



TUGAS AKHIR - TM091486

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK GETARAN DAN
ENERGI BANGKITAN HYDRAULIC ELECTRO MECHANIC
SHOCK ABSORBER DOUBLE PORT DENGAN RASIO
CYLINDER 40:30 AKIBAT VARIASI PEMBEBANAN LISTRIK**

ADITYO PUTRANTO
NRP. 2111106012

Academic Supervisor
Dr. Eng Harus Laksana Guntur, ST., M. Eng

JURUSAN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2014



FINAL PROJECT (*Design*) - TM091486

**EXPERIMENTAL STUDY OF VIBRATION
CHARACTERISTICS AND ENERGY RECOVERY HYDRAULIC
ELECTRO MECHANIC SHOCK ABSORBER DOUBLE PORT
CYLINDER RATIO 40:30 WITH ELECTRICAL LOAD
VARIATION**

ADITYO PUTRANTO
NRP. 2111 106 012

Academic Supervisor
Dr. Eng. HARUS LAKSANA GUNTUR, ST., M. Eng.

BACHELOR PROGRAM
DYNAMICS SYSTEM AND VIBRATION LABORATORY
DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial Technology
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014

**Studi Eksperimen Karakteristik Getaran Dan Energi
Bangkitan *Hydraulic Electro Mechanic Shock
Absorber Double Port* Dengan Rasio Cylinder 40:30
Akibat Variasi Pembebanan Listrik**

Nama Mahasiswa : Adityo Putranto
NRP : 2111 106 012
Jurusan : Teknik Mesin FTI – ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, ST,
M.Eng.

ABSTRAK

Peningkatan trendline kendaraan khususnya roda empat yang menggunakan bahan bakar fosil berbanding terbalik dengan ketersediaan bahan bakar fosil yang ada di Indonesia, selain itu menurut penelitian *Center for Energy, Transportation, and the Environment (CETE)*, kendaraan bermotor hanya menyalurkan 16% dari tenaga bahan bakar yang digunakan. Sisanya sebesar 65% terbuang sebagai panas dan getaran. Salah satu cara meningkatkan efisiensi adalah dengan memanfaatkan energi yang terbuang dan mengubahnya menjadi energi listrik yang bermanfaat melalui konsep *Regenerative Shock Absorber (RSA)*.

Pada penelitian ini, dilakukan studi eksperimen karakteristik getaran dan energi bangkitan *hydraulic electro mechanic shock absorber double port* dengan rasio diameter cylinder 40mm:30mm akibat variasi pembebanan listrik. Pengujian dilakukan secara statis dan dinamis akibat pembebanan listrik. Pengujian secara statis bertujuan untuk mengetahui nilai gaya redaman total serta distribusi nilai gaya redaman *viscose damping, friction damping, dan electrical damping* akibat variasi pembebanan listrik. Sedangkan pengujian dinamis dilakukan untuk mengetahui analisa daya

bangkitan dan respon masa terhadap variasi pembebanan listrik. Pengukuran dan perhitungan dilakukan dengan menggunakan *quarter car suspension test rig* yang akan diukur dengan menggunakan stopwatch, *ossiloscope*, dan *accelerometer*. Mekanisme yang digunakan adalah memasang *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)* ini pada alat tersebut kemudian diberikan beban listrik yang bervariasi.

Dari penelitian ini didapatkan nilai konstanta redaman HEMSA tanpa pembebanan sebesar 58264,4 Ns/m, sedangkan nilai konstanta redaman HEMSA pembebanan 83, 125, dan 250 Ohm berturut-turut sebesar 8146,75 Ns/m, 7586,4 Ns/m, dan 6428,7 Ns/m. Nilai efisiensi HEMSA pada frekuensi 1,4Hz pada pembebanan 83, 125, dan 25 Ohm berturut-turut adalah 1,88%, 2,23%, dan 1,94%. Kemudian pada frekuensi 1,7Hz pada pembebanan 83, 125, dan 25 Ohm berturut-turut adalah 2,74%, 2,23%, dan 2,14%. Selanjutnya pada frekuensi 2,2Hz pada pembebanan 83, 125, dan 25 Ohm berturut-turut adalah 3,39%, 2,91%, dan 2,57%.

Kata kunci: *Regenerative shock absorber*, *Hydraulic*, gaya redaman, HEMSA, beban listrik.

**EXPERIMENTAL STUDY OF VIBRATION
CHARACTERISTICS AND ENERGY RECOVERY
HYDRAULIC ELECTRO MECHANIC SHOCK
ABSORBER DOUBLE PORT CYLINDER RATIO 40:30
WITH ELECTRICAL LOAD VARIATION**

Name : Adityo Putranto
NRP : 2111 106 012
Major : Mechanical Engineering
Supervisor : Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, ST., M. Eng.

ABSTRACT

Increased trendline four-wheeled vehicles, especially the use of fossil fuels is inversely proportional to the availability of fossil fuels that exist in Indonesia, according to the study in addition to the Center for Energy, Transportation, and the Environment (Cete), vehicles only distribute 16% of the fuel energy were used. The remaining 65% is wasted as heat and vibration. One way to improve efficiency is to utilize the wasted energy and converting it into useful electrical energy through the concept of Regenerative Shock Absorber (RSA).

In this research, carried experimental study of vibration characteristics and energy recovery hydraulic electro mechanic shock absorber double port diameter cylinder ratio 40mm:30mm with electrical load variation. Tests performed static and dynamic load with electrical variation. Static testing aims to determine the value of the total damping force and damping force value distribution of viscose damping, friction damping, and the electrical damping with electrical load variation. While dynamic testing was conducted to determine the power generation and analysis of the mass response to variations in the electrical load. Measurements and calculations performed by using the quarter car suspension test rig that will be measured using a stopwatch, ossilloscope, and accelerometer. The mechanism used is to install Electro

Mechanic Hydraulic Shock Absorber (HEMSA) is on the tool then given varying electrical load.

From this study, the damping constant value without the load of 58264.4 HEMSA Ns/m, while the value of the damping constant loading HEMSA 83, 125, and 250 Ohm, respectively for 8146.75 Ns/m, 7586.4 Ns/m, and 6428.7 Ns/m. HEMSA's efficiency at the loading frequency 1,4Hz 83, 125, and 25 Ohm are respectively 1.88%, 2.23%, and 1.94%. Then the frequency of the loading 1,7Hz 83, 125, and 25 Ohm are respectively 2.74%, 2.23%, and 2.14%. Furthermore, the frequency of loading 2,2Hz at 83, 125, and 25 Ohm are respectively 3.39%, 2.91%, and 2.57%.

Keywords: Regenerative shock absorber, Hydraulic, damping force, HEMSA, electrical load.

LEMBAR PENGESAHAN

**Studi Eksperimen Karakteristik Getaran Dan Energi
Bangkitan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber Double
Port* Dengan Rasio Cylinder 40:30 Akibat Variasi
Pembebanan Listrik**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Bidang Studi Desain

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin

Fakultas Teknologi Industri

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

ADITYO PUTRANTO

NRP. 2111 106 012

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr.Eng Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng (Pembimbing)

2. Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MTA (Penguji I)

3. Ir. Yunarko Triwinarno, MT (Penguji II)

4. Ir. J. Lubi (Penguji III)

SURABAYA

Juli, 2014



(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkatnya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Studi Eksperimen Karakteristik Getaran Dan Energi Bangkitan Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber Double Port Dengan Rasio Cylinder 40mm:30mm Akibat Variasi Pembebanan Listrik” ini dengan sebaik-baiknya dan sesuai dengan jadwal yang diharapkan. Keberhasilan dalam penyelesaian laporan penelitian tugas akhir ini, tidak lepas berkat dukungan dan bantuan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih dan penghargaan setinggi-tingginya kepada:

1. Bapak Dr.Eng Harus Laksana Guntur ST., M.Eng selaku dosen pembimbing yang dengan sabar dan tidak henti-hentinya memberikan bimbingan, motivasi, dan dukungan, sehingga penulis mampu menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik.
2. Bapak Dr. Unggul Wasiwitono, ST., M.Eng.Sc, Bapak Ir. Yunarko Triwinarno, MT., Bapak Ir.J.Lubi, dan Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati ST., MT.selaku dosen penguji.
3. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah mendidik dan memberikan ilmu pengetahuan yang bermanfaat bagi penulis.
4. Seluruh karyawan jurusan Teknik Mesin FTI-ITS yang telah turut membantu demi kelancaran dalam pengerjaan tugas akhir ini.
5. Kedua orang tua penulis, dan adik penulis yang telah memberikan doa dan dukungan moral maupun materi kepada penulis.
6. Rekan-rekan Tugas Akhir di Laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi (Alfin, Taufik, Andini, Tyas, Yuly, Fauzi, Burhan, Wisnu, mas Kaspul, mas Koifin, Nanang, Hendra, dkk.) pada

umumnya, serta rekan-rekan satu kelompok HEMSA (Ilham, Amel, Rendra, Totong, Dodi) pada khususnya.

7. Nella Vallen Ika Puspita, S.SIT yang telah mensupport dengan semangat dan doa.
8. Rekan-rekan Lintas Jalur semester genap angkatan 2011 (Kun, Itok, Aldo, Adit, Teguh, Adek, Boris, Yolas, Dimas, dkk.) yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, baik itu berupa saran, doa, dan dukungan, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.
9. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini, yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan, maka saran dan kritik yang konstruktif dari semua pihak sangat diharapkan demi penyempurnaan selanjutnya.

Surabaya, Juli 2014

Penulis,

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL	xxxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Tinjauan terdahulu	7
2.1.1 Regenerative Shock Absorber MIT	7

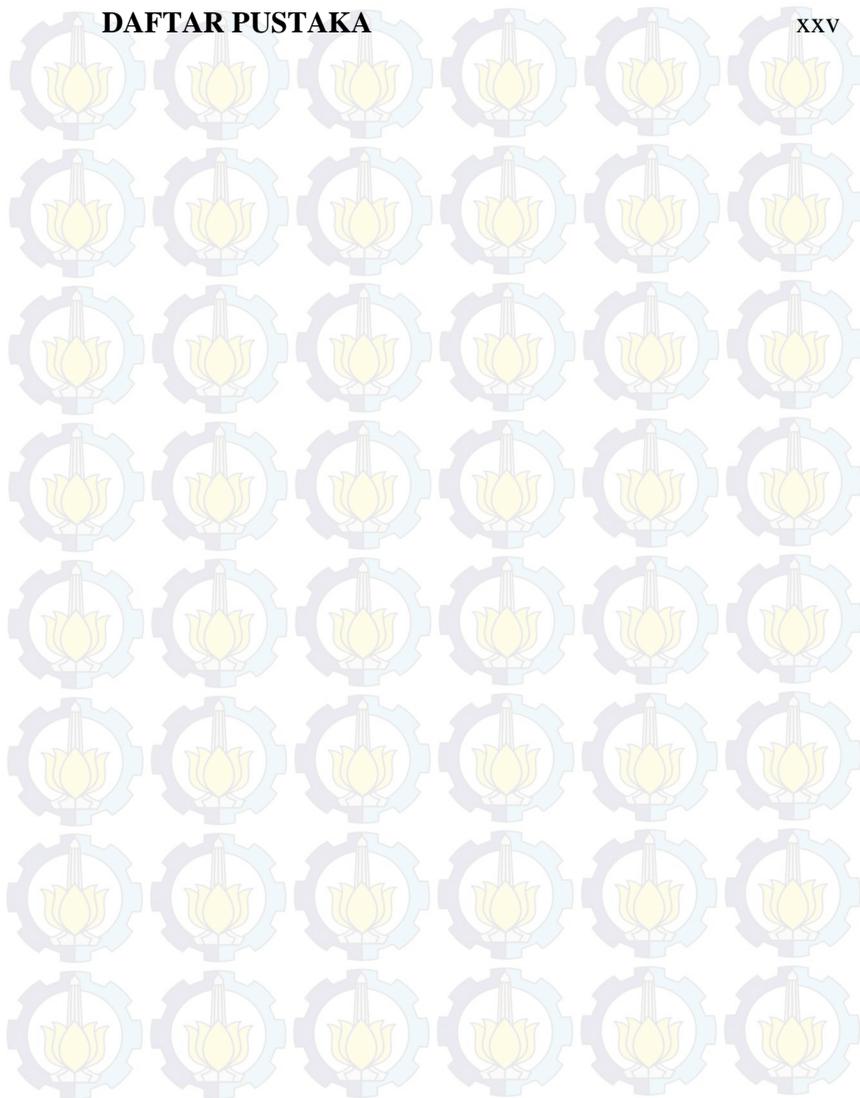
2.1.2	Regenerative Shock Absorber oleh Prof.Lei Zuo	8
2.1.3	The Power-Generating Shock Absorber (PGSA) oleh Ronald B. Goldner	9
2.1.4	Pengembangan Hydraulic Regenerative Shock Absorber oleh Muchamad Eko Jayadilaga	10
2.1.5	Development and Analysis of a Regenerative Shock Absorber for Vehicle Suspension oleh Harus Laksana Guntur	11
2.1.6	Active electromagnetic suspension system oleh Bart L.J.Gysen dkk	12
2.1.7	Pemodelan Dan Analisis Respon Dinamis Regeneratif Shock Absorber Hidrolis Mekanis Elektromagnetik Oleh Deanandya	13
2.2	Mekanika Getaran	14
2.2.1	Pengertian Getaran	14
2.2.2	Getaran Bebas	14
2.2.3	Getaran Paksa	15
2.2.4	Getaran Harmonik	15
2.2.4	Logarithmic decrement	17
2.2.6	Konstanta Redaman	19
2.3	Pengaruh Percepatan Kendaraan Terhadap Manusia	20

