

STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK SUSPENSI DAN ENERGI BANGKITAN *HYDRAULIC ELECTRO MECHANIC SHOCK ABSORBER* DUA SELANG *COMPRESSION* SATU *REBOUND* DENGAN PEMBEBANAN AKUMULATOR

Dodi Tri Handriyanto 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 industri otomotif di Indonesia saat ini meningkat dengan pesat. Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar fosil, dimana jumlah kendaraan bermotor semakin banyak sedangkan ketersediaan bahan bakar fosil semakin menurun. Menurut penelitian *Center for Energy, Transportation, and the Environment (CETE)*, kendaraan bermotor hanya menyalurkan 16% dari tenaga bahan bakar yang digunakan. Sisanya sebesar 62% menjadi *engine losses* sebagai panas dan getaran^[1]. Salah satu cara meningkatkan efisiensi adalah dengan memanfaatkan energi yang terbuang, salah satunya adalah dengan memanfaatkan energi yang terdisipasi pada suspensi melalui konsep *Regenerative Shock Absorber (RSA)*. Pada penelitian ini, dilakukan studi eksperimen karakteristik *Regenerative Shock Absorber (RSA)* yang dinamakan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)*, dengan menganalisa pengaruh jumlah selang (*port*), karakteristik suspensi, dan energi bangkitan dari model akibat eksitasi impuls dan periodik pada tingkat frekuensi dan amplitudo yang bervariasi. Pengukuran energi bangkitan dilakukan dengan menggunakan *quarter car suspension test rig*. Dari penelitian ini didapatkan bahwa pengaruh jumlah selang (*port*) HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* berdampak pada gaya yang dapat ditransferkan dari *cylinder hydraulic 1 (absorber)* saat *compression* lebih besar dari pada saat *rebound*, nilai konstanta redaman HEMSA tanpa pembebanan sebesar 3887.5 Ns/m, sedangkan nilai konstanta redaman HEMSA pembebanan akumulator saat terisi 0%, 55%, dan 100% berturut-turut sebesar 4244.5 Ns/m, 4494 Ns/m, dan 4779.5 Ns/m. Energi bangkitan HEMSA pembebanan akumulator saat terisi 0%, 55%, dan 100% berturut-turut adalah ketika frekuensi 1.4Hz yaitu sebesar 0.2 Watt, ketika frekuensi 1.7Hz ialah 0.37 Watt, dan ketika frekuensi 2Hz sebesar 1.65 Watt.

Kata Kunci: *Energy recovery, Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)*, pengujian kendaraan, suspensi

I. PENDAHULUAN

PERKEMBANGAN industri otomotif di Indonesia saat ini meningkat dengan pesat. Pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar fosil, dimana jumlah kendaraan bermotor semakin banyak sedangkan ketersediaan bahan bakar fosil semakin menurun. Menurut *Center for Energy, Transportation and the Environment (CETE)*, yaitu sebuah program penelitian yang diterapkan oleh University of Tennessee Chattanooga, untuk mengembangkan dan menyebarkan teknologi maju yang memanfaatkan sumber yang bersih dan aman energi, menyatakan bahwa kendaraan bermotor hanya efektif menggunakan 16% tenaga bahan bakar dari hasil pembakaran yang digunakan. Sisanya

sebesar 62% menjadi *engine losses* sebagai panas dan getaran, 11% *engine idling*, 6% *transmission losses*, serta 2% dari penambahan aksesoris seperti *Air Conditioner (AC)*, wiper, dll^[1]. Sehingga, tuntutan untuk membuat kendaraan bermotor yang hemat energi dan ramah lingkungan merupakan tantangan dan kewajiban. Salah satu solusi untuk memenuhi tuntutan tersebut ialah dengan mencari, membuat, dan mengembangkan sumber energi alternatif.

Salah satu sumber energi alternatif yang dikembangkan dalam kendaraan adalah *VEH (Vibration Energy Harvesting)* yaitu alat pemanen energi yang memanfaatkan getaran kendaraan pada sistem suspensi. Salah satu alat yang dibuat yaitu *Regenerative Shock Absorber (RSA)*, yang memanfaatkan gerak relatif antara sistem suspensi dengan bodi kendaraan untuk menghasilkan energi listrik. Telah banyak dikembangkan penelitian RSA, baik oleh ilmuan maupun instansi pendidikan. Berdasarkan penelitian terdahulu, di ITS telah dikembangkan *VEH (Vibration Energy Harvesting)*. Pada penelitian ini, alat ini memanfaatkan gerak translasi pada sistem suspensi berupa *cylinder hydraulic*, yang akan mendistribusikan aliran fluida ke *cylinder hydraulic* lainnya sebagai aktuator. Gerak translasi aktuator akan dikonversi menjadi gerak rotasi dengan menggunakan mekanisme *rack and pinion gear*, kemudian gerak rotasi diteruskan oleh *gearbox* yang di dalamnya terdapat *bevel gear* dan menggunakan *one-way bearing* untuk membuat putaran yang searah, kemudian dihubungkan ke generator melalui induksi elektromagnetik sehingga menghasilkan energi listrik berupa tegangan.

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 dan Survei Alat Uji

Studi literatur ini dilakukan agar dapat menambah wawasan, pengetahuan penulis terhadap materi yang akan dibahas pada tugas akhir ini. Pada tahap studi literatur penulis melakukan kajian dan mengambil beberapa teori

penunjang dari buku-buku, artikel, jurnal ilmiah, dan tugas akhir terdahulu. Diharapkan dari hasil studi literatur ini, penulis dapat menganalisa hasil dari pengujian yang dilakukan.

