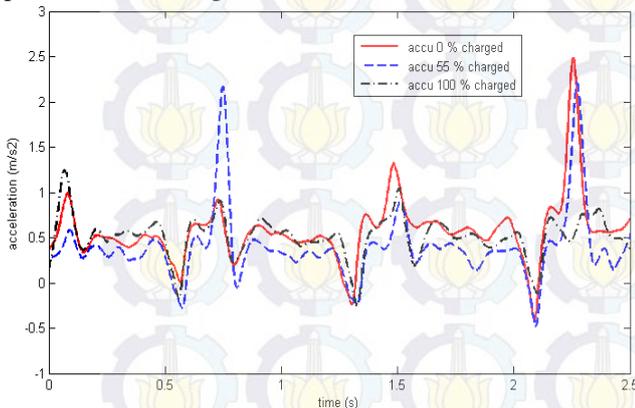
Gambar Grafik RMS sprung eksitasi impuls 1.4Hz dengan 3 kondisi akumulator.

Dari hasil pengujian didapatkan pada grafik 4.15. ialah hasil eksitasi input base dengan frekuensi 1.4 Hz. Dari gambar 4.15. didapatkan nilai peak untuk akumulator 100 % charged ialah  $1.26 \text{ m/s}^2$ , untuk akumulator 55 % charged nilai peak  $1.03 \text{ m/s}^2$  dan untuk akumulator 0 % charged nilai peak ialah  $0.66 \text{ m/s}^2$ .

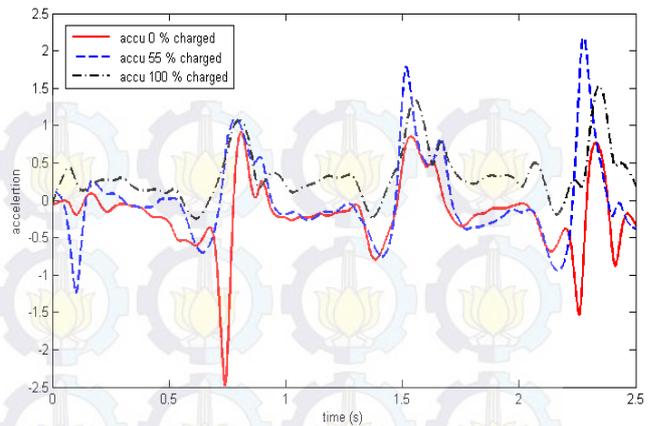
Grafik pada gambar 4.16. dengan eksitasi sebesar 1,4 Hz impuls. Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai peak yang dihasilkan HEMSA dengan akumulator 0 % charged ialah paling rendah sebesar  $0.243 \text{ m/s}^2$  dan yang paling tinggi nilai peak yang dihasilkan oleh HEMSA dengan akumulator 100 % charged sebesar  $1.503 \text{ m/s}^2$ . Dari hasil gambar 4.13. dapat dilihat untuk akumulator 0 % charged pada detik ke - 0.25 sudah mengalami kondisi stabil, untuk akumulator 55 % charged mengalami keadaan stabil ketika detik ke - 0.25 dan untuk kondisi akumulator 100 % charged mengalami kondisi stabil ketika detik ke - 0.25.

Damping ratio HEMSA pada saat akumulator terisi 0%, 55%, dan 100% berturut-turut sebesar: 0.68, 0.71, dan 0.73. Secara teori semakin tinggi nilai damping ratio, mendekati 1, semakin cepat waktu sistem suspensi untuk stabil. Dari hasil pengujian eksitasi Impuls menunjukkan kesesuaian dengan teori.

Berikut adalah grafik RMS base dan sprung eksitasi periodik 1.4Hz dengan 3 kondisi akumulator.



Gambar Grafik RMS base eksitasi periodik 1.4Hz dengan 3 kondisi akumulator.