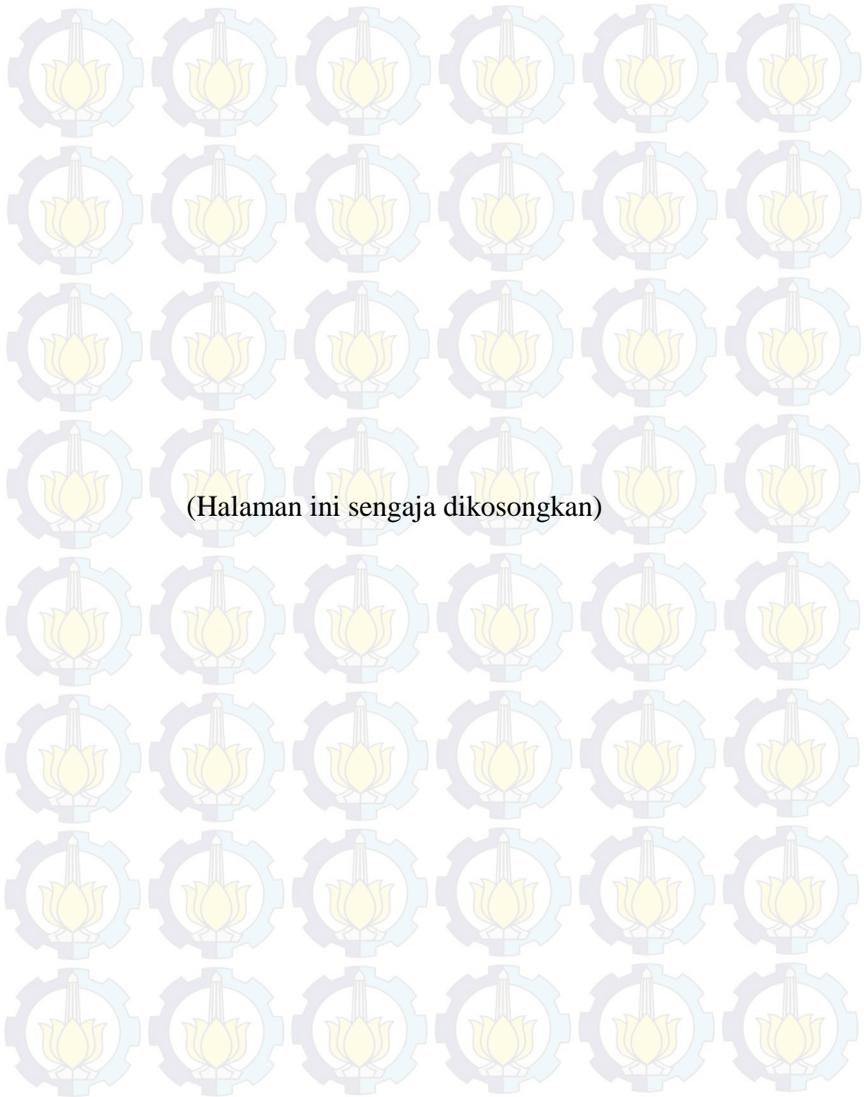
2.4	Dasar Perhitungan Hydraulic Electro Mechanic	
	Shock Absorber (HEMSA)	21
2.5	Alternator sebagai generator	24
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1	Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir	27
3.1.1	Studi Literatur dan survei alat uji	28
3.1.2	Persiapan Pengujian	28
3.1.3	Penentuan gaya redaman Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber	28
3.1.4	Pengujian koefisien spring(pegas)	37
3.1.5	Pengujian Karakteristik eksitasi suspensi HEMSA akibat eksitasi impulsif dan harmonik	39
3.1.5.1	Eksitasi impuls	39
3.1.5.2	Eksitasi harmonik	42
3.2	Peralatan yang digunakan	45
3.2.1	Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)	45
3.2.2	Suspension test rig	47
3.2.3	Oscilloscope	47
3.2.4	Resistor	48
3.2.5	Jangka Sorong	49

3.2.6 Stopwatch	49
3.2.7 Akselerometer	50
3.2.8 Multimeter	51
BAB IV HASIL PENGUJIAN	53
4.1 Penentuan Konstanta Pegas	53
4.1.1 Prinsip kerja	53
4.1.2 Perhitungan Konstanta Pegas	54
4.2 Penentuan Konstanta Redaman	56
4.2.1 Penentuan Konstanta Redaman HEMSA tanpa pembebanan	57
4.2.2 Penentuan Konstanta Redaman HEMSA dengan Pembebanan Listrik	65
4.3 Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA	76
4.3.1 Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA akibat Eksitasi Impuls dan Periodik Pembebanan Listrik	77
4.3.3 Pengujian Energi Bangkitan HEMSA	84
4.3.4 Performa Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber	86
4.3.4 Performa Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber Terhadap Standar Kenyamanan ISO-2631	92
BAB V PENUTUP	97
5.1 Kesimpulan	97

DAFTAR PUSTAKA

xxv





(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1	Grafik Perkembangan Jumlah kendaraan bermotor	1
Gambar 2. 1	Regenerative shock absorber Hydraulic	7
Gambar 2. 2	linier elektromagnetik absorber (Lei Zuo,2010)	8
Gambar 2. 3	Rotational absorber (Lei Zuo,2010)	9
Gambar 2. 4	Power Generating shock Absorber	10
Gambar 2. 5	Desain hydraulic regenerative shock absorber	11
Gambar 2. 6	Desain regenerative Shock Absorber	12
Gambar 2. 7	Active electromagnetic suspension system	13
Gambar 2. 8	Model RSA jenis hidraulis mekanis elektromagnetik	13
Gambar 2. 9	Eksitasi pada landasan	15
Gambar 2. 10	Free Body Diagram eksitasi pada base	16
Gambar 2. 11	Displacement dan force transmissibility	17
Gambar 2. 12	Sistem 1 DOF pada shock absorber sepeda motor	18
Gambar 2. 13	a. Grafik pengaruh gaya redaman terhadap perpindahan b. Grafik pengaruh gaya redaman terhadap kecepatan	20
Gambar 2. 14	Standar ISO 2631	20
Gambar 2. 15	Skematik (HEMSA)	21
Gambar 2. 16	Skema mekanisme compression hydraulic	22
Gambar 2. 17	Skema mekanisme Rebound hydraulic pada RSA	22
Gambar 2. 18	Alternator AC sepeda motor	25
Gambar 3. 1	Flowchart Diagram Penelitian	27
Gambar 3. 2	Skematik Nilai Redaman Viscouse Damping	29
Gambar 3. 3	Flowchart nilai redaman viscouse damping	30
Gambar 3. 4	Skematik nilai redaman friction damping	31
Gambar 3. 5	Flowchart nilai redaman viscouse damping +friction damping	32
Gambar 3. 6	Skematik nilai redaman electrical damping tanpa beban	33
Gambar 3. 7	Flowchart penentuan nilai redaman viscouse damping +mechanical damping + electrical damping tanpa beban	34

Gambar 3. 8	Skematik penentuan nilai redaman viscouse damping +mechanical damping + electrical damping dengan beban	35
Gambar 3. 9	Flowchart penentuan nilai redaman viscouse damping +mechanical damping + electrical damping dengan beban	36
Gambar 3. 10	Pengujian kekakuan Pegas	37
Gambar 3. 11	Flowchart pengujian kekakuan pegas	38
Gambar 3. 12	Eksitasi Impuls	39
Gambar 3. 13	Skematik Eksitasi Impuls	40
Gambar 3. 14	Flowchart pengambilan data pada HEMSA untuk eksitasi impuls	41
Gambar 3. 15	Eksitasi Harmonik	42
Gambar 3. 16	Flowchart pengambilan data pada HEMSA untuk eksitasi harmonik	43
Gambar 3. 17	Flowchart pengambilan data pada HEMSA untuk eksitasi harmonik	44
Gambar 3. 18	Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber	45
Gambar 3. 19	Suspension test rig	47
Gambar 3. 20	Oscilloscope	48
Gambar 3. 21	Skema Rangkaian Seri	48
Gambar 3. 22	Skema Rangkaian Paralel	49
Gambar 3. 23	Jangka Sorong	49
Gambar 3. 24	Stopwatch	50
Gambar 3. 25	Akselerometer	50
Gambar 3. 26	Multimeter	51
Gambar 4. 1	(a). Beban Massa Variasi(b). Pegas (c). Suspension test rig	53
Gambar 4. 2	Grafik Pengujian Konstanta Pegas HEMSA	55
Gambar 4. 3	(a) pengujian compression, (b) pengujian rebound	56
Gambar 4. 4	Grafik gaya redaman fungsi kecepatan viscous damping	58
Gambar 4. 5	Grafik gaya redaman fungsi kecepatan viscous+friction damping	60

Gambar 4. 6	Grafik gaya redaman fungsi kecepatan viscous+friction+electric damping	62
Gambar 4. 7	Distribusi Konstanta Redaman HEMSA	64
Gambar 4. 8	Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat pembebanan 83 Ohm	66
Gambar 4. 9	Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm	68
Gambar 4. 10	Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat beban 250 Ohm	69
Gambar 4. 11	Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada variasi pembebanan	70
Gambar 4. 12	(a) FBD Generator DC (J6) dan (b) FBD sistem elektrik	71
Gambar 4. 13	Distribusi Konstanta Redaman HEMSA pada variasi pembebanan	73
Gambar 4. 14	(a) FBD Generator DC (J6) dan (b) FBD sistem elektrik	74
Gambar 4. 15	Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA	76
Gambar 4. 16	Grafik respon sprung mass pengujian impuls	77
Gambar 4. 17	Grafik respon base exciter (sumber eksitasi).	78
Gambar 4. 18	Grafik respon sprung mass pengujian periodik frekuensi 1,4Hz	79
Gambar 4. 19	Grafik respon base exciter eksitasi pengujian periodik frekuensi 1,4Hz	79
Gambar 4. 20	Grafik respon sprung mass eksitasi pengujian periodik frekuensi 1,7Hz	81
Gambar 4.21	Grafik respon base exciter eksitasi pengujian periodik frekuensi 1,7Hz	81
Gambar 4. 22	Grafik respon sprung mass eksitasi pengujian periodik frekuensi 2,2 Hz	82
Gambar 4.23	Grafik respon base exciter eksitasi pengujian periodik frekuensi 2,2Hz	83
Gambar 4. 24	Diagram batang energi bangkitan HEMSA ekstitasi periodik	85
Gambar 4. 25	Grafik efisiensi perfoma HEMSA	

	pembebanan listrik	89
Gambar 4. 26	Grafik Force Transmibility vs Freq. Ratio $\zeta 0,97 \zeta 1,14 \zeta 1,22$	91
Gambar 4. 27	Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,4 Hz. (merah) 83 Ohm, (biru) 125 Ohm, (kuning) 250 Ohm	92
Gambar 4. 28	Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,7 Hz. (merah) 83 Ohm, (biru) 125 Ohm, (kuning) 250 Ohm	93
Gambar 4. 29	Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 2,2 Hz. (merah) 83 Ohm, (biru) 125 Ohm, (kuning) 250 Ohm	94