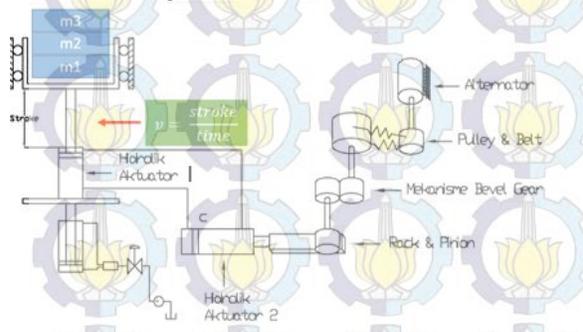
Tahap survei alat ini berfungsi untuk menentukan dimensi, massa uji, *exciter* yang akan digunakan pada pengujian. Alat uji yang digunakan adalah *quarter car suspension test rig* di Laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi Teknik Mesin ITS.

B. Persiapan Pengujian Survei Alat Uji

Tahap persiapan pengujian yaitu berupa penyiapan alat uji, pemasangan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) pada alat uji, *set up* alat uji untuk setiap jenis pengujian.

C. Penentuan Konstanta Redaman Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber

Penentuan konstanta redaman *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) adalah dengan pengujian gaya redaman. Pada kasus ini, pengujian gaya redaman yang dilakukan adalah uji statis (metode pembebanan). Dengan menggunakan pendekatan hukum ketiga Newton, yaitu dengan memberikan massa uji kepada HEMSA (*hydraulic actuator 1* sebagai *absorber*) pada *quarter car suspension test rig*, diasumsikan dimana nilai gaya redaman HEMSA akan sama dengan gaya berat dari massa uji yang diberikan. Pada pengujian ini hanya dilakukan untuk mengetahui kecepatan turun *hydraulic actuator 1* saat *compression* dan *rebound*.



Gambar 1 Skema Uji Statis

Pada uji statis ini terbagi empat macam pengujian, yaitu pengujian *viscous damping (hydraulic)*, *viscous+friction damping (hydraulic+mechanic)*, *viscous+friction+electric damping (hydraulic+mechanic+electromagnetic)*, *viscous+friction+electric damping* tanpa beban, dan *viscous+friction+electric damping* dengan beban akumulator. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai distribusi konstanta redaman terhadap pengaruh pembebanan dan komponen HEMSA (*viscous, friction, electric damping*). Hasil pengujian ditampilkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan. Dari grafik tersebut, kemudian dilakukan perhitungan dari *trendline* distribusi gaya redaman fungsi kecepatan untuk mendapatkan nilai redaman (c).

D. Pengujian Konstanta Pegas

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

E. Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA Akibat Eksitasi Impuls dan Periodik

Pada tahapan pengujian mekanisme ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari suspensi ketika mendapat berbagai macam gaya eksitasi dan amplitudo terhadap energi. 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 diberikan adalah $\frac{1}{4}$ massa kendaraan sebenarnya, yaitu 250 kg (*city car*). Terdapat amplitudo pada pengujian yaitu $A = 2$ cm. Pada amplitudo tersebut terdapat kecepatan eksitasi yang bervariasi. Frekuensi eksitasi yang diberikan yaitu: 1.4 Hz, 1.7 Hz, dan 2 Hz. Menganalisa respon massa uji (*sprung mass*) dan landasan (*base exciter*) akibat dari eksitasi yang diberikan dan membuat grafik daya bangkitan fungsi frekuensi dari suspensi tersebut.

F. Pengolahan Data Pengujian

Data yang diperoleh dari hasil pengujian diolah sehingga hasil pengujian ditunjukkan dalam grafik gaya redaman fungsi kecepatan, energi yang dibangkitkan, dan grafik respon massa terhadap eksitasi yang diberikan.

G. Peralatan yang digunakan

- HEMSA (*hydraulic electro mechanic shock absorber*)

Tabel 1 Spesifikasi HEMSA dua selang *compression* satu *rebound*

Parameter	Nilai
Diameter dalam <i>cylinder hydraulic 1 (absorber)</i>	40 mm
Diameter dalam <i>cylinder hydraulic 2 (actuator)</i>	40 mm
Diameter rod <i>absorber</i>	25 mm
Diameter rod <i>actuator</i>	25 mm
Jenis fluida	SAE 10W
Diameter dalam selang	9,525mm (3/8 inch)

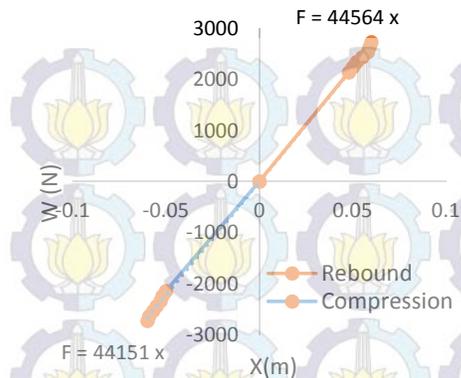
- *Suspension test rig*
- *Oscilloscope*
- Akumulator
- Jangka Sorong
- *Stopwatch*
- Akselerometer
- Multimeter

III. HASIL DAN ANALISA

A. Penentuan Konstanta Pegas

Pengambilan data konstanta pegas ini dilakukan di Laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi Teknik Mesin ITS. Adapun prinsip kerja dari pengambilan data tersebut adalah dengan memasangkan pegas pada alat uji *Suspension test rig* terlebih dahulu, kemudian diberikan gaya dalam bentuk beban (W) di atas pegas. Setelah itu, diukur perubahan panjang (Δx) pada pegas tersebut.

Pengambilan data konstanta pegas dilakukan berdasarkan *range* $\frac{1}{4}$ massa kendaraan, yaitu ± 250 kg. Berikut adalah data hasil pengujian konstanta pegas.



Gambar 2 Grafik Konstanta pegas

Dari grafik pada gambar 2 dan tabel 2 di atas, dapat kita lihat bahwa dengan beban sebesar 2137.6 N didapatkan perubahan panjang sebesar 0.05 m, sedangkan pada beban sebesar 2431.9 N didapatkan perubahan panjang sebesar 0.055 m.