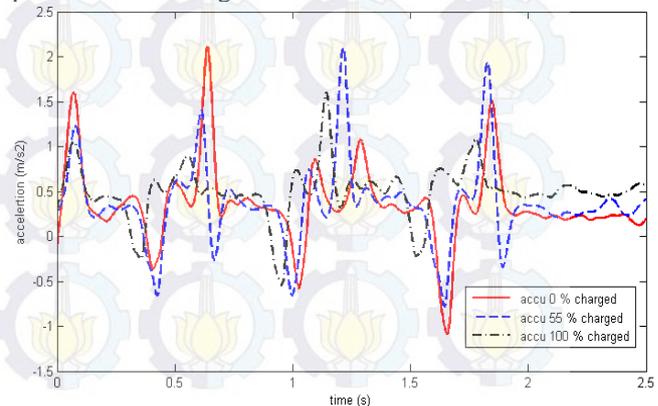
Gambar Grafik RMS sprung eksitasi impuls 1.4Hz dengan 3 kondisi akumulator.

Dari hasil pengujian didapatkan pada grafik 4.15. ialah hasil eksitasi input base dengan frekuensi 1.4 Hz. Dari gambar 4.15. Didapatkan nilai RMS untuk akumulator 100 % charged ialah  $1.51 \text{ m/s}^2$ , untuk akumulator 55 % charged nilai RMS ialah  $2.00 \text{ m/s}^2$  dan untuk akumulator 0 % charged nilai RMS ialah  $1.83 \text{ m/s}^2$ .

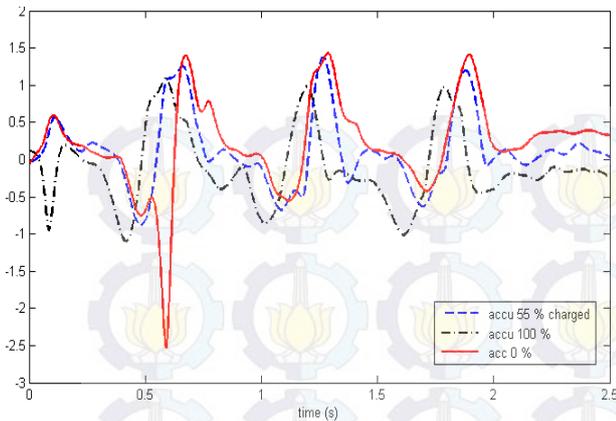
Grafik pada gambar 4.16. dengan eksitasi sebesar 1,4 Hz periodik. Dari grafik 4.16. nilai RMS untuk akumulator 100 % charged sebesar  $0.8 \text{ m/s}^2$ , akumulator 55 % charged sebesar  $1.26 \text{ m/s}^2$  dan akumulator 0 % charged sebesar  $1.8 \text{ m/s}^2$ . Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai percepatan yang dihasilkan HEMSA dengan beban akumulator 100 % dan yang paling rendah nilai percepatannya dihasilkan oleh HEMSA dengan pembebanan akumulator kosong atau 0 %. Berdasarkan pada standar ISO kenyamanan penumpang bahwa nilai percepatan rendah ialah baik. Dari uraian tersebut maka HEMSA dengan pembebanan akumulator 100 % paling jelek dan yang paling baik ialah HEMSA dengan pembebanan akumulator kosong atau 0 %.

Hal ini belum sesuai dikarenakan semakin terisi kondisi akumulator, maka nilai redaman akan semakin besar. Sehingga akan berpengaruh terhadap nilai RMS yang dihasilkan. Nilai RMS yang dihasilkan untuk akumulator 0 % akan berada paling atas selanjutnya pada kondisi akumulator 55 % dan yang paling bawah 100 %. Terjadinya perbedaan antara teori dan hasil yang disebabkan gangguan yang terjadi dari luar, noise yang besar.

Berikut adalah grafik RMS base dan sprung eksitasi periodik 1.7Hz dengan 3 kondisi akumulator.



Gambar Grafik RMS base eksitasi periodik 1.4Hz dengan 3 kondisi akumulator.