DAFTAR TABEL

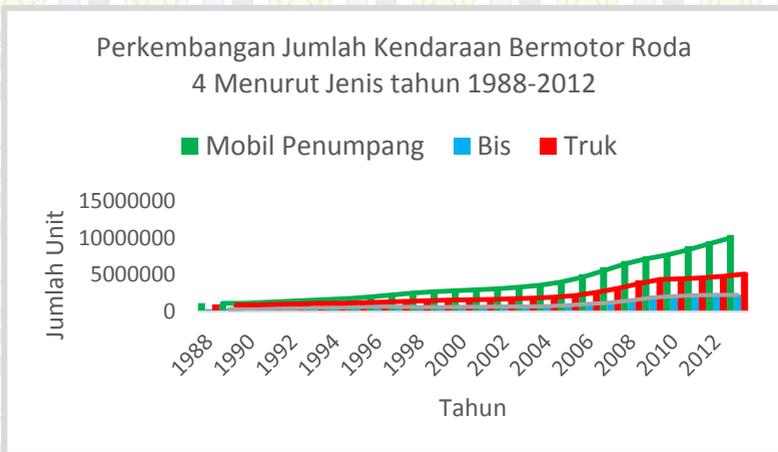
Tabel 1. 1 Cadangan energi fosil.	2
Tabel 3. 1 Spesifikasi HEMSA	46
Tabel 4. 1 Data hasil pengujian konstanta pegas	54
Tabel 4. 2 Konstanta Redaman Viscouse Damping (Compression)	57
Tabel 4. 3 Konstanta Redaman Viscouse Damping (Rebound)	57
Tabel 4. 4 Uji Konstanta Redaman Viscous+Friction Damping (Compression)	59
Tabel 4. 5 Uji Konstanta Redaman Viscous+Friction Damping (Rebound)	60
Tabel 4. 6 Uji Konstanta Redaman Viscous+Friction+Electric Damping (Compression)	61
Tabel 4. 7 Uji Konstanta Redaman Viscous+Friction+Electric Damping (Rebound)	62
Tabel 4. 8 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA	63
Tabel 4. 9 Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 83 Ohm (Compression)	65
Tabel 4. 10 Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 83 Ohm (Rebound)	65
Tabel 4. 11 Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm (Compression)	67
Tabel 4. 12 Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm (Rebound)	67
Tabel 4. 13 Konstanta Redaman HEMSA pada saat beban 250 Ohm (Compression)	68
Tabel 4. 14 Konstanta Redaman HEMSA pada saat beban 250 Ohm (Rebound)	69
Tabel 4. 15 Perbandingan Gaya Redaman Untuk Masing-Masing Pembebanan Listrik	71
Tabel 4. 16 Nilai Konstanta Redaman HEMSA pada saat beban 83 Ohm	72
Tabel 4. 17 Nilai Konstanta Redaman HEMSA pada saat	

beban 125 Ohm	72
Tabel 4. 18 Nilai Konstanta Redaman HEMSA pada saat beban 250 Ohm	73
Tabel 4. 19 Perbandingan Gaya Redaman Untuk Masing-Masing Pembebanan Listrik	74
Tabel 4. 20 Energi bangkitan eksitasi periodik	84
Tabel 4. 21 Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban 83 Ohm	87
Tabel 4. 22 Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban 125 Ohm	87
Tabel 4. 23 Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban 250 Ohm	87
Tabel 4. 24 Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat beban 83 Ohm	90
Tabel 4. 25 Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat beban 125 Ohm	90
Tabel 4. 26 Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat beban 250 Ohm	90

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan industri otomotif di Indonesia saat ini meningkat dengan pesat. Berdasarkan data yang diambil dari Badan Pusat Statistik Indonesia tentang perkembangan jumlah kendaraan bermotor menurut jenisnya yang terdiri dari mobil penumpang, bis, truk, dan sepeda motor dari tahun 1988-2012 trendlinenya terus meningkat.



Gambar 1. 1 Grafik Perkembangan Jumlah kendaraan bermotor 1988-2012 (badan pusat statistik indonesia, 2012)

Pada mobil penumpang yang mencapai 10.432.259 Unit pada tahun 2012. Peningkatan jumlah kendaraan bermotor ini berbanding terbalik dengan ketersediaan cadangan minyak bumi di Indonesia. Berdasarkan *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional yang dikeluarkan oleh Departemen Energi dan Sumber Daya Mineral (DESDM) pada tahun 2005, cadangan minyak bumi di

Indonesia pada tahun 2004 diperkirakan habis dalam kurun waktu 18 tahun dengan rasio cadangan/produksi pada tahun tersebut. Sedangkan gas diperkirakan habis dalam kurun waktu 61 tahun dan batubara 147 tahun, seperti yang diperlihatkan Tabel 1.1 di bawah ini.

Tabel 1. 1 Cadangan energi fosil.

Jenis Energi Fosil	Rasio CAD/PROD (Tanpa Eksplorasi) tahun
Minyak	18
Gas	61
Batu Bara	147

(DESDM, 2005)

Selain itu 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 65% menjadi engine losses sebagai panas dan getaran, 11% *engine idling*, 6% *transmission losses*, serta 2% dari penambahan aksesoris seperti *Air Conditioner (AC)*, wiper, dll. Oleh karena itu untuk penanganan pemanfaatan efisiensi bahan bakar perlu dilakukan pengolahan energi yang tepat guna.

Energi yang terbuang tersebut sebenarnya dapat dimanfaatkan kembali sebagai energi penyuplai sistem elektronik kendaraan, seperti KERS (*Kinetic Energy Recovery System*), TERS (*Thermal Energy Recovery System*), VEH (*Vibration Energy Harvesting*).

Teknologi VEH (*Vibration Energy Harvesting*) adalah suatu sistem sebagai salah satu alat pemanen sumber energi alternatif yang dikembangkan pada kendaraan dimana sistem kerja dari alat ini adalah memanfaatkan getaran kendaraan pada sistem suspensi, gerakan tersebut berupa gerakan translasi, rotasi, atau pengabungan dari kedua gerakan tersebut sehingga dengan menambahkan generator dapat menghasilkan sumber energi alternatif. Salah satu alat yang dibuat yaitu *Regenerative Shock Absorber* (RSA), yang memanfaatkan gerak relatif antara sistem suspensi dengan bodi kendaraan untuk menghasilkan energi listrik. Berdasarkan penelitian terdahulu, gerakan translasi pada suspensi dirubah menjadi gerakan rotasi dengan memanfaatkan susunan *gearbox* yang terdiri dari *rack-pinion*, *bevel gear* serta untuk mekanisme output gerakan yang menghasilkan satu arah putaran menggunakan *one-way bearing* yang outputnya dihubungkan ke generator sehingga menghasilkan energi listrik yang dapat dimanfaatkan kembali pada sistem elektronik kendaraan.

Berdasarkan uraian diatas dalam Tugas Akhir ini fokus ke studi eksperimen karakteristik hasil pengembangan mekanisme dan desain *Regenerative Shock Absorber* sehingga hasil yang suspensi yang di desain dapat berjalan mendekati karakteristik pada aslinya serta menghasilkan energi yang lebih besar untuk mengurangi krisis energi di Indonesia.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka diperlukan perumusan masalah, dalam penelitian ini dibahas beberapa pokok permasalahan, antara lain:

1. Bagaimana karakteristik gaya redaman *hydraulic electro mechanic shock absorber double port* dengan

rasio diameter *cylinder* 40mm:30mm akibat variasi pembebanan listrik ?

2. Bagaimana karakteristik energi bangkitan yang dihasilkan *hydraulic electro mechanic shock absorber double port* dengan rasio diameter *cylinder* 40mm:30mm akibat variasi pembebanan listrik ?
3. Bagaimana menganalisa hubungan antara karakteristik gaya redaman dan energi bangkitan *hydraulic electro mechanic shock absorber double port* dengan rasio diameter *cylinder* 40mm:30mm akibat variasi pembebanan listrik ?
4. Bagaimana pengaruh karakteristik getaran *hydraulic electro mechanic shock absorber double port* dengan rasio diameter *cylinder* 40mm:30mm akibat variasi pembebanan listrik terhadap respon kenyamanan yang terjadi?

1.3 Batasan Masalah

Untuk mempermudah pengerjaan dalam penelitian ini, maka penulis memerlukan batasan-batasan masalah yang dibahas, antara lain:

1. Model pengujian menggunakan $\frac{1}{4}$ dari massa kendaraan.
2. Eksitasi yang digunakan adalah eksitasi impulsif dan eksitasi harmonik dengan alat uji suspensi, yaitu suspensi *quarter car suspension test rig*.
3. Generator yang digunakan adalah alternator sepeda motor Jupiter MX.
4. Pengujian ini hanya menggunakan 1 derajat kebebasan (DOF).
5. Disturbance & Noise yang terjadi diabaikan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penyusunan tugas akhir ini adalah:

1. Mengetahui karakteristik gaya redaman dari *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber*

(HEMSA) *double port* akibat variasi pembebanan listrik dengan rasio diameter *cylinder hydraulic* 40mm : 30mm

2. Mengetahui karakteristik energi bangkitan yang dihasilkan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) *double port* akibat variasi pembebanan listrik dengan rasio diameter *cylinder hydraulic* 40mm : 30mm.
3. Mampu menganalisa hubungan antara karakteristik gaya redaman dan energi bangkitan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) *double port* akibat variasi pembebanan listrik dengan rasio diameter *cylinder hydraulic* 40mm : 30mm.
4. Mampu menganalisa pengaruh karakteristik getaran *hydraulic electro mechanic shock absorber double port* dengan rasio diameter *cylinder* 40mm:30mm akibat variasi pembebanan listrik terhadap respon kenyamanan yang terjadi..

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini antara lain:

1. Memberikan manfaat ekonomis dalam upaya pemenuhan energi nasional.
2. Mampu memahami dan mengetahui tentang konsep perancangan dan pengembangan produk.
3. Mampu memberikan kontribusi sebagai energi alternatif di Indonesia agar dapat menghemat bahan bakar fosil.
4. Terciptanya sebuah teknologi baru dalam penerapan Sistem Konversi Energi Otomotif yang digunakan untuk berbagai keperluan di Indonesia.
5. Memberikan pengalaman kepada mahasiswa dalam membuat dan terlibat dalam proyek ilmiah.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan dibagi dalam beberapa bab sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan

Bab ini berisi tentang latar belakang dari tugas akhir ini, perumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan tugas akhir.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang pengenalan tentang *shock absorber*, pengembangan dalam merancang *shock absorber* untuk menghasilkan energi dan rumusan mekanika getaran yang akan dipakai dalam melakukan pengujian.

3. Bab III Metodologi

Bab ini berisi tentang cara-cara pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian diantaranya, penentuan nilai konstanta redaman pada *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA), pengujian konstanta pegas, dan pengujian mekanisme alat dengan eksitasi impuls dan periodik dengan menggunakan *suspension test rig*.

4. Bab IV Analisa dan Pembahasan

Berisi tentang data-data pengujian dari alat yang digunakan, perhitungan-perhitungan gaya redaman fungsi kecepatan, energi bangkitan, grafik respon massa, pengaruh kenyamanan penumpang, dan performa dari *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA).

5. Bab V Penutup

Berisi tentang kesimpulan dari tugas akhir yang didapatkan dari hasil pengujian dan penelitian yang dilakukan pada peralatan yang direncanakan.

BAB II

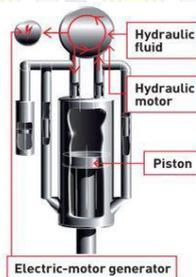
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan terdahulu

2.1.1 Regenerative Shock Absorber MIT

Massachusetts Institute of Technology telah menciptakan shock absorber yang mampu menghasilkan energi listrik dengan menggunakan prinsip kerja hidraulik. Prinsip kerja sistem hidraulik ini adalah ketika terjadi gerakan translasi naik turun akibat dari jalan yang bergelombang, maka mengakibatkan *rod* terdorong dan mendorong piston yang bekerja memaksa fluida untuk memutar sudu turbin. Putaran dari sudu turbin ini dihubungkan ke generator yang menghasilkan listrik. Sistem pada *shock absorber* ini diklaim lebih nyaman untuk pengendara jika dibandingkan dengan sistem *shock absorber* konvensional karena pada sistem *shock absorber* ini dikontrol oleh sebuah rangkaian elektronik aktif yang berfungsi untuk mengoptimalkan redaman. Berdasarkan hasil dari pengujian *regenerative shock absorber* ini mampu menghasilkan daya sebesar 200 watt.

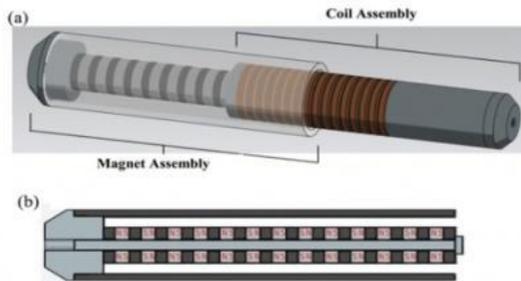
Kelebihan dari sistem ini adalah menggunakan *incompressible flow* dimana dengan menggunakan cairan pada sistem hidraulik menghasilkan tekanan yang besar untuk memutar sudu turbin sehingga energi yang dihasilkan juga besar.