Dari grafik dan tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi beban yang digunakan maka semakin tinggi pula perubahan panjang yang dihasilkan pada pegas tersebut. Sesuai dengan hukum Hooke, dimana $F = k \cdot x$. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat grafik pada gambar 2 di atas bahwa garis hampir terlihat lurus atau mendekati linier.

Jadi dari pengujian nilai konstanta pegas, yang merupakan nilai rata-rata *trendline* konstanta pegas saat kompresi dan *rebound*, didapat nilai K sebesar 44357.5 N/m.

B. Penentuan Konstanta Redaman

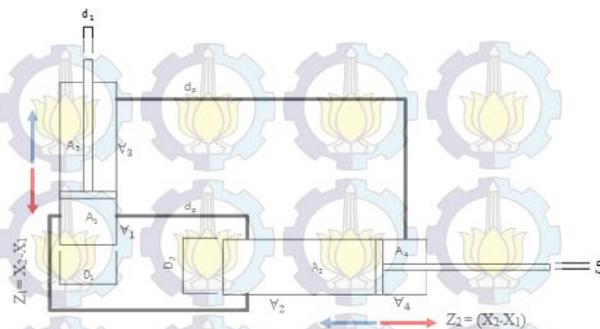
Penentuan konstanta redaman *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) adalah dengan pengujian gaya redaman. Pada kasus ini, pengujian gaya redaman yang dilakukan adalah dengan menggunakan metode pembebanan, yang artinya adalah memberikan beban berupa massa uji bervariasi, untuk mengetahui kecepatan turun dari *absorber*. Pengujian gaya redaman yang dilakukan yaitu, gaya redaman HEMSA tanpa pembebanan dan gaya redaman HEMSA dengan pembebanan akumulator. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan turun absorber saat kompresi dan *rebound*. Dari kecepatan dan berat massa dapat diperoleh nilai konstanta redaman, dari persamaan $Fd = c \cdot V$.

a. Penentuan Konstanta HEMSA tanpa Pembebanan Akumulator

- Konstanta Redaman Hydraulic (viscous damping)

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kontribusi nilai konstanta redaman dari komponen *Hydraulic* pada HEMSA. Pada pengujian *viscous damping* ini, juga untuk mengetahui pengaruh jumlah *port* (selang) yang dipasang pada HEMSA terhadap gaya redaman yang dihasilkan.

Dengan memvariasikan jumlah *port* (selang) bertujuan untuk mendapatkan gaya redaman yang berbeda ketika *absorber* bergerak naik-turun, baik saat *compression* maupun *rebound*. Jumlah *port* yang digunakan pada penelitian ini yaitu: dua selang *compression* dan satu selang *rebound*. Berikut adalah gambar skema mekanisme *hydraulic* dua selang *compression* satu *rebound*:



Gambar 3 Skema mekanisme hydraulic pada HEMSA

Pengaruh jumlah selang pada proses *compression* dan *rebound* dapat dicari dengan menggunakan persamaan Konservasi Massa dan dengan asumsi bahwa fluida kerja merupakan *incompressible fluid*, maka dapat dicari nilai kecepatan di tiap kondisi.

$$\int_{cs} \rho V dA = 0$$

$$Q_1 = Q_p$$

$$A_1 V_1 = A_p V_p$$

Dari persamaan di atas dicoba didekati dengan membuat kecepatan aliran pada saat proses *compression* dan *rebound* sama besar. Mekanisme yang digunakan adalah mekanisme hidraulik sehingga digunakan persamaan Bernoulli berikut:

$$\frac{p_1}{\rho} + \alpha \frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{p_p}{\rho} + \alpha \frac{v_p^2}{2} + gh_p + h_T$$

dimana :

$$h_T = h_l + h_{lm}$$

$$h_l = f \frac{L v^2}{D 2}$$

$$h_{lm} = K \frac{v^2}{2}$$

- Proses *compression*

$$A_1 V_1 = 2A_{pc} V_{pc}$$

$$V_{pc} = \frac{A_1 V_1}{2A_{pc}}$$

$$V_{pc} = \frac{1}{4} \pi D_1^2 V_1$$

$$2 \left(\frac{1}{4} \pi d_p^2 \right)$$

$$\frac{p_1}{\rho} + \alpha \frac{V_1^2}{2} + gh_1 = \frac{p_{pc}}{\rho} + \alpha \frac{V_{pc}^2}{2} + gh_p + h_T$$

Persamaan gaya:

$$F_{h1} = p_1 A_1$$

$$F_{hpc} = p_{pc} A_{pc}$$

Dengan asumsi energi potensial diabaikan, Sehingga didapatkan

$$\frac{F_{h1}}{A_1} + \rho \alpha \frac{V_1^2}{2} = \frac{F_{hpc}}{A_{pc}} + \rho \alpha \frac{V_{pc}^2}{2} + \rho h_{T(compression)}$$

$$\frac{F_{h1}}{A_1} = \frac{F_{hpc}}{2A_{pcompression}} + \rho \alpha \left\{ \frac{(V_{pc}^2 - V_1^2)}{2} \right\} + \rho h_{T(compression)}$$

- Proses *rebound*

$$A_3 V_3 = A_p V_{pr}$$

$$V_{pr} = \frac{A_3 V_3}{A_{pr}}$$

$$V_{pr} = \frac{\frac{1}{4} \pi (D_1^2 - d_1^2) V_3}{\frac{1}{4} \pi d_p^2}$$

$$\frac{P_3}{\rho} + \alpha \frac{V_3^2}{2} + gh_3 = \frac{P_{pr}}{\rho} + \alpha \frac{V_{pr}^2}{2} + gh_p + \rho h_{T(rebound)}$$

Dengan asumsi energi potensial diabaikan, Sehingga didapatkan

$$\frac{F_{h3}}{A_3} + \rho \alpha \frac{V_3^2}{2} = \frac{F_{hpr}}{A_p} + \rho \alpha \frac{V_{pr}^2}{2} + \rho h_{T(rebound)}$$

$$\frac{F_{h3}}{A_3} = \frac{F_{hpr}}{A_{prebound}} + \rho \alpha \left\{ \frac{(V_{pr}^2 - V_3^2)}{2} \right\} + \rho h_{T(rebound)}$$