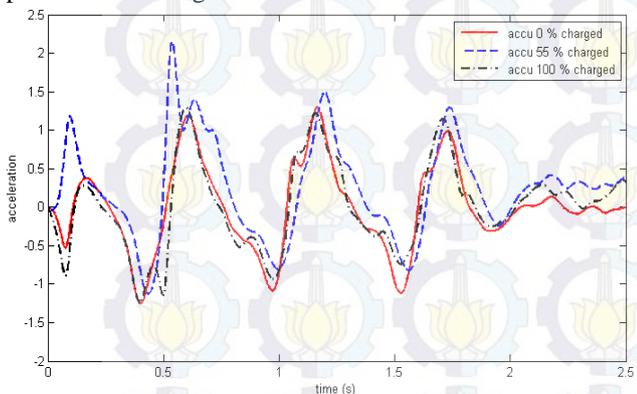
Gambar Grafik RMS base eksitasi periodik 1.4Hz dengan 3 kondisi akumulator.

Dari hasil pengujian didapatkan pada grafik 4.17. ialah hasil eksitasi input base dengan frekuensi 1.7 Hz. Dari gambar 4.17. didapatkan nilai RMS untuk akumulator 100 % charged ialah  $1.88 \text{ m/s}^2$ , untuk akumulator 55 % nilai RMS ialah  $2.24 \text{ m/s}^2$  dan untuk akumulator 0 % charged nilai RMS ialah  $1.9 \text{ m/s}^2$ .

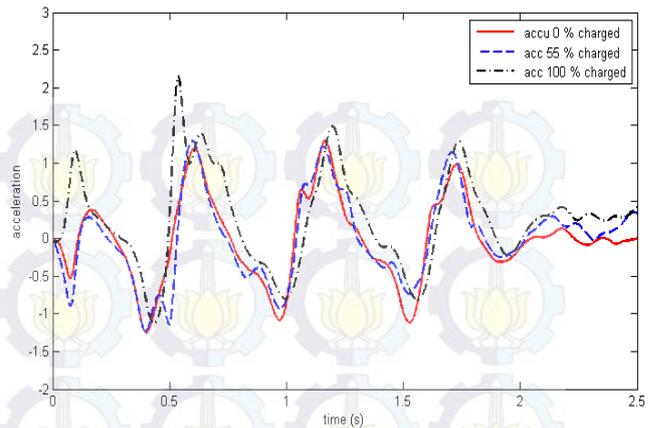
Grafik pada gambar 4.18 dengan eksitasi sebesar 1,7 Hz periodik. Dari grafik 4.18. nilai RMS akumulator 100 % charged sebesar  $0.9 \text{ m/s}^2$ , akumulator 55 % charged sebesar  $0.88 \text{ m/s}^2$  dan akumulator 0 % charged sebesar  $1.45 \text{ m/s}^2$ . Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai percepatan yang dihasilkan HEMSA dengan beban akumulator 0 % dan yang paling rendah nilai percepatannya dihasilkan oleh HEMSA dengan akumulator kosong atau 100 %. Berdasarkan pada standar ISO kenyamanan penumpang bahwa nilai percepatan rendah ialah baik. Dari uraian tersebut maka HEMSA dengan akumulator 0 % charged paling jelek dan yang paling baik ialah HEMSA dengan akumulator kosong atau 100 % charged.

Hal ini sudah sesuai dikarenakan semakin terisi kondisi akumulator, maka nilai redaman akan semakin besar. Sehingga akan berpengaruh terhadap nilai RMS yang dihasilkan. Nilai RMS yang dihasilkan untuk akumulator 0 % akan berada paling atas selanjutnya pada kondisi akumulator 55 % dan yang paling bawah 100 %.

Berikut adalah grafik RMS base dan sprung eksitasi periodik 2Hz dengan 3 kondisi akumulator.



Gambar Grafik RMS base eksitasi periodik 1.4Hz dengan 3 kondisi akumulator.



Gambar Grafik RMS base eksitasi periodik 1.4Hz dengan 3 kondisi akumulator.