Gambar 2. 1 Regenerative shock absorber Hydraulic
(MIT,2006)

2.1.2 Regenerative Shock Absorber oleh Prof.Lei Zuo

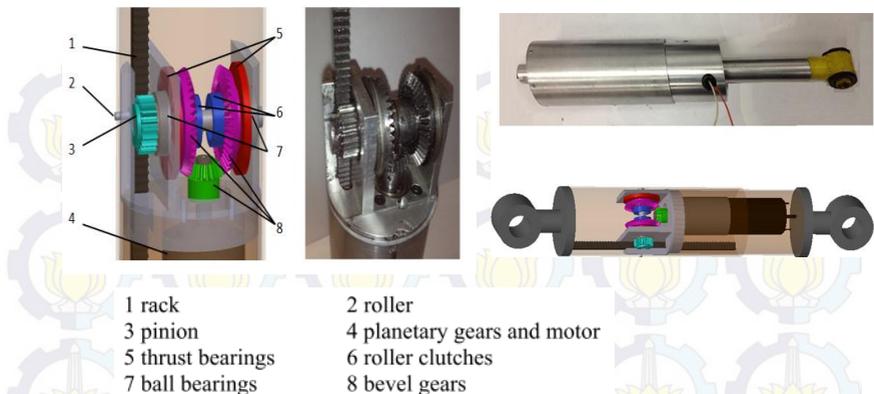
Pada tahun 2010, tim yang berasal dari Stony Brook University terdiri atas Prof Lei Zuo dan Pei Sheng-Zang telah mendesain sekaligus menguji temuan mereka tentang permanen energy dari suspense pada kendaraan. Mereka memanfaatkan getaran yang terjadi pada suspense untuk menghasilkan listrik. Pada kali terdapat dua metode yang dapat digunakan, yaitu *linier electromagnetic absorber* dan *rotational absorber*.



Gambar 2. 2linier elektromagnetik absorber (Lei Zuo,2010)

Pada *Linier electromagnetic absorber* prinsip kerjanya dengan menggunakan 2 tipe magnet yang berbeda yaitu *axial* dan *radial*. Magnet bergerak translasi mengikuti gerakan pada suspensi, kemudian dari sisi lain terdapat kumparan. Seperti halnya prinsip elektromagnetik, bila kumparan berputar kemudian disisinya diberikan magnet, maka menimbulkan GGL (gaya gerak listrik) yang nantinya menghasilkan listrik. *Linier elektromagnetik absorber* ini didesain untuk kendaraan berat yang mempunyai vibrasi yang besar seperti, truk, bus, dan lain sebagainya.

Kelebihan dari sistem Linier linier elektromagnetik absorber ini adalah desainnya yang ramping, tidak memakan banyak tempat.



Gambar 2. 3 Rotational absorber (Lei Zuo,2010)

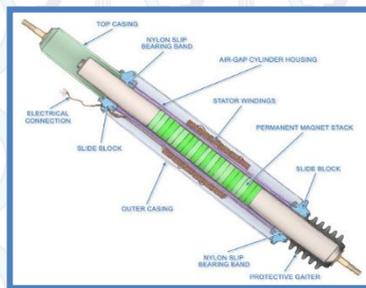
Selanjutnya pada *Rotational Absorber*, prinsip kerjanya adalah memanfaatkan roda gigi pada sistem suspensi, sehingga menghasilkan listrik, yaitu dengan mengubah pergerakan translasi menjadi pergerakan rotasi. Pada gerakan translasi roda gigi *rack* dihubungkan dengan *spur gear*, kemudian *spur gear* dihubungkan dengan *bevel gear* yang mengubah gerakan translasi menjadi rotasi. selanjutnya gerakan rotasi tersebut berputar menggerakkan generator.

Pada penelitian ini, Prof.Lei Zuo dkk mengklaim dapat menghasilkan 100W-400W untuk mobil, 200W-2kW untuk bus, 1kw-10kW untuk truk, 800W-10kW untuk kendaraan tempur, dan 5kW-6kW untuk kereta api. Dan peningkatan efisiensi konsumsi bahan bakar dapat mencapai sebesar 2-10%. Sehingga dari penelitian tersebut dapat memanfaatkan potensi energi yang hilang di dalam mengembangkan alat pemanen energi(*energy harvesting*).

2.1.3 The Power-Generating Shock Absorber (PGSA) oleh Ronald B. Goldner

Pada tahun 2005,*Electromagnetic linear generator and shock absorber* alat yang yang ditemukan oleh Ronald B. Goldner dan Peter Zerigian. Penemuan alat tersebut sudah dipatenkan di

Amerika Serikat dengan registrasi U.S. 6.952.060. Pada Shock absorber konvensional kendaraan yang mengubah energi kinetik menjadi energi panas yang dilakukan oleh *shock'soil*, sedangkan prinsip kerja dari Power Generating Shock Absorber(PGSA) adalah dengan merubah energi kinetik menjadi energi listrik dengan menggunakan Linear Motion Electromagnetic System (LMES). Pada LMES tersebut terdapat serangkaian tumpukan magnet permanen yang ditanam pada piston utama, lilitan kumparan stator yang dapat diatur (switchable), rectifier dan control elektronik. Sistem tersebut dapat mengatur outputan listrik sesuai dengan beban redaman (damping load).



Gambar 2. 4 Power Generating shock Absorber (PGSA) (Ronald B. Goldner, 2005)

2.1.4 Pengembangan *Hydraulic Regenerative Shock Absorber* oleh Muchamad Eko Jayadilaga dan Harus Laksana Guntur

VERS adalah suatu peralatan yang digunakan sebagai pemanen energi yang terbuang dari gerak translasi shockabsorber kendaraan roda empat. Pada tahun 2014 Muchamad Eko Jayadilaga dan Harus Laksana Guntur melakukan pengembangan *Hydraulic Regenerative Shock Absorber*. Prinsip kerjanya adalah dengan menggunakan hidrolis sebagai *viscouse damping*, suspensi bergerak naik turun yang mengakibatkan menekan cairan yang berada dalam tabung kemudian dengan tekanan menggerakkan turbin yang digunakan untuk memutar generator.



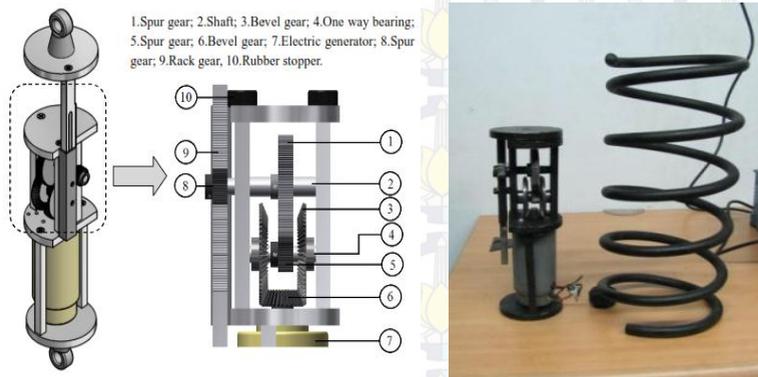
Gambar 2. 5 Desain *hydraulic regenerative shock absorber* (Eko, 2014)

Dari hasil pengujian didapat bahwa didapatkan nilai koefisien redaman rata-rata *hydraulic regenerative shock absorber* sebesar 3796,75 Ns/m, Nilai konstanta pegas 20000 N/m, Dengan metode eksitasi impuls dan *damping ratio* 0.8, amplitudo 100 mm dan Δt 0.48 sec energi bangkitan yang dihasilkan sebesar 2.6 volt dan daya 0,1352 watt, amplitudo 100 mm dan Δt 0,53 sec energi bangkitan yang dihasilkan sebesar 0,2 volt dan daya 0,0008 watt, dan amplitudo 100 mm dan Δt 0,61 sec energi angkat yang dihasilkan sebesar 0,2 volt dan daya ,0008 watt.

2.1.5 Development and Analysis of a Regenerative Shock Absorber for Vehicle Suspension oleh Harus Laksana Guntur

Pada tahun 2013, Harus Laksana Guntur, Wiwiek Hendrowati dan Rahman Roy Lubis melakukan pengembangan dan pengujian *prototype* RSA seperti pada gambar 2.6. Prototipe dari RSA terdiri dari sistem transmisi gigi, *one way bearing* dan sebuah generator elektromagnetik. Mekanisme yang digunakan adalah dengan memasang suspensi secara bergantian ke suspensi rig test, kemudian diuji dengan massa yang sudah di hitung. Hasil yang didapatkan pada pengujian ini adalah dengan menggunakan prototipe 1:5 dihasilkan daya sebesar 15 sampai 18,6 yang berarti jika dalam kondisi nyata dapat dihasilkan daya sebesar 75 s/d 100

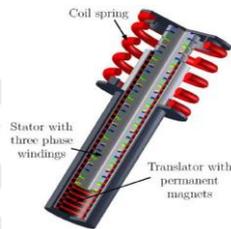
watt sehingga jika diaplikasikan keempat roda dapat dihasilkan daya sebesar 400 watt.



Gambar 2. 6 Desain regenerative Shock Absorber
(Harus L G, 2013)

2.1.6 Active electromagnetic suspension system oleh Bart L.J.Gysen dkk

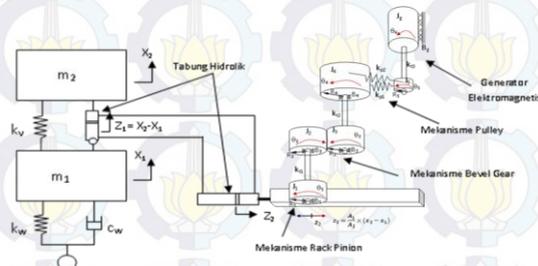
Pada tahun 2010, tim dari *Eindhoven University of Technology* membuat suatu alat yaitu *active electromagnetic suspension system*. Tim ini bekerjasama dengan BMW dan SKF untuk membuat alat tersebut. Prinsip kerja dari alat ini sama halnya dengan prinsip kerja dari *linier electromagnetic absorber* yang menggunakan magnet dan kumparan yang bergerak translasi sehingga menghasilkan listrik. Suspensi ini termasuk dalam kategori suspense aktif. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, *electromagnetic suspension* ini dapat menghasilkan daya lebih kurang sebesar 2 KW dan tingkat kenyamanan dalam berkendara meningkat menjadi 60%.



Gambar 2. 7 active electromagnetic suspension system (Bart L.J.Gysen, 2010)

2.1.7 Pemodelan Dan Analisis Respon Dinamis Regeneratif Shock Absorber Hidrolis Mekanis Elektromagnetik Oleh Deanandya

Pada tahun 2014, deanandya, mahasiswa ITS Surabaya melakukan pemodelan respon dinamis sistem RSA hidraulik mekanis elektromagnetik menggunakan software Simulink dari Matlab. Dari simulasi dianalisis perbedaan respon dinamis sistem dan energi listrik yang dihasilkan pada kondisi tertentu. Kondisi pertama adalah tipe input, yaitu transien dan harmonik pada kecepatan kendaraan 20 km/jam, 40 km/jam dan 60 km/jam. Kondisi kedua adalah penggunaan pasangan diameter silinder hidraulik yang berbeda. Parameter simulasi RSA kali ini disesuaikan dengan model seperempat kendaraan untuk mobil perkotaan.



Gambar 2. 8 Model RSA jenis hidraulik mekanis elektromagnetik (deanandya, 2014)

Dari hasil simulasi didapatkan bahwa pasangan diameter 3-4 menghasilkan daya listrik 0,3186 watt dan pasangan diameter 4-

3 menghasilkan daya listrik 0,0331. Hanya saja, respon sistem menunjukkan bahwa gerakan yang terjadi pada mekanisme gear sangat kecil, sehingga daya listrik yang dihasilkan juga kecil. Hal ini disebabkan oleh besarnya gaya reaksi yang dihasilkan oleh mekanisme hidraulis dan gear. Respon percepatan pada bodi kendaraan memiliki nilai yang masih aman tetapi kurang nyaman. Lalu, respon relatif roda terhadap permukaan jalan menunjukkan bahwa mobil tidak aman dikendarai karena roda sering tidak bersentuhan dengan permukaan jalan.

2.2 Mekanika Getaran

2.2.1 Pengertian Getaran

Secara umum getaran dapat didefinisikan sebagai gerakan bolak-balik suatu benda dari posisi awal melalui titik keseimbangan. Setiap komponen mekanikal memiliki berat dan *properties* yang menyerupai pegas, ada dua kelompok umum dari getaran, yaitu getaran bebas dan getaran paksa. Semua sistem yang bergetar mengalami redaman sampai derajat tertentu karena energi terdisipasi oleh gesekan dan tahanan lain. Jika redaman kecil maka pengaruhnya sangat kecil terhadap frekuensi naturalnya, dan perhitungan frekuensi natural biasanya dilakukan atas dasar tidak ada redaman.

2.2.2 Getaran Bebas

Getaran bebas terjadi jika sistem beroksilasi karena bekerjanya gaya yang ada dalam sistem itu sendiri, dan jika ada gaya luar yang bekerja. Sistem yang bergetar bebas akan bergerak pada satu atau lebih frekuensi naturalnya, yang merupakan sifat sistem dinamika yang dibentuk oleh distribusi massa dan kekuatannya. Semua sistem yang memiliki massa dan elastisitas dapat mengalami getaran bebas atau getaran yang terjadi tanpa rangsangan luar.