Sehingga bisa diamati adanya perbedaan gaya saat proses *compression* dan *rebound*

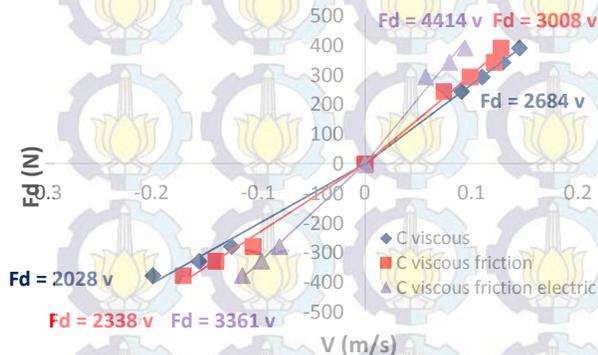
$$\frac{F_{h1}}{A_1} = \frac{F_{hpc}}{2A_{pcomp}} + \rho \alpha \left\{ \frac{(V_{p(comp)}^2 - V_1^2)}{2} \right\} + \rho h_{T(compression)}$$

$$\frac{F_{h3}}{A_3} = \frac{F_{hpr}}{A_{prebound}} + \rho \alpha \left\{ \frac{(V_{p(rebound)}^2 - V_3^2)}{2} \right\} + \rho h_{T(rebound)}$$

$$F_{hpc} > F_{hpr}$$

Dengan membuat kecepatan pada *cylinder hydraulic* 1 (*absorber*) baik proses *compression* dan *rebound* sama dan besar gaya F_{h1} dan F_{h3} sebagai gaya berat yang juga sama akibat variasi massa uji, maka dari persamaan ini didapatkan besar F_{hpc} (*Force hydraulic pipe*) saat *compression* lebih besar dari besar F_{hpr} (*Force hydraulic pipe*) saat *rebound*. Dimana F_{hp} merupakan gaya dorong yang mampu ditransferkan yang berada di dalam pipa. Artinya variasi jumlah port mengakibatkan perbedaan gaya redaman yang terjadi pada komponen *hydraulic* (*viscous damping*).

Berikut grafik hasil pengujian gaya redaman *compression* dan *rebound* HEMSA tanpa pembebanan akumulator:



Gambar 4 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA tanpa pembebanan akumulator

Pada gambar 4 bahwa terdapat nilai pada saat kompresi maupun pada saat *rebound*. Dari nilai tersebut kemudian dirata-rata. Sehingga, nilai konstanta redaman *Hydraulic* (*viscous*) adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu 2356 Ns/m. Kemudian, nilai konstanta redaman *Hydraulic* dan *Mechanic* yaitu 2673 Ns/m. Dan, nilai konstanta

redaman *Hydraulic*, *Mechanic*, dan generator yaitu 3887.5 Ns/m.

Dari penurunan persamaan Bernoulli untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah selang (*port*), maka hasil pengujian *viscous damping* pada subbab ini sesuai dengan teori. Variasi jumlah port mempengaruhi nilai konstanta redaman *viscous damping*. Pada saat *compression* nilai konstanta redaman lebih kecil dari pada saat *rebound*. Ini dikarenakan gaya yang ditransferkan pada saat *compression* lebih besar dari pada saat *rebound*. Artinya jumlah selang menjadi faktor yang dominan dalam penentuan nilai konstanta redaman *viscous damping*.

Persamaan gaya redaman akibat gesekan (*friction*) $F_d = C_f v$, dimana C_f adalah konstanta redaman *friction*. Gaya gesek (f_s) mempengaruhi gaya redaman yang dihasilkan akibat dari koefisien gesek kinetik (μ_k) dikalikan dengan gaya normalnya (N), $f_s = \mu_k N$. Dari hasil pengujian menunjukkan kesesuaian dengan teori, yaitu dengan bertambahnya nilai konstanta redaman akibat penambahan komponen *mechanic* pada HEMSA.

Dari persamaan $T_e = 2BLIRN$, dimana T_e merupakan Torsi electric dari generator (*Alternator*) maka hasil pengujian sesuai dengan teori. Kuat medan magnet yang dihasilkan dari *Alternator* adalah tetap, magnet pada *alternator* yang digunakan merupakan magnet permanen. Kuat medan magnet inilah yang berpengaruh pada konstanta redaman pada generator (*electric damping*) untuk pengujian gaya redaman.

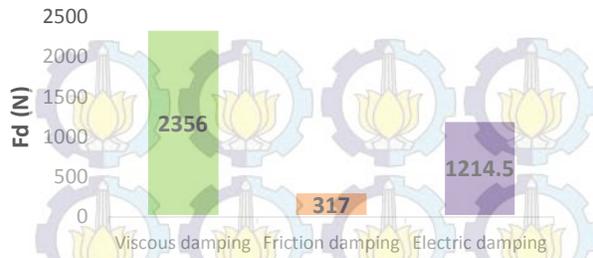
- Distribusi Konstanta Redaman HEMSA tanpa pembebanan

Dari beberapa pengujian gaya redaman untuk penentuan konstanta redaman *Hydarulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA), maka diperoleh distribusi konstanta redaman dari masing-masing komponen HEMSA. Berikut grafik distribusi konstanta redaman HEMSA:

Tabel 2 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA

Komponen HEMSA	C rebound (N.s/m)	C compression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	2684	2028	2356
Viscous+friction damping	3008	2338	2673
Friction damping	324	310	317
Electric damping	1406	1023	1214.5

Dari tabel 2 di atas dapat dilihat bahwa nilai pada $C_{rebound}$ HEMSA lebih besar daripada nilai pada $C_{compression}$ yaitu sebesar 4414 Ns/m. Untuk *shock absorber* yang dikatakan baik adalah apabila nilai konstanta redaman pada *rebound* tersebut lebih besar daripada *compression*. Nilai redaman pada *rebound* berfungsi apabila *shock absorber* mendapatkan suatu eksitasi baik impuls ataupun periodik. Sehingga penumpang hanya sedikit dapat merasakan guncangan dan nyaman dalam berkendara. Artinya, HEMSA dapat dikatakan baik untuk meredam kejut akibat eksitasi impuls maupun periodik.