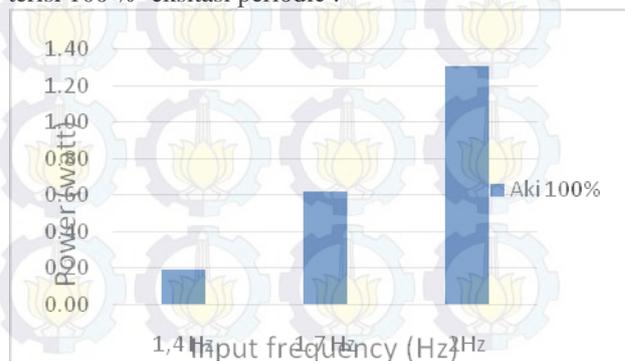
Dari hasil pengujian didapatkan pada grafik 4.19. ialah hasil eksitasi input base dengan frekuensi 2 Hz. Dari gambar 4.19. didapatkan nilai RMS untuk akumulator 100 % charged ialah  $0.96 \text{ m/s}^2$ , untuk akumulator 55 % charged nilai RMS ialah  $1.046 \text{ m/s}^2$  dan untuk akumulator 0 % charged nilai RMS ialah  $0.725 \text{ m/s}^2$ .

Grafik pada gambar 4.20. dengan eksitasi sebesar 2 Hz periodik. Dari garfik 4.20. nilai RMS akumulator 100 % charged sebesar  $0.97 \text{ m/s}^2$ , akumulator 55 % charged sebesar  $1.05 \text{ m/s}^2$  dan akumulator 0 % charged sebesar  $0.7 \text{ m/s}^2$ . Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai percepatan yang dihasilkan HEMSA pada saat akumulator 55 % charged ialah yang paling besar dan yang paling rendah nilai percepatannya dihasilkan oleh HEMSA dengan akumulator kosong atau 100 % charged. Berdasarkan pada standar ISO kenyamanan penumpang bahwa nilai percepatan rendah ialah baik. Dari uraian tersebut maka HEMSA dengan akumulator 55 % charged paling jelek dan yang paling baik ialah HEMSA dengan akumulator kosong atau 100 % charged.

Hal ini belum sesuai dikarenakan semakin terisi kondisi akumulator, maka nilai redaman akan semakin besar. Sehingga akan berpengaruh terhadap nilai RMS yang dihasilkan. Nilai RMS yang dihasilkan untuk akumulator 0 % akan berada paling atas selanjutnya pada kondisi akumulator 55 % dan yang paling bawah 100 %. Terjadinya perbedaan antara teori dan hasil yang disebabkan gangguan yang terjadi dari luar, noise yang besar.

#### D. Performa pada HEMSA

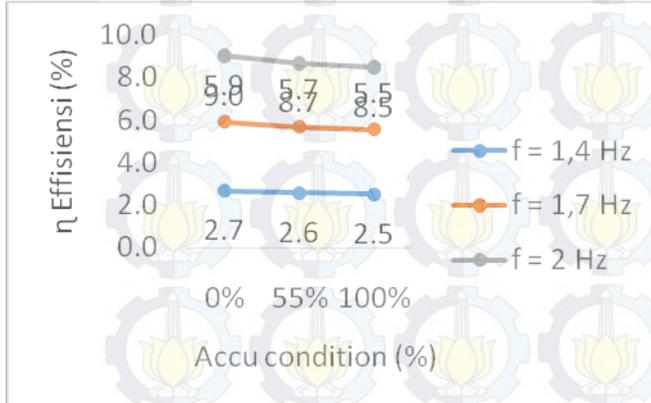
Berikut ialah tabel energy bangkitan pada akumulator terisi 100 % eksitasi periodic :



Gambar 4. 5. Diagram batang energi bangkitan eksitasi periodik 1.4Hz, 1.7Hz, 2Hz pada saat akumulator terisi 100 %.

Gambar 4.21 ialah gambar diagram batang energi bangkitan pada akumulator 100 % charged dengan eksitasi sebesar 1.4Hz, 1.7Hz, 2Hz. Dari gambar 4.21. nilai energi bangkitan yang dihasilkan HEMSA dengan frekuensi sebesar 1.4Hz ialah sebesar 0.19 watt, lalu energi bangkitan yang dihasilkan ketika frekuensi sebesar 1.7Hz ialah 0.62 watt, dan yang dihasilkan HEMSA dengan frekuensi sebesar 2 Hz ialah 1.31watt. Dapat disimpulkan semakin besar frekuensi yang diberikan maka semakin besar pula energi yang dihasilkan oleh HEMSA.