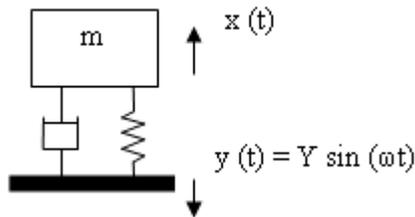
2.2.3 Getaran Paksa

Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut beresilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapatkan keadaan resonansi dan osilasi yang besar dan beresiko membahayakan. Kerusakan pada struktur besar seperti jembatan, gedung ataupun sayap pesawat terbang, merupakan contoh kejadian yang disebabkan adanya resonansi. Jadi perhitungan frekuensi natural merupakan hal yang utama.

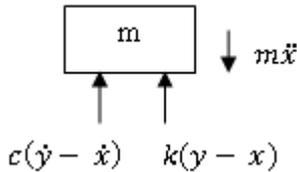
Bila suatu sistem dipengaruhi oleh eksitasi harmonik, maka respon getarannya akan berlangsung pada frekuensi yang sama dengan frekuensi eksitasi. Sumber-sumber eksitasi harmonik bisa berasal dari gaya-gaya pada peralatan mesin torak atau gerak mesin itu sendiri. Mula-mula akan diperhatikan sistem dengan satu derajat kebebasan yang mengalami redaman dan dirangsang oleh gaya harmonik $y(t) = F_0 \sin(\omega t)$, seperti pada gambar 2.5.

2.2.4 Getaran Harmonik

Getaran biasanya tidak terjadi hanya pada sistem pegasnya ataupun yang ditopangnya disini landasan dari sistem juga akan mengalami getaran berupa getaran harmonik.



Gambar 2. 9 Eksitasi pada landasan



Gambar 2.10 Free Body Diagram eksitasi pada base

Dari *free body diagram* pada gambar 2.6 dan eksitasi pada landasan pada gambar 2.5 di atas, diperoleh persamaan gerak seperti di bawah:

$$m\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{y}) + k(x - y) = 0 \quad (2.1)$$

Steady state response dari massa adalah, $x_p(t)$ yang dapat diekspresikan menjadi persamaan seperti di bawah dengan menggunakan persamaan:

$$x_p(t) = \frac{kY \sin(\omega t - \theta_1)}{[(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2]^{1/2}} + \frac{\omega c Y \sin(\omega t - \theta_1)}{[(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2]^{1/2}} \quad (2.2)$$

Sehingga persamaan sistem diatas dapat ditulis:

$$\begin{aligned} x_p(t) &= X \sin(\omega t - \theta_1 - \alpha) \\ &= \left[\frac{k^2 + (c\omega)^2}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} \right]^{1/2} \sin(\omega t - \theta_1 - \alpha) \end{aligned} \quad (2.3)$$

Dimana nilai $\alpha = \tan^{-1} \left[-\frac{c\omega}{k} \right]$ dan $\theta_1 = \tan^{-1} \left(\frac{c\omega}{k - m\omega^2} \right)$

Dari persamaan tersebut dapat disederhanakan menjadi:

$$x_p(t) = X \sin(\omega t - \theta) \quad (2.4)$$

Dimana $\frac{X}{Y}$ adalah *displacement transmissibility*:

$$\frac{X}{Y} = \left[\frac{k^2 + (c\omega)^2}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} \right]^{1/2} = \left[\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2} \quad (2.5)$$

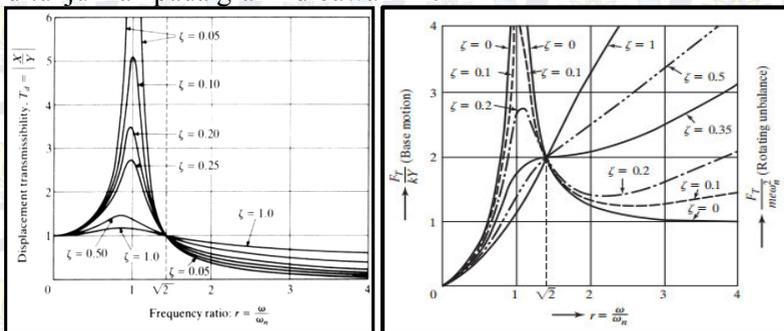
Dan,

$$\theta = \tan^{-1} \left[\frac{mc\omega^3}{(k-m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} \right] = \tan^{-1} \left[\frac{2\zeta r^3}{1+(4\zeta^2-1)r^2} \right] \quad (2.6)$$

Dimana $\frac{F_T}{kY}$ adalah *force transmissibility*:

$$\frac{F_T}{kY} = r^2 \left[\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2} \quad (2.7)$$

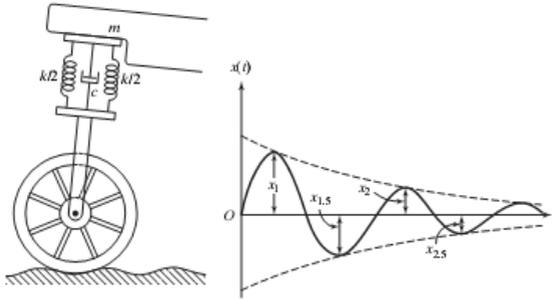
Keterkaitan antara *damping ratio*, *frequency ratio*, *displacement transmissibility*, dan *force transmissibility* ditunjukkan pada grafik dibawah ini:



Gambar 2.11 (a) *displacement transmissibility vs frequency ratio*
(b) *force transmissibility vs frequency ratio* [6]

2.2.5 Logarithmic decrement

Logarithmic decrement merupakan tampilan dari pengurangan amplitudo pada getaran bebas teredam. Dengan mengetahui seberapa besar *logarithmic decrement* (δ) pada sistem tersebut, maka besarnya konstanta redaman pada sistem juga dapat diketahui pula.



Gambar 2.12 Sistem 1 DOF pada *shock absorber* sepeda motor dengan peredam dan analisa sistem eksperimennya^[6]

Dari gambar 2.9 di atas diketahui dengan t sebagai waktu pada saat puncak pertama dan kedua, menunjukkan perpindahan puncak yang dimaksud sebagai x_1 dan x_2 , dan membentuk rasio:

$$\frac{x_1}{x_2} = e^{2\pi\zeta/\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (2.8)$$

Jika kedua ruas dilogaritma naturalkan akan menjadi:

$$\delta = \ln \frac{x_1}{x_2} = \frac{2\pi\zeta}{\sqrt{1-\zeta^2}} \quad (2.9)$$

Persamaan diatas juga dapat ditulis sebagai:

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{(2\pi)^2 + \delta^2}} \quad (2.10)$$

Dari grafik *displacement* fungsi waktu akan diperoleh nilai dari x_1 dan x_2 , kemudian nilai tersebut akan dimasukkan dalam persamaan *decrement* sehingga menjadi:

$$\zeta = \frac{\delta}{\sqrt{4(\pi)^2 + \delta^2}} \quad (2.11)$$

Dimana:

$\zeta = \text{damping ratio}$

$\delta = \text{logarithmic decrement} = \ln \frac{x_1}{x_2}$

Nilai dari *damping ratio* sendiri dapat dicari dengan rumus:

$$\zeta = \frac{c}{c_c} = \frac{c}{2\sqrt{km}} \quad (2.12)$$

Dimana:

k = konstanta pegas (N/m)

C = konstanta damping

m = massa beban (kg)

2.2.6 Konstanta Redaman

Dari nilai *damping ratio* dapat dicari besarnya konstanta redaman dari sistem dengan persamaan berikut:

$$\zeta = \frac{c}{c_c} \quad (2.13)$$

Dimana:

$$C_c = 2\sqrt{km} \quad (2.14)$$

Sehingga konstanta redaman dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$c = \zeta 2\sqrt{km} \quad (2.15)$$

Dimana:

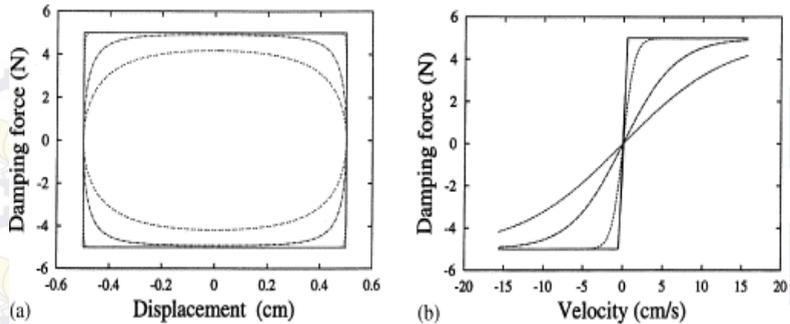
ζ = *damping ratio*

k = konstanta pegas (N/m)

c = konstanta redaman (Ns/m)

C_c = *Critical damping*

Gaya redaman merupakan gaya yang meredam atau mengurangi getaran yang terjadi dalam sistem. Besarnya gaya redaman tergantung pada nilai konstanta redaman.

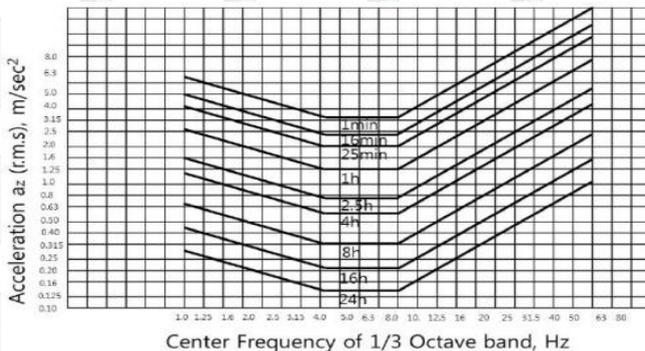


Gambar 2.13 (a) Grafik pengaruh gaya redaman terhadap perpindahan (b) Grafik pengaruh gaya redaman terhadap kecepatan

2.3 Pengaruh Percepatan Kendaraan Terhadap Manusia

Gerakan utama yang dialami pengemudi dan penumpang selama berkendara adalah berupa percepatan atau perlambatan dan getaran. Informasi ketahanan tubuh manusia terhadap percepatan merupakan hal yang sangat penting sebagai referensi dalam perancangan ketahanan bodi kendaraan terhadap *impact*.

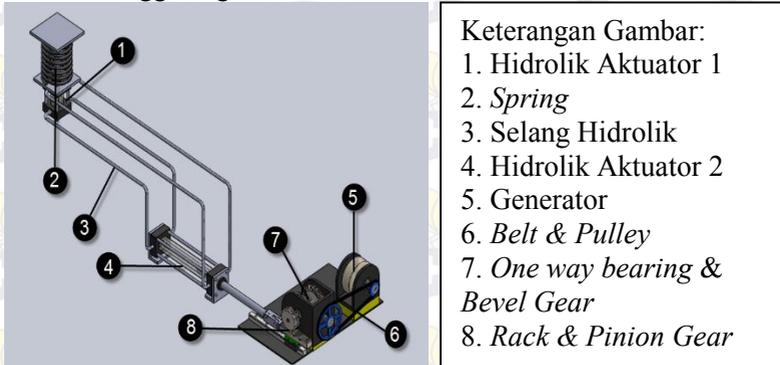
Untuk kriteria kenyamanan berdasarkan besar percepatan menurut standart ISO 2631, ditampilkan dalam grafik pada gambar 2.11 di bawah ini.



Gambar 2.14 Grafik kriteria kenyamanan berkendara standart ISO 2631

2.4 Dasar Perhitungan Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)

HEMSA adalah sebuah alat yang menggunakan prinsip *Vibrating Energy Harvesting* (VEH) yang menggunakan prinsip pemanfaatan getaran yang dirubah menjadi gerakan translasi dan rotasi sehingga menghasilkan listrik.



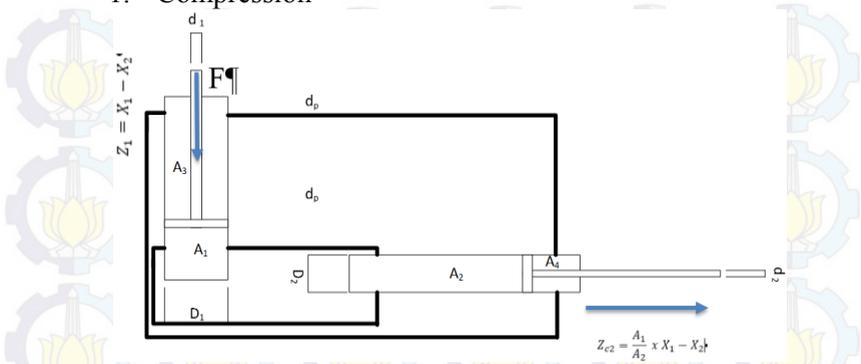
Gambar 2. 15 Skematik Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)

Pada skematik diatas, untuk alat dari HEMSA terdiri dari sistem *Hydraulic*, Transmisi roda gigi, *belt & Pulley*, dan generator. Untuk masing-masing dasar perhitungannya terdiri dari perbandingan *cylinder Hydraulic*, rasio transmisi dan generator.