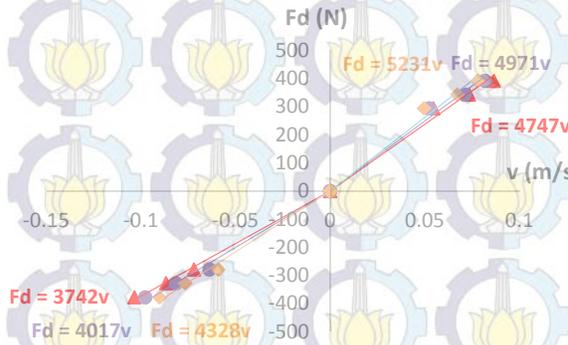


Gambar 5 Diagram Batang Distribusi Konstanta Redaman Komponen HEMSA

Dari tabel 2 dan gambar 5 di atas, bahwa distribusi konstanta redaman komponen *hydraulic (viscous damping)* dari HEMSA yaitu 2356 Ns/m. Pada komponen generator (*electric damping*) dari HEMSA yaitu 1214.5 Ns/m. Sedangkan komponen *mechanic (friction damping)* yaitu 317 Ns/m. Hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa kontribusi gaya redaman terbesar diberikan oleh komponen *hydraulic*. Hal ini, juga dipengaruhi oleh jumlah selang, diameter selang, dan viskositas fluida yang digunakan.

b. Penentuan Konstanta HEMSA dengan Pembebanan Akumulator

Pada pengujian dengan pembebanan akumulator, terdapat 3 variasi pembebanan akumulator berdasarkan kondisi akumulator, yaitu kondisi terisi 0%, 55%, 100% (0Ah, ±2,5Ah, 5Ah). Berikut grafik hasil pengujian gaya redaman kompresi dan rebound:



Gambar 6 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pembebanan akumulator

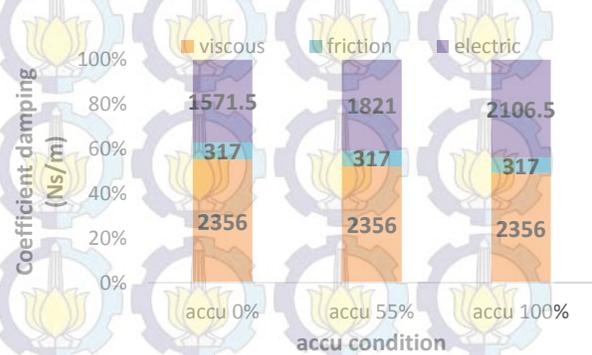
Pada gambar 6 bahwa nilai konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 0% adalah rata-rata dari kompresi dan rebound yaitu 4244.5 Ns/m, nilai konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 55% adalah rata-rata dari kompresi dan rebound yaitu 4494 Ns/m, dan nilai konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100% adalah rata-rata dari kompresi dan rebound yaitu 4779.5 Ns/m.

- Distribusi Konstanta Redaman HEMSA dengan Pembebanan Akumulator

Dari beberapa pengujian gaya redaman untuk penentuan konstanta redaman *Hydarulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)*, maka diperoleh distribusi konstanta redaman dari masing-masing komponen HEMSA. Berikut berturut-turut tabel dan grafik distribusi konstanta redaman HEMSA:

Tabel 3 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA beban akumulator

Komponen HEMSA	C rebound (N.s/m)	C compression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Total damping coefficient accu 0% charged	4747	3742	4244.5
Total damping coefficient accu 55% charged	4971	4017	4494
Total damping coefficient accu 100% charged	5231	4328	4779.5



Gambar 7 Diagram batang distribusi nilai konstanta redaman HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* dengan variasi pembebanan akumulator

Dari beberapa tabel 3 di atas dan digram batang pada gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai *viscous damping* pada setiap pembebanan akumulator tetap, yaitu sebesar 2356 Ns/m. Begitu pula dengan nilai *friction damping*, di setiap pembebanan akumulator nilainya tetap, yaitu sebesar 317 Ns/m. Namun, pada nilai *electric damping* terjadi kenaikan nilai redamannya seiring bertambah kondisi terisinya akumulator. Berturut-turut nilai *electric damping*nya 1571.5 Ns/m, 1821 Ns/m, dan 2106.5 Ns/m. Hasil pengujian *electric damping* tidak sepenuhnya akibat dari generator saja, tetapi juga akibat dari redaman dari *belt*.

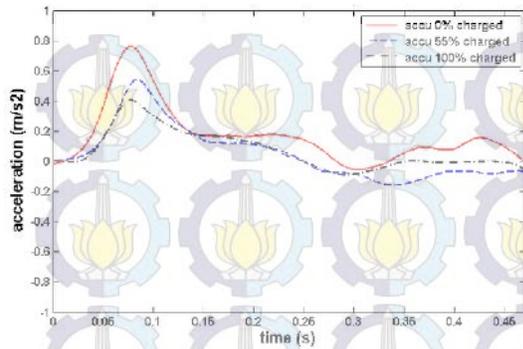
Dari persamaan $T_e = 2BLIRN$, dimana T_e merupakan Torsi *electric* dari generator (alternator) maka hasil pengujian sesuai dengan teori. Variasi dari kondisi akumulator berpengaruh pada torsi *electric* yang terjadi pada generator. Semakin besar Arus (I) semakin besar pula nilai Torsi, yang mana diperlukan untuk memutar generator. Sehingga ini berdampak pada konstanta redaman pada generator (*electric damping*).

C. Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA

Pada pengujian ini terdapat variasi pembebanan akumulator dengan berbagai macam kondisinya, yaitu: kondisi terisi 0%, 55%, 100% (0Ah, ±2,5Ah, 5Ah). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui respon massa dan energi bangkitan HEMSA. Pada tahap ini, juga bertujuan untuk mengetahui performa dari HEMSA yaitu dengan membandingkan tingkat kenyamanan.

a. Eksitasi Impuls

Pengujian karakteristik suspensi HEMSA akibat ekstasi impuls bertujuan untuk mengetahui respon massa secara transient. Eksitasi impuls merupakan suatu gambaran profil jalan berupa *bump*.



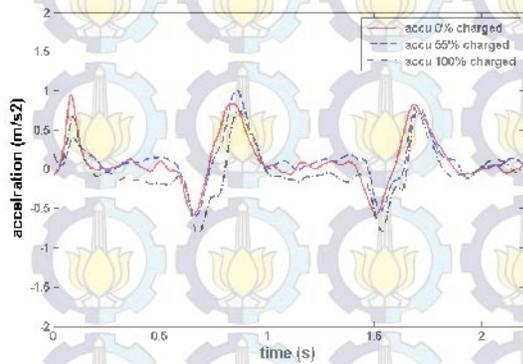
Gambar 8 Grafik respon sprung mass pengujian impuls

Dari hasil pengujian ini, pada gambar 8 di atas menunjukkan bahwa percepatan *overshoot/peak* HEMSA pada saat accumulator terisi 0%, 55%, dan 100% berturut-turut sebesar: 0.76 m/s², 0.54 m/s², dan 0.41 m/s². Untuk accumulator 0% pada detik ke- 0.47 sudah mengalami kondisi stabil, untuk accumulator 55% mengalami keadaan stabil ketika detik ke- 0.4 dan untuk kondisi accumulator 100% mengalami kondisi stabil ketika detik ke- 0.37.

Damping ratio HEMSA pada saat accumulator terisi 0%, 55%, dan 100% berturut-turut sebesar: 0.64, 0.67, dan 0.72. 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, dimana sistem suspensi HEMSA adalah teredam.

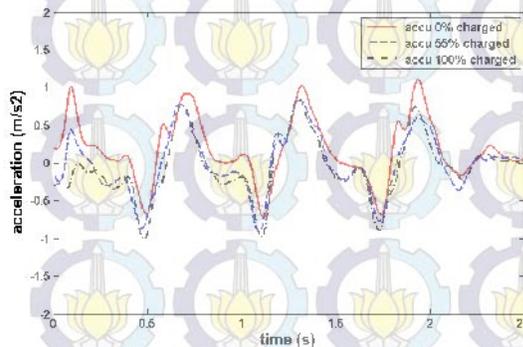
b. Eksitasi Periodik

- Periodik frekuensi 1,4 Hz



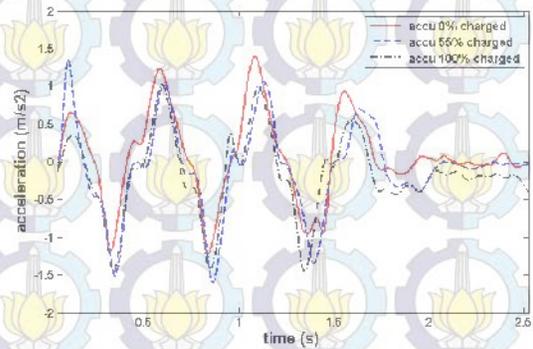
Gambar 9 Grafik respon sprung mass eksitasi periodik 1,4 Hz dengan pembebanan accumulator

- Periodik frekuensi 1,7 Hz



Gambar 10 Grafik respon sprung mass eksitasi periodik 1,7 Hz dengan pembebanan accumulator

- Periodik frekuensi 2 Hz



Gambar 11 Grafik respon sprung mass eksitasi periodik 2 Hz dengan pembebanan accumulator

Hasil pada grafik eksitasi periodik di atas berpengaruh terhadap kenyamanan penumpang, pada pengujian ini hasil dari grafik tersebut didapatkan rms percepatan pada masing-masing shock absorber, dan kemudian dihubungkan dengan standar ISO 2631 kenyamanan pengendara.

D. Pengujian Energi Bangkitan HEMSA

Pengujian energi bangkitan HEMSA dilakukan dengan cara mengukur voltase dan arus yang dibangkitkan oleh generator dengan menggunakan multimeter. Pada pengujian ini, energi bangkitan yang diukur adalah akibat eksitasi periodik. Pengukuran energi bangkitan HEMSA dengan pembebanan accumulator tidak dapat dilakukan dikarenakan tegangan jepit yang terukur adalah tegangan dari accumulator. Sehingga, pengukuran energi bangkitan pada pengujian menggunakan bohlam (R 250 Ohm) sebagai pembebanan. Berikut adalah data hasil energi bangkitan HEMSA pada eksitasi periodik:



Gambar 12 Diagram batang energi bangkitan HEMSA eksitasi periodik 1.4 Hz, 1.7 Hz, 2 Hz

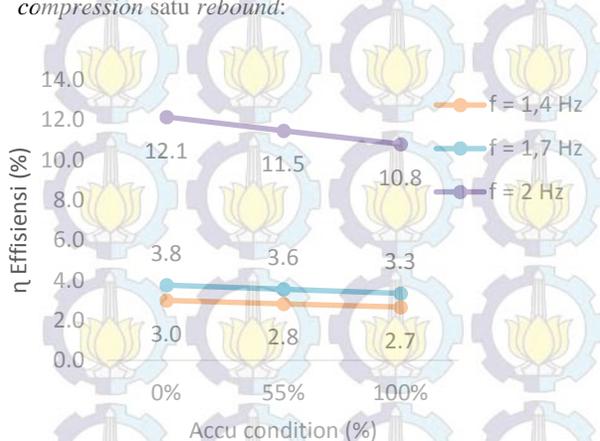
Dari gambar 12 nilai energi bangkitan yang dihasilkan HEMSA dengan frekuensi 1.4 Hz yaitu sebesar 0.2 Watt, lalu energi bangkitan yang dihasilkan HEMSA ketika frekuensi 1.7 Hz ialah 0.37 Watt, dan yang dihasilkan HEMSA dengan frekuensi 2 Hz sebesar 1.65 Watt. Dapat disimpulkan semakin besar frekuensi yang diberikan maka semakin besar pula energi yang dihasilkan oleh HEMSA.