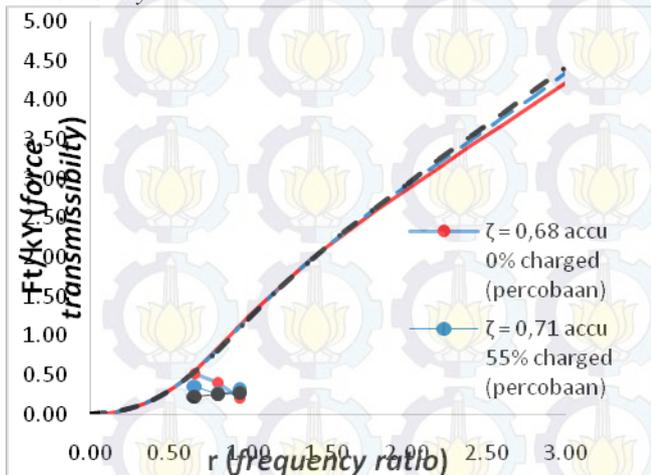
#### Effisiensi



Gambar 4. 6 Grafik efisiensi performa HEMSA pembebanan akumulator

Dari gambar 4.22 dapat dilihat bahwa *trendline* efisiensi performa HEMSA dari setiap variasi pembebanan akumulator terjadi penurunan dengan bertambahnya kondisi pengisian akumulator di tiap-tiap frekuensi eksitasi yang diberikan. Dari grafik di atas menunjukkan bahwa *trendline* sesuai dengan teori, dimana semakin terisi akumulator maka efisiensi daya semakin menurun. Artinya power input yang semakin besar akibat nilai konstanta redaman yang meningkat tidak diikuti power output yang dihasilkan. Hal ini yang mengakibatkan penurunan efisiensi daya HEMSA.

#### Transmibility



Gambar 4. 7. Grafik force transmibility ( X/Y ) versus frequency rasio ( r )

Dari hasil grafik pada gambar 4.23 di atas menunjukkan hubungan antara *force transmissibility* dengan *frequency ratio*. Proses perhitungan dilakukan dengan membandingkan RMS percepatan *sprung mass* dan *base exciter* yang terdapat pada tiap-tiap *damping ratio*, baik teoritis maupun percobaan. Dapat dilihat dari grafik di atas,

*trendline* secara teoritis nilai *force transmissibility* meningkat seiring bertambahnya *frequency ratio* di setiap *damping ratio*. Sedangkan dari hasil eksperimen (percobaan) mengalami kenaikan kemudian penurunan. *Trendline* pada  $\zeta = 0,68$  *accu 0% charged* mengalami penurunan saat  $r = 0,66$  dan  $r = 0,8$ . Lalu  $\zeta = 0,71$  *accu 55 % charged* mengalami penurunan saat  $r = 0,66$  dan  $r = 0,8$ . Namun pada  $\zeta = 0,73$  *accu 100% charged* mengalami kenaikan saat  $r = 0,66$  dan  $r = 0,8$ . pada saat  $r = 0.8$  kondisi ketiga *damping ratio* dan akumulator cenderung bertemu di satu titik.

Dari hasil *trendline* analisa grafik dapat disimpulkan bahwa, pada titik *frequency ratio* dengan *damping ratio* yang lebih besar menghasilkan nilai *force transmissibility* lebih besar. Kondisi pengisian akumulator mempengaruhi nilai *force transmissibility*, ini disebabkan nilai konstanta redaman yang meningkat maka nilai *damping ratio* pun meningkat. Dari ketiga *trendline* grafik hasil eksperimen (percobaan) jauh dari grafik teoritis. Hal ini disebabkan mekanisme HEMSA mempunyai nilai konstanta redaman berbeda-beda, yang terdiri dari beberapa komponen yaitu *hydraulic*, *mechanic*, dan generator serta pengaruh kondisi terisinya akumulator sebagai pembebanan. Juga, kemungkinan terjadi akibat keterbatasan alat ukur atau HEMSA tidak bekerja dengan maksimal.

#### IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

1. Nilai konstanta pegas dari hasil pengujian di laboratorium Sistem Dinamis dan Getaran Teknik Mesin ITS ialah 44357.5 N/m.
2. Nilai redaman total HEMSA tanpa akumulator ialah 4241.27 Ns/m. nilai redaman viscous tanpa akumulator ialah 1790.97 Ns/m dan nilai redaman viscous + friction tanpa akumulator ialah 2368.99 Ns/m. Nilai redaman total yang besar disebabkan oleh pengaruh koefisien gesek roda gigi dan Torsi elektrik dari generator.
3. Nilai redaman total HEMSA dengan akumulator 100 % charged ialah 4834.505 Ns/m. nilai redaman total HEMSA dengan akumulator 55 % charged ialah 4719 Ns/m. nilai redaman total HEMSA dengan akumulator 0 % charged ialah 4537 Ns/m. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa semakin penuh kondisi akumulator akan semakin besar nilai redaman yang dihasilkan.
4. Nilai peak untuk impuls dengan akumulator 100 % charged frekuensi eksitasi 1.4 Hz sebesar 1.503 m/s<sup>2</sup>, akumulator 0 % charged sebesar 0.243 m/s<sup>2</sup>. Akumulator 100 % charged, 55 % charged dan 0 % charged stabil pada detik ke 0.25. semakin terisinya akumulator maka nilai redaman akan semakin besar sehingga mempengaruhi nilai peak yang dihasilkan. Semakin besar nilai redaman maka semakin kecil peak yang dihasilkan.
5. Nilai ( X/Y ) teoritis dan percobaan berbeda jauh. Dimana pada nilai  $r = 0.8$ , nilai ( X/Y ) teoritis mengalami kenaikan namun pada nilai ( X/Y ) percobaan mengalami penurunan. Untuk nilai ( X/Y ) dengan nilai  $r = 0.94$  pada akumulator 100 %, 55 % dan 0 % charged memiliki nilai yang sama yaitu 1.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Sareza Hafis mengucapkan terima kasih dosen pembimbing dan pembahas yang telah memberikan kritik dan saran untuk penulisan artikel ini. Penulis Juga mengucapkan terima kasih kepada keluarga besar penulis

yang telah memberikan dukungan baik secara moral dan finansial.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zhigang Fang, dkk.2013. *Experimental Study of Damping and Energy Regeneration Characteristics of a Hydraulic Electromagnetic Shock Absorber*.Wuhan University of Technology.China
- [2] W. Fox, Robert. *Introduction to Fluid Mechanics 7th edition*.John Wiley & Sons.USA.
- [3] Bart L.J. Gysen dkk. 2010. *Active Electromagnetic Suspension System for Improved Vehicle Dynamics*, Eindhoven University of Technology, Netherlands.
- [4] ESDM (2012) Indonesia Energy Statistic [http://psdg.bgl.esdm.go.id/kepmen\\_pp\\_uu/blueprint\\_PEN.pdf](http://psdg.bgl.esdm.go.id/kepmen_pp_uu/blueprint_PEN.pdf)
- [5] Laksana Guntur, Harus. 2013. *Development and Analysis of a Regenerative Shock Absorber for Vehicle Suspension*. JSME Journal of System Design and Dynamics.
- [6] Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D dan Dr. Ir. Bambang Sampurno, MT., *Teknologi Otomotif Edisi Kedua*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia.
- [7] Sareza Hafis,ST. 2013. *Studi Eksperimental Perbandingan Karakteristik Antara Konvensional Shock Absorber Dengan Regenerative ShockAbsorber (RSA)*.Institut Teknologi Sepuluh Nopember,Surabaya
- [8] S. Rao, Singiresu. 2004 *Mechanical Vibration*. Prentice Hall PTR. Singapore.
- [9] Zuo, Lei dkk. 2010. *Design And Characterization Of An Electromagnetic Energy Harvester For Vehicle Suspension*. New York State University, USA.