RSA ini menggunakan mekanisme hidraulis untuk memperbesar perpindahan yang terjadi dari perpindahan suspensi antara roda dan kendaraan. Mekanisme hidraulis terdiri dari dua silinder hidraulis. Silinder hidraulis pertama dipasang diantara massa roda dan badan kendaraan. Silinder kedua memiliki luas penampang silinder yang lebih kecil dari silinder pertama, dan dihubungkan ke mekanisme rack pinion yang meneruskan gaya ke susunan gear pada RSA.

Dari skema diatas didapat panjang langkah untuk compression & rebound, rumusnya adalah sebagai berikut:

1. Compression



Gambar 2. 16 Skema mekanisme *compression hydraulic* pada RSA

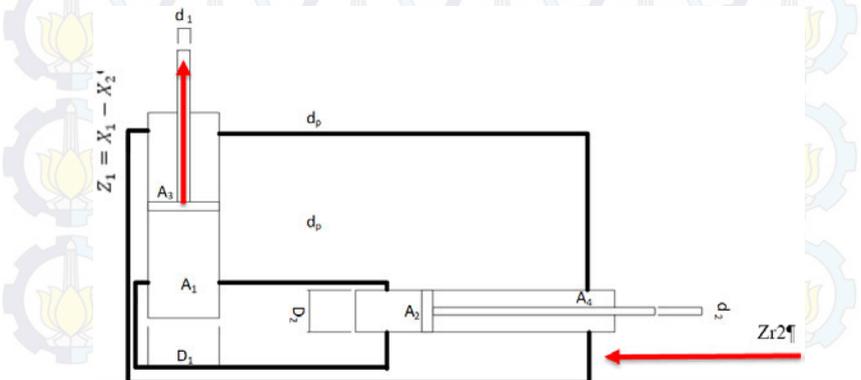
$$\forall_{\text{compression 1}} a = \forall_{\text{compression 2}}$$

$$A_1 \times Z_{c1} = A_2 \times Z_{c2}$$

$$Z_{c2} = \frac{A_1}{A_2} \times Z_{c1}$$

$$Z_{c2} = \frac{A_1}{A_2} \times X_1 - X_2$$

2. Rebound



Gambar 2. 17 Skema mekanisme *Rebound hydraulic* pada RSA

$$V_{rebound 1} = V_{rebound 2}$$

$$A_1 \times Z_{r1} = A_2 \times Z_{r2}$$

$$Z_{r2} = \frac{A_1}{A_2} \times Z_{r1}$$

$$Z_{r2} = \frac{\frac{1}{4} \pi (d_{hydraulic\ piston\ 1}^2 - d_{hydraulic\ rod\ 1}^2)}{\frac{1}{4} \pi (d_{hydraulic\ piston\ 2}^2 - d_{hydraulic\ rod\ 2}^2) - X_1} \times X_2$$

Pada mekanisme hidraulis terdapat tiga komponen yang memiliki diameter penampang yang berbeda, yaitu silinder hidraulis 1, saluran pipa dan silinder hidraulis 2. Dengan menggunakan persamaan Konservasi Massa dan dengan asumsi bahwa fluida kerja merupakan *incompressible fluid*, maka dapat dicari nilai kecepatan di tiap komponen.

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

Persamaan untuk menentukan nilai kecepatan fluida pada saluran pipa (V_p):

$$A_1 \times v_1 = A_p \times v_p$$

$$v_p = \frac{A_1}{A_p} \times v_1$$

Persamaan untuk menentukan nilai kecepatan fluida pada *cylinder hydraulic 2* (v_2):

$$A_p \times v_p = A_2 \times v_2$$

Untuk *Copression*:

$$v_{c2} = \frac{A_p}{A_2} \times v_p$$

Untuk *Rebound*:

$$v_{r2} = \frac{\frac{1}{4} \pi (d_{hydraulic\ piston\ 1}^2 - d_{hydraulic\ rod\ 1}^2)}{\frac{1}{4} \pi (d_{hydraulic\ piston\ 2}^2 - d_{hydraulic\ rod\ 2}^2)} \times v_p$$

kecepatan fluida pada *cylinder hydraulic 2* merupakan kecepatan dorong pada *rack* pada gerak translasi dan dirubah kegerak rotasi pada *pinion*. Rumusnya adalah sebagai berikut:

$$d_{rack} = \frac{Z_2}{\pi}$$

$$v_2 = \frac{\pi \times d_{rack} \times n_{rack}}{12}$$

Maka rasio perbandingan rack & pinion adalah

$$r_v = \frac{n_{pinion}}{n_{rack}} = \frac{d_{rack}}{d_{pinion}}$$

Setelah putaran pinion diketahui, maka selanjutnya adalah mencari putaran output dari bevel gear dengan perumusan sebagai berikut:

$$n_{pinion} = n_{bevel}$$

Sehingga,

$$r_v = \frac{d_{bevel 1}}{d_{bevel 2}} = \frac{n_{bevel 2}}{n_{bevel 1}}$$

Dari rumus diatas didapatkan putaran pada poros *bevel gear 2* yang satu poros dengan pulley input, sehingga dengan menggunakan rasio pada *pulley1* dan *pulley2* yang dihubungkan dengan belt, maka didapat putaran untuk memutar generator yang satu poros dengan *pulley 2*, rumusnya adalah sebagai berikut:

$$r_v = \frac{d_{pulley 1}}{d_{pulley 2}} = \frac{n_{pulley 2}}{n_{pulley 1}}$$

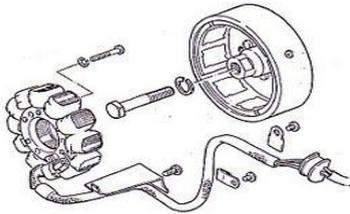
Dari rumus diatas didapat putaran pulley 2 yang diteruskan ke alternator untuk memutar dan menghasilkan listrik.

2.5 Alternator sebagai generator

Alternator pada sepeda motor berfungsi untuk menghasilkan energi listrik. Prinsip kerja dari alternator sepeda motor sama dengan generator, alat ini berguna untuk merubah gerakan rotasi dari mesin menjadi energi listrik.

Konstruksi dari Alternator sepeda motor terdiri dari magnet permanen (rotor) dan kumparan kawat tembaga (stator). Magnet permanen biasanya dipasang pada poros *flywheel* dan

kumparan kawat tembaga terpasang pada tutup mesin. Sehingga yang berputar adalah rotor (magnet). Pada rancang bangun alat *Regenerative Shock Absorber* ini, digunakan alternator sepeda motor sebagai pembangkit arus listrik karena memiliki karakteristik arus yang lebih besar jika dibandingkan dengan generator dari motor DC. Berikut ditampilkan gambar 2.18 konstruksi dari alternator sepeda motor.



Gambar 2. 18 Alternator AC sepeda motor
 Besarnya gaya Lorentz dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$$F = B \cdot I \cdot l \cdot z$$

Keterangan:

F : Arah gaya penghantar (Newton)

B : Kerapatan flux magnet (weber)

ℓ : Panjang kawat penghantar (meter)

I : Arus DC (Ampere)

z : Jumlah penghantar

Adapaun Gaya gerak listrik induksi atau voltase yang dihasilkan dari generator dapat diperoleh dari rumus sebagai berikut :

$$E_{\max} = N \cdot B \cdot A \cdot w$$

Dimana :

N = jumlah lilitan

B = kuat mean magnet(T)

A = luas kumparan (m²)

w = kecepatan sudut (rad/s)

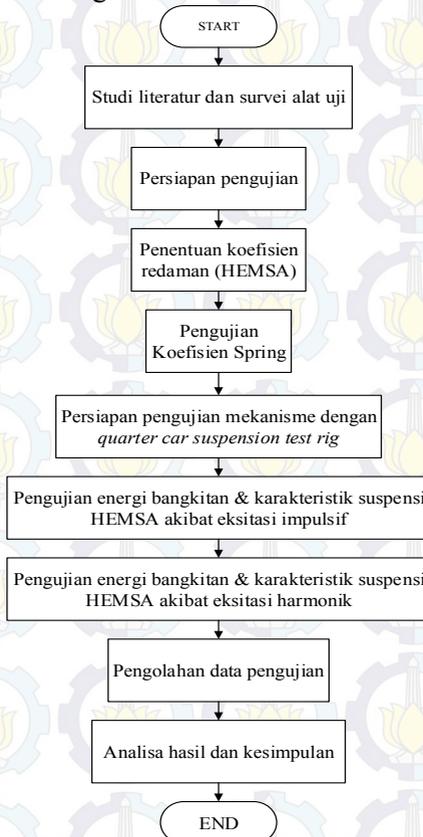


Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian Tugas Akhir

Langkah pengujian karakteristik dan penelitian dari hydraulic *electro mechanic Shockabsorber* disusun melalui beberapa tahapan sebagai berikut :



Gambar 3.1 Flowchart Pengujian

3.1.1 Studi Literatur dan survei alat uji

Pada tahap studi literatur penulis melakukan kajian dan mengambil beberapa teori penunjang dari buku-buku, artikel, jurnal ilmiah dan tugas akhir terdahulu. Teori mengenai shock absorber dan pemanfaatan energi pada suspensi kendaraan, baik itu kelebihan atau kelemahan sehingga diharapkan dapat menambah wawasan dalam mengerjakan laporan serta membantu dalam menganalisa dan membahas hasil pengujian pada tugas akhir ini.

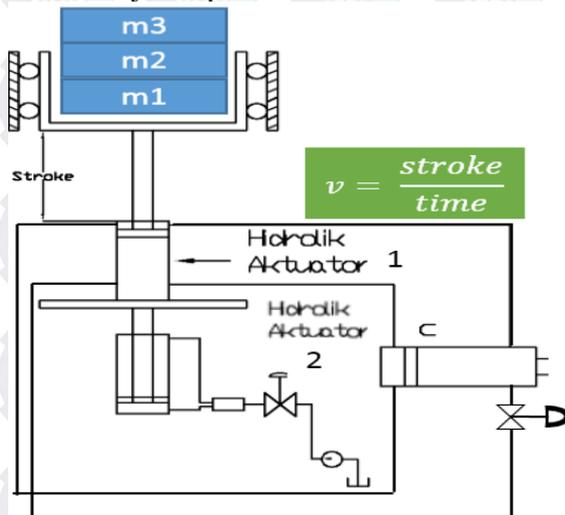
3.1.2 Persiapan Pengujian

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. Saat diuji dinamis, variabel tetapnya adalah massa kendaraan, konstanta pegas, viskositas oli *hydraulic*. Sedangkan variable yang dirubah adalah variasi nilai beban lampu yaitu 83 ohm, 125 ohm, dan 250 ohm. Untuk spesifikasi *hydraulic* adalah untuk *hydraulic 1* dimana $\Phi_1 = 40\text{mm}$, $\Phi_{rod\ 1} = 25\text{mm}$, $L_{Stroke\ max\ 1} = 100\text{mm}$ dan untuk *hydraulic aktuator 2* dimana $\Phi_2 = 30\text{mm}$, $\Phi_{rod\ 2} = 18\text{mm}$, $L_{Stroke\ max\ 1} = 320\text{mm}$

3.1.3 Penentuan Gaya Redaman *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber*

Penentuan nilai redaman *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) adalah dengan pengujian statis pada gaya redaman. Pengujian statis dibagi menjadi 4, yaitu, pengujian *viscouse damping*, *viscouse damping + friction damping*, *viscouse damping + friction damping+electrical damping* tanpa pembebanan, dan *viscouse damping + friction damping+electrical damping* dengan pembebanan masing-masing beban resistor. Ke – 4 pengujian ini dilakukan bertujuan untuk mengetahui besarnya nilai gaya redaman akibat pembebanan listrik serta nilai distribusi redaman akibat *viscouse damping*, *friction damping* dan *electrical damping*.