E. Performa Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber

a. Effisiensi

Dengan dilakukannya beberapa pengujian pada HEMSA yaitu pengujian eksitasi impuls dan periodik. Dapat dihitung performa dari masing-masing alat

tersebut dengan menghitung efisiensi HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* di setiap variasi pembebanan akumulator, dengan membandingkan *power output* terhadap *power input*. *Power output* (P_o) merupakan energi bangkitan yang dihasilkan oleh HEMSA berupa energi listrik. *Power input* (P_i) adalah energi yang timbul akibat dari gaya redaman dikalikan kecepatan relatif sistem suspensi. $P_i = \int Fd \, dz$, dimana Fd adalah gaya redaman, dan z adalah kecepatan relatif antara *base exciter* dengan *sprung mass*. Berikut efisiensi yang dihasilkan oleh HEMSA dua selang *compression* satu *rebound*:

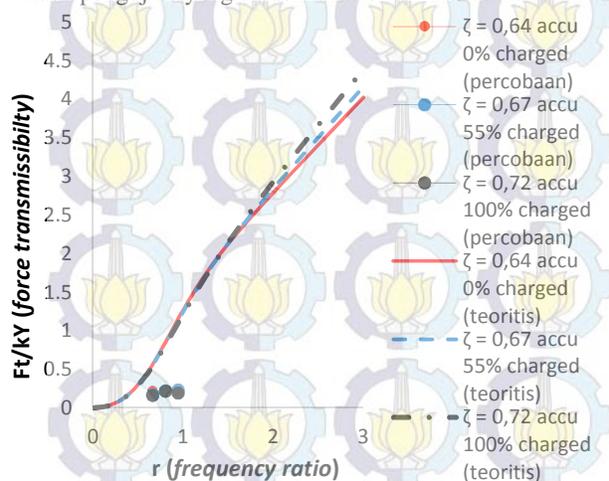


Gambar 13 Grafik efisiensi peroma HEMSA pembebanan akumulator

Dari gambar 13 dapat dilihat bahwa *trendline* efisiensi peroma HEMSA dari setiap variasi pembebanan akumulator terjadi penurunan dengan bertambahnya kondisi pengisian akumulator di tiap-tiap frekuensi eksitasi yang diberikan. 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.

b. Transmissibilitas HEMSA

Dengan dilakukannya beberapa pengujian pada HEMSA yaitu pengujian eksitasi impuls dan periodik. Dapat dibandingkan peroma dari masing-masing alat tersebut dengan menggunakan grafik *force transmissibility* terhadap *ratio frekuensi*. Berikut grafik hasil pengujian yang dihasilkan oleh HEMSA:

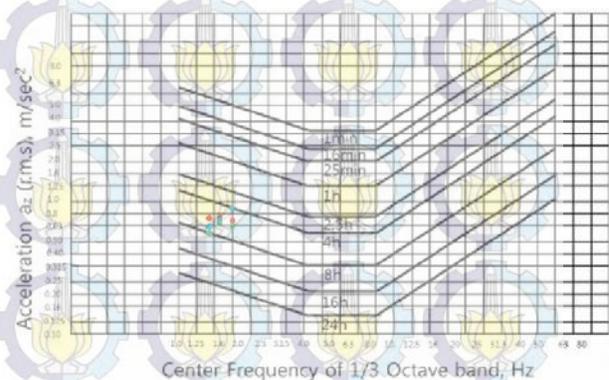


Gambar 14 Grafik *force transmissibility* (F_T/kY) versus *frequency ratio* (r)

Dari hasil grafik pada gambar 14 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 = 0,64 *accu* 0% *charged* mengalami penurunan saat $r = 0,66$ dan $r = 0,8$ nilai F_T/kY sama besar yaitu 0,22 kemudian saat $r = 0,94$ nilai F_T/kY sebesar 0,2. Kenaikan terjadi pada *trendline* = 0,67 *accu* 55% *charged* dimulai dari $r = 0,66$ $r = 0,8$ dan $r = 0,94$ berturut-turut nilai F_T/kY sebesar 0,17; 0,22; dan 0,24. Pada = 0,72 *accu* 100% *charged* *trendline* terjadi kenaikan kemudian penurunan. Kenaikan dimulai dari $r = 0,66$ sampai dengan $r = 0,8$ dengan nilai F_T/kY sebesar 0,17 ke 0,22. Kemudian, mengalami penurunan dari $r = 0,8$ sampai $r = 0,94$ dengan nilai F_T/kY sebesar 0,22 ke 0,20.

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.

c. ISO 2631 Kenyamanan Penumpang



Gambar 15 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik. (merah) *accu* 0% *charged* (biru) *accu* 55% *charged* (hijau) *accu* 100% *charged*.