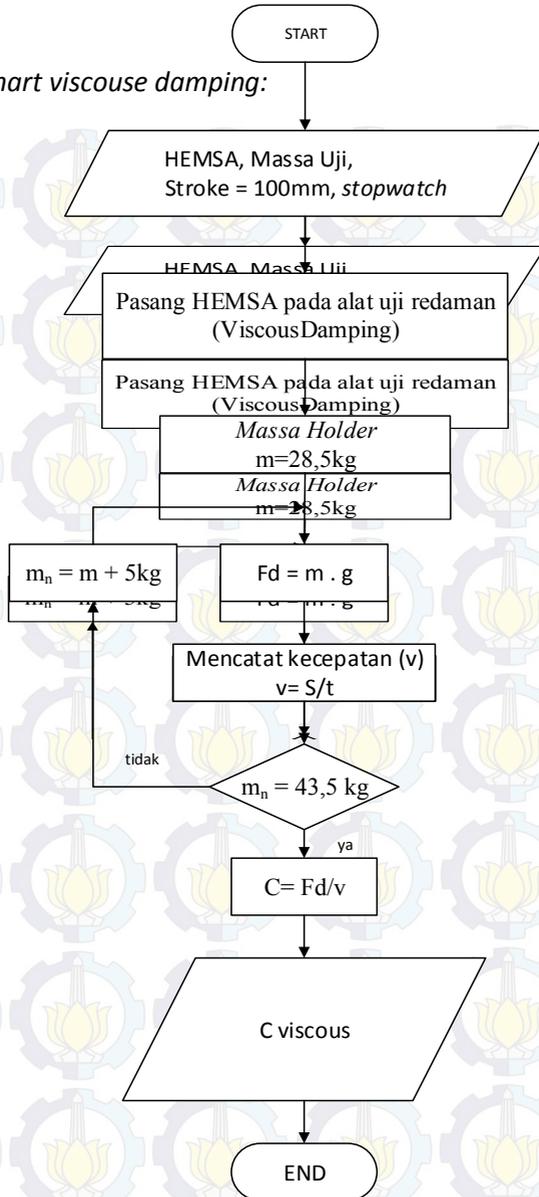
Pada kasus ini, pengujian gaya redaman dilakukan dengan cara memberikan massa uji yang bervariasi pada *quarter car suspension test rig*, massa uji tersebut sebagai gaya redaman yang mendorong hidrolik dari posisi *full stroke* (titik mati atas) sampai titik mati bawah. Pada kondisi awal *rod Hydraulic* dikondisikan pada titik mati atas, Jarak titik atas ke titik mati bawah diukur dan dicatat waktu tempuhnya kemudian dikonversi sehingga didapatkan kecepatan, pengujian ini dilakuakn pada berbagai variasi dari massa uji dan pembebanan.



Gambar 3. 2 Skematik Penentuan Nilai Redaman *Viscouse Damping*

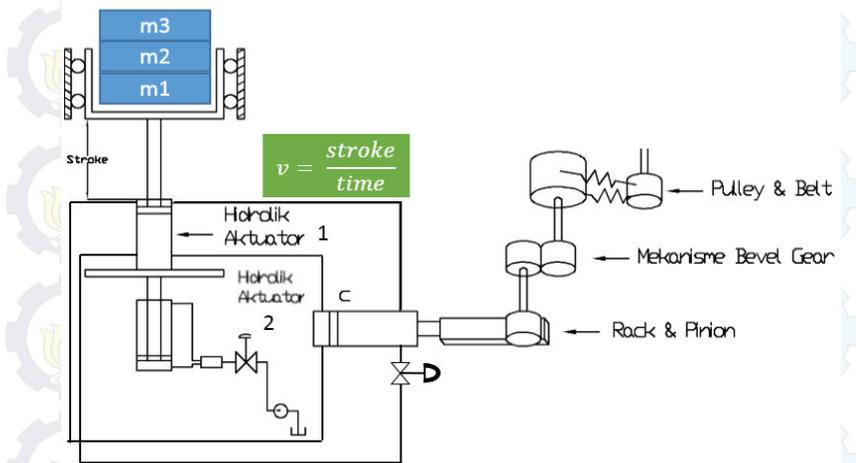
Perhitungan nilai gaya redaman pada *viscouse damping* adalah dengan menghubungkan Hydraulic Aktuator 1 dan Hydraulic Aktuator 2 dengan memfariasikan beberapa beban agar didapat nilai grafik $c = f(m_1, m_2, m_3)$, sehingga didapat nilai gaya redaman *Viscouse Damping*. Pada *valve* digunakan untuk memvariasikan kondisi port dari HEMSA, karena menggunakan sesuai dengan judul, yaitu "*double port*" maka kondisi *valve* dibuka.

Flowchart viscouse damping:



Gambar 3. 3 Flowchart penentuan nilai redaman viscouse damping

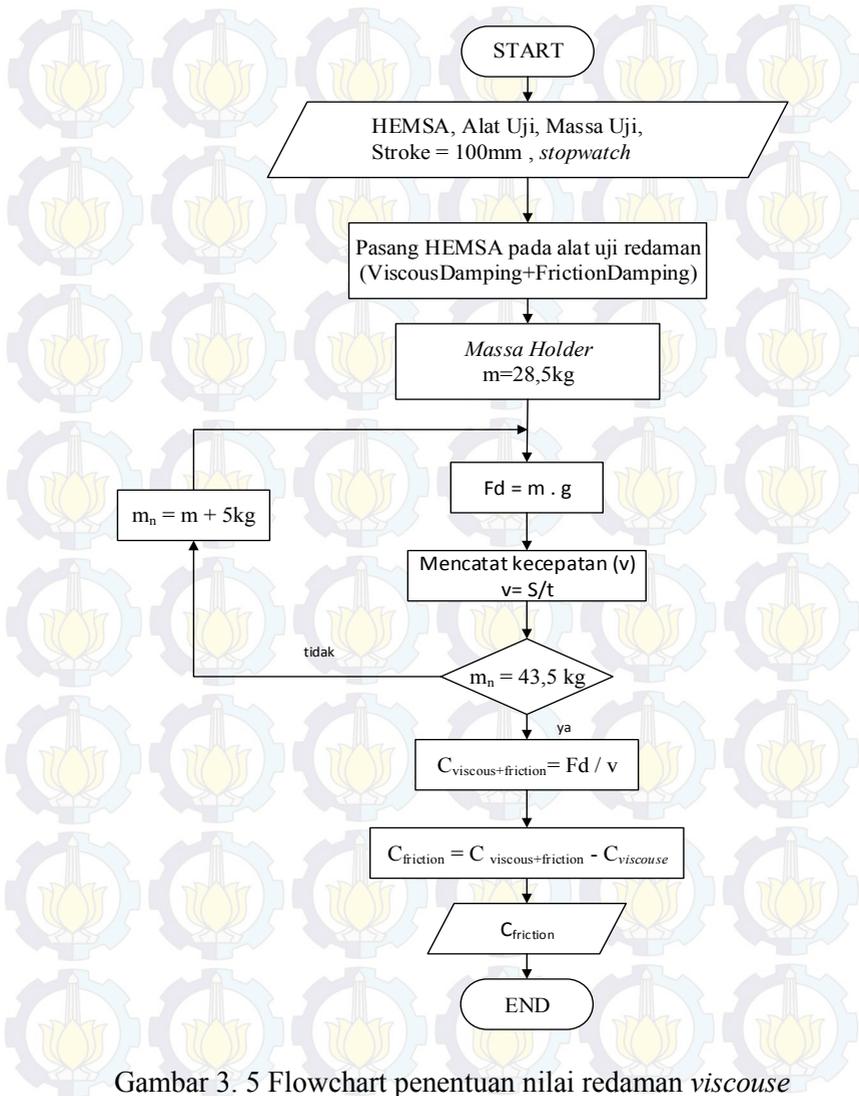
2. *Flowchart & Skematik penentuan nilai redaman viscouse damping + friction damping*



Gambar 3. 4 *Skematik penentuan nilai redaman friction damping*

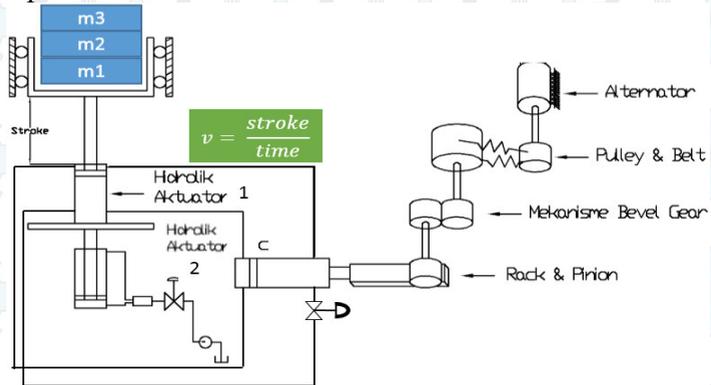
Perhitungan nilai gaya redaman pada *friction damping* adalah dengan menghubungkan Hydraulic Aktuator 1, Hydraulic Aktuator 2, rack & pinion, mekanisme *bevel gear & pulley & belt* dengan memvariasikan beberapa beban agar didapat nilai grafik $C_{\text{viscouse+friction}} = f(m_1, m_2, m_3)$, sehingga $C_{\text{friction}} = C_{\text{viscouse+friction}} - C_{\text{viscouse}}$. Pada *valve* digunakan untuk memvariasikan kondisi port dari HEMSA, karena menggunakan sesuai dengan judul, yaitu "*double port*" maka kondisi *valve* dibuka.

Flowchartnya *friction damping* :



Gambar 3. 5 Flowchart penentuan nilai redaman *viscouse damping +mechanical damping*

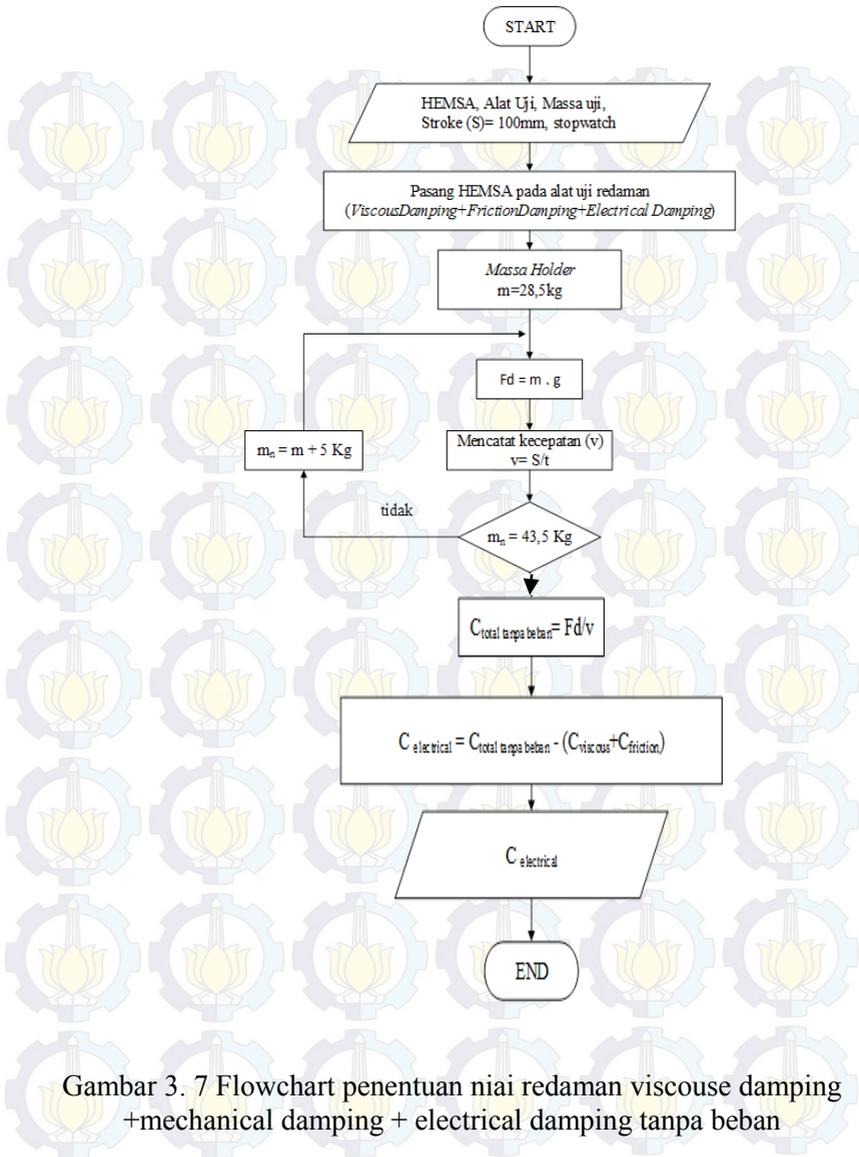
1. *Flowchart & skematik penentuan nilai redaman viscouse damping + mechanical da mping + electrical damping tanpa beban*



Gambar 3. 6 Skematik penentuan nilai redaman electrical damping tanpa beban

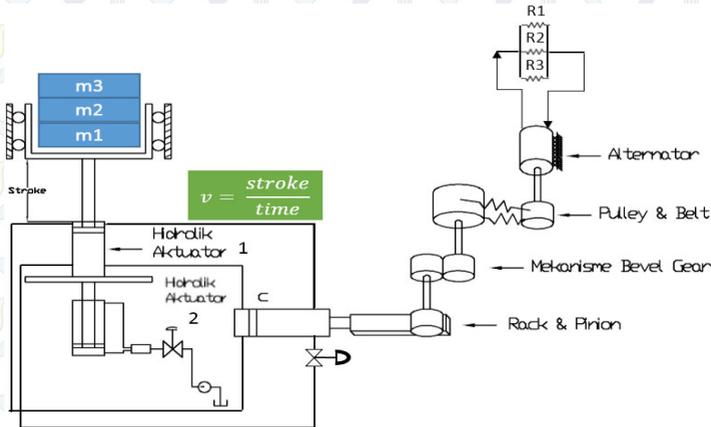
Perhitungan nilai gaya redaman pada *electrical damping* tanpa pembebanan adalah dengan menghubungkan Hydraulic Aktuator 1, Hydraulic Aktuator 2, rack & pinion, mekanisme *bevel gear*, *pulley & belt* dengan memvariasikan beberapa beban agar didapat nilai grafik $C_{\text{viscouse+friction+ED tanpa beban}} = f(m_1, m_2, m_3)$, sehingga $C_{\text{ed tanpa beban}} = C_{\text{viscouse+friction+ed tanpa beban}} - C_{\text{viscouse}} - C_{\text{friction}}$. Pada *valve* digunakan untuk memvariasikan kondisi port dari HEMSA, karena menggunakan sesuai dengan judul, yaitu “*double port*” maka kondisi *valve* dibuka.