Dari keseluruhan variasi pembebanan akumulator, penumpang mampu menerima guncangan selama 4 sampai dengan 8 jam. Dengan rata-rata 6 jam penumpang mampu untuk menerima guncangan. Efisiensi terbesar terjadi pada saat HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* menerima eksitasi periodik

dengan frekuensi eksitasi 2 Hz, yaitu sebesar 12.1% dengan kemampuan menerima guncangan selama 8 jam.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Dari hasil eksperimen pada *Hydraulic Electro Mechanical Shock Absorber* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa variasi jumlah *port* mempengaruhi nilai konstanta redaman *viscous damping*. Pada saat *compression* nilai konstanta redaman lebih kecil dari pada saat *rebound*. Ini dikarenakan gaya yang ditransferkan pada saat *compression* lebih besar dari pada saat *rebound*. Artinya jumlah selang menjadi faktor yang dominan dalam penentuan nilai konstanta redaman *viscous damping*. Nilai konstanta redaman HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* tanpa pembebanan sebesar 3887.5 Ns/m. Dengan nilai *compression* sebesar 3361 Ns/m dan *rebound* sebesar 4414 Ns/m. Ini berarti HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* dapat dikatakan baik untuk meredam kejut akibat eksitasi impuls dan periodik.

Variasi dari kondisi akumulator berpengaruh pada torsi *electric* yang terjadi pada generator. Semakin besar Arus (I) semakin besar pula nilai Torsi, yang mana diperlukan untuk memutar generator. Sehingga ini berdampak pada konstanta redaman pada generator (*electric damping*). Artinya semakin terisi akumulator, nilai konstanta redaman generator (*electric damping*) semakin meningkat. Hasil pengujian *electric damping* tidak sepenuhnya akibat dari generator saja, tetapi juga akibat dari redaman dari *belt*. Nilai konstanta redaman HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* pembebanan Akumulator. Pada saat akumulator terisi 0% sebesar 4244.5 N.s/m, Pada saat akumulator terisi 55% sebesar 4494 Ns/m, Pada saat akumulator terisi 100% sebesar 4779.5. Artinya, semakin terisi akumulator nilai konstanta redaman semakin meningkat.

Besar nilai konstanta pegas dari hasil pengujian yang digunakan untuk HEMSA adalah sebesar 44357.5 N/m.

Untuk pengujian mekanisme HEMSA akibat ekitasi Impuls, nilai percepatan *peak* HEMSA pada saat akumulator terisi 0%, 55%, dan 100% berturut-turut sebesar: 0.76 m/s², 0.54 m/s², dan 0.41 m/s². Untuk akumulator 0% pada detik ke- 0.47 sudah mengalami kondisi stabil, untuk akumulator 55% mengalami keadaan stabil ketika detik ke- 0.4 dan untuk kondisi akumulator 100% mengalami kondisi stabil ketika detik ke- 0.37. Sementara, Energi bangkitan HEMSA dua selang *compression* satu, ketika frekuensi 1.4Hz yaitu sebesar 0.2 Watt, ketika frekuensi 1.7Hz ialah 0.37 Watt, dan ketika frekuensi 2Hz sebesar 1.65 Watt. Dapat disimpulkan semakin besar frekuensi yang diberikan maka semakin besar pula energi yang dihasilkan oleh HEMSA.

Untuk efisiensi performa HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* disimpulkan bahwa semakin terisi akumulator maka efisiensi daya semakin menurun. Disebabkan, *power input* yang semakin besar akibat nilai konstanta redaman yang meningkat tidak diikuti *power output* yang dihasilkan. Hal ini yang berdampak pada penurunan efisiensi daya HEMSA. Untuk transmissibilitas HEMSA, Transmissibilitas HEMSA dari grafik F_T/kY vs r , hasil pengujian jauh dari perhitungan teoritis. Ini disebabkan mekanisme HEMSA mempunyai nilai konstanta redaman berbeda-beda, akibat dari beberapa komponen yaitu *hydraulic*, *mechanic*, dan generator serta pengaruh kondisi terisinya akumulator sebagai pembebanan. Dimana nilai

redaman mempengaruhi nilai *damping ratio*. Dari grafik kenyamanan penumpang standart ISO 2631, dari keseluruhan variasi pembebanan akumulator, penumpang mampu menerima guncangan selama 4 sampai dengan 8 jam. Dengan rata-rata 6 jam penumpang mampu untuk menerima guncangan. Efisiensi terbesar terjadi pada saat HEMSA dua selang *compression* satu *rebound* menerima eksitasi periodik dengan frekuensi eksitasi 2 Hz, yaitu sebesar 12.1% dengan kemampuan menerima guncangan selama 8 jam.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis, Dodi Tri Handriyanto, mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan pembahas yang telah memberikan kritik dan saran untuk penulisan artikel ini. Penulis Juga mengucapkan terima kasih kepada keluarga besar penulis yang memberikan dukungan baik secara moral dan finansial.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] _____. "Hybrid Vehicle". university of tennessee chattanooga. [online], (<http://www.utc.edu/college-engineering-computer-science/research-centers/cete/hybrid.php>, diakses tanggal 05/04/2014
- [2] Anderson, Zack. "energy-harvesting shockabsorbers". Massachusetts Institute of Technology. [online], (<http://web.mit.edu/newsoffice/2009/shock-absorbers-0209.html>, diakses tanggal 05/04/2014)
- [3] Bart L.J. Gysen dkk. 2010. *Active Electromagnetic Suspension System for Improved Vehicle Dynamics*, Eindhoven University of Technology, Netherlands.
- [4] Zhigang Fang, dkk. 2013. *Experimental Study of Damping and Energy Regeneration Characteristics of a Hydraulic Electromagnetic Shock Absorber*. Wuhan University of Technology, China
- [5] Laksana Guntur, Harus. 2013. *Development and Analysis of a Regenerative Shock Absorber for Vehicle Suspension*. JSME Journal of System Design and Dynamics.
- [6] S. Rao, Singiresu. 2004. *Mechanical Vibration*. Prentice Hall PTR. Singapore.
- [7] Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D dan Dr. Ir. Bambang Sampurno, MT., *Teknologi Otomotif Edisi Kedua*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia.
- [8] W. Fox, Robert. *Introduction to Fluid Mechanics 7th edition*. John Wiley & Sons. USA.