Flowchart Electrical Damping tanpa Beban :



Gambar 3. 7 Flowchart penentuan nilai redaman viscous damping +mechanical damping + electrical damping tanpa beban

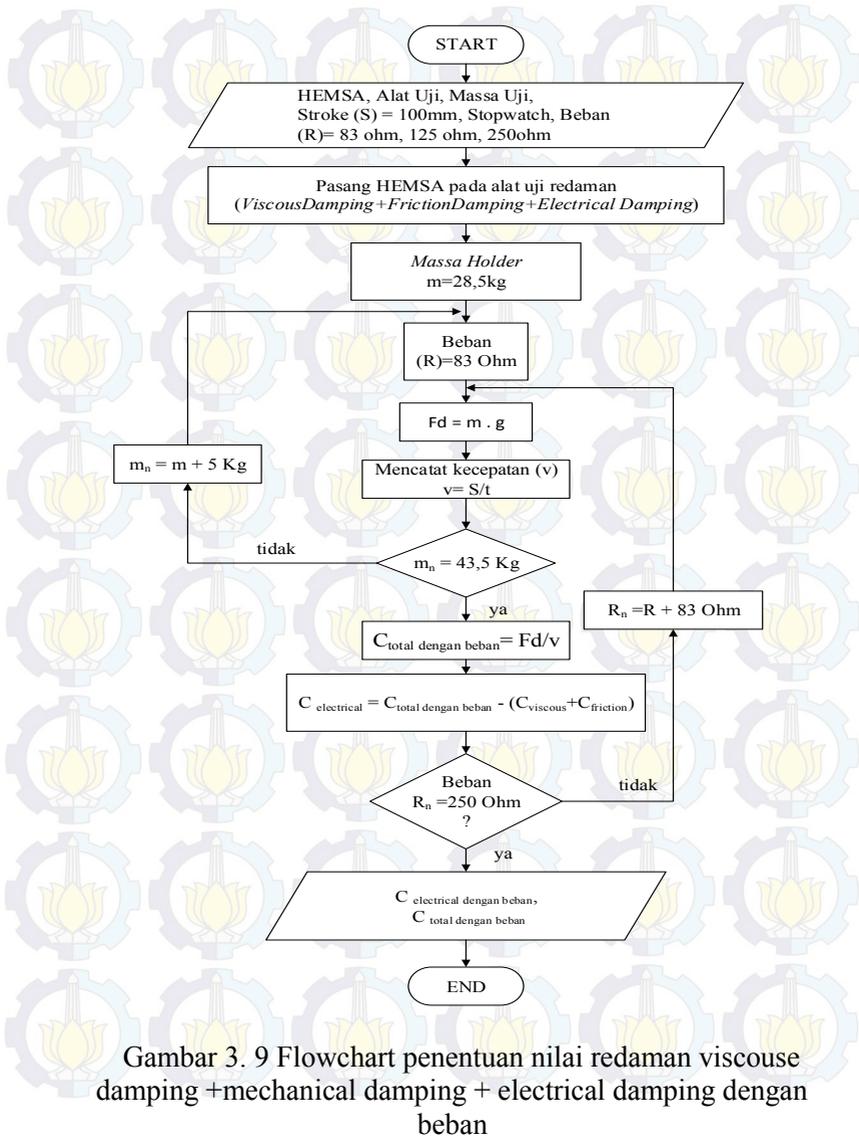
2. *Flowchart & Skematik penentuan nilai redaman viscouse damping + mechanical damping + electrical damping dengan beban*



Gambar 3. 8 Skematik penentuan nilai redaman viscouse damping + mechanical damping + electrical damping dengan beban

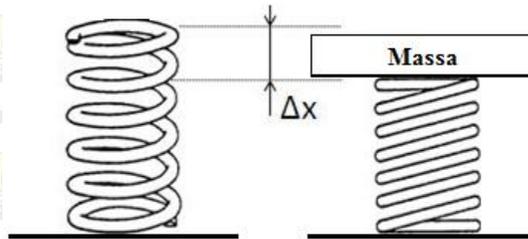
Perhitungan nilai gaya redaman pada *electrical damping* tanpa pembebanan adalah dengan menghubungkan Hydraulic Aktuator 1, Hydraulic Aktuator 2, rack & pinion, mekanisme *bevel gear*, *pulley*, *belt*, variasi Resistor (83 ohm, 125 ohm, dan 250 ohm) dengan memfariasikan beberapa beban agar didapat nilai grafik $C_{\text{viscouse+friction+ED}} \text{ beban} = f(m_1, m_2, m_3)$, sehingga $C_{\text{ed}} \text{ beban} = C_{\text{viscouse+friction+ed}} \text{ tanpa beban} - C_{\text{viscouse}} - C_{\text{friction}}$. Pada *valve* digunakan untuk memvariasikan kondisi port dari HEMSA, karena menggunakan sesuai dengan judul, yaitu “*double port*” maka kondisi *valve* dibuka.

Flowchart Electrical Damping dengan Beban :



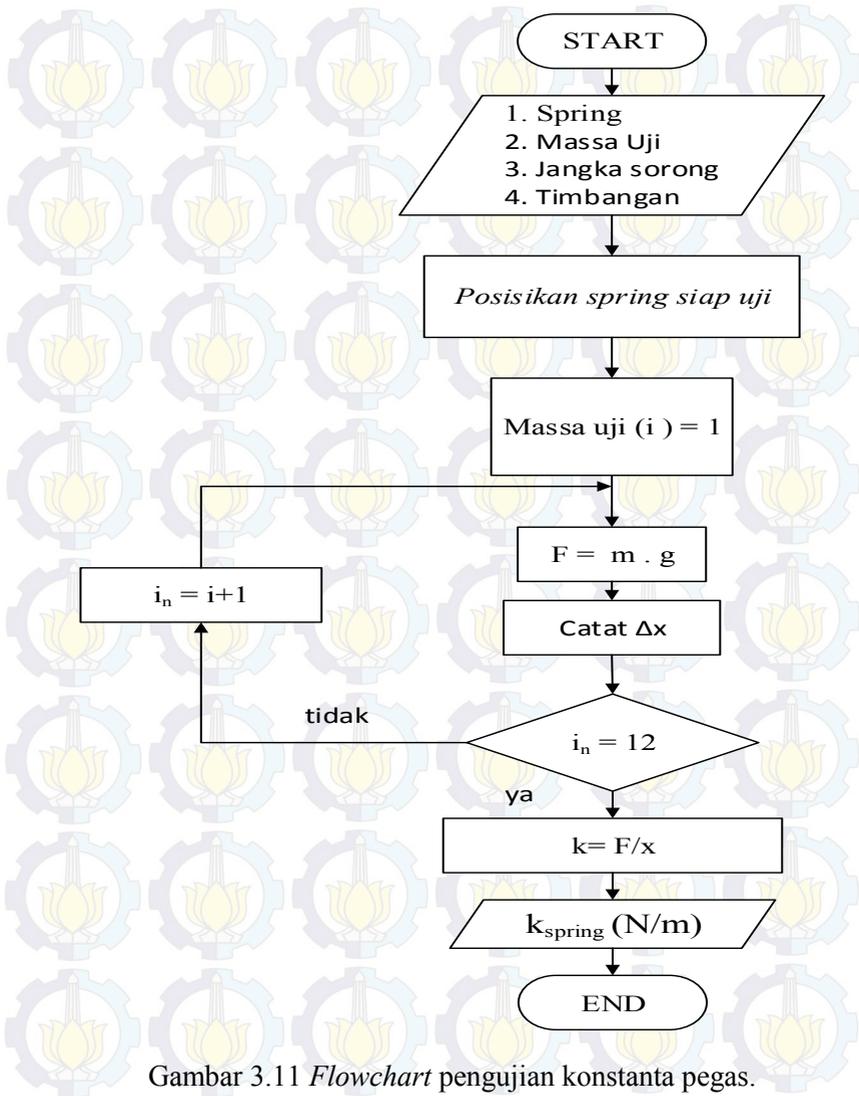
3.1.4 Pengujian Konstanta Pegas

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



Gambar 3.10 Skema pengujian konstanta pegas

Berikut adalah *flowchart* pengujian konstanta pegas:



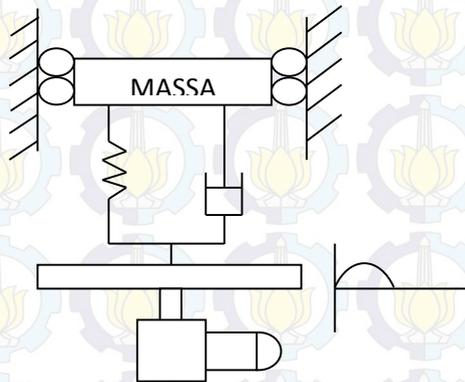
Gambar 3.11 *Flowchart* pengujian konstanta pegas.

3.1.5 Pengujian Karakteristik eksitasi suspensi HEMSA akibat eksitasi impulsif dan harmonik

Pada tahapan pengujian mekanisme ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari suspensi ketika mendapat berbagai macam gaya eksitasi dan variasi pembebanan listrik terhadap energi. Dari pengujian ini didapatkan respon massa, voltase, dan arus listrik pada masing-masing pengujian.

Uji mekanisme *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) dilakukan dengan 2 metode, yaitu sebagai berikut:

3.1.5.1 Eksitasi impuls

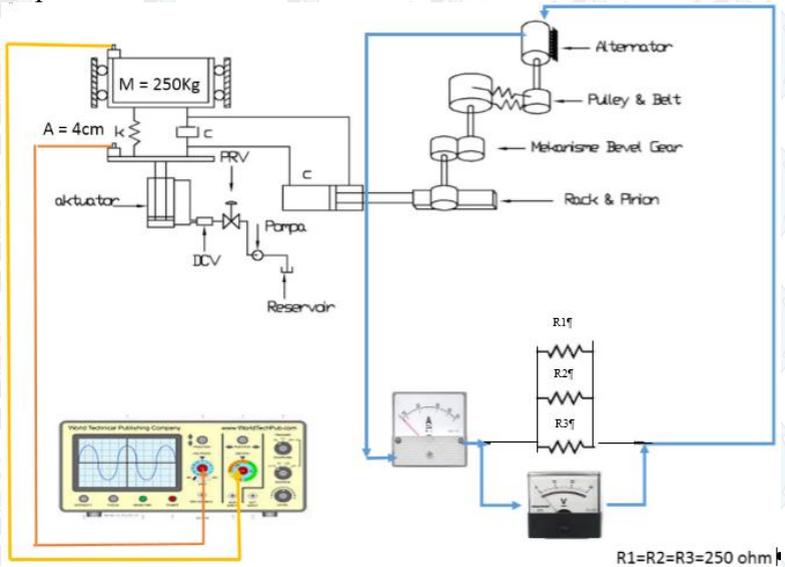


Gambar 3. 12 Eksitasi Impuls

Perlakuan uji yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Input pada pengujian tersebut berupa eksitasi impuls.
- Massa uji yang digunakan didapat pada massa uji $\frac{1}{4}$ kendaraan (m) = 250Kg.
- Amplitudo yang diuji adalah $A = 2$ cm
- Memvariasikan beban pengujian $R = 83$ ohm, 125 ohm, dan 250 ohm
- Menganalisa respon massa uji (*sprung mass*) dan massa landasan (*unsprung mass*) pada akibat dari eksitasi yang diberikan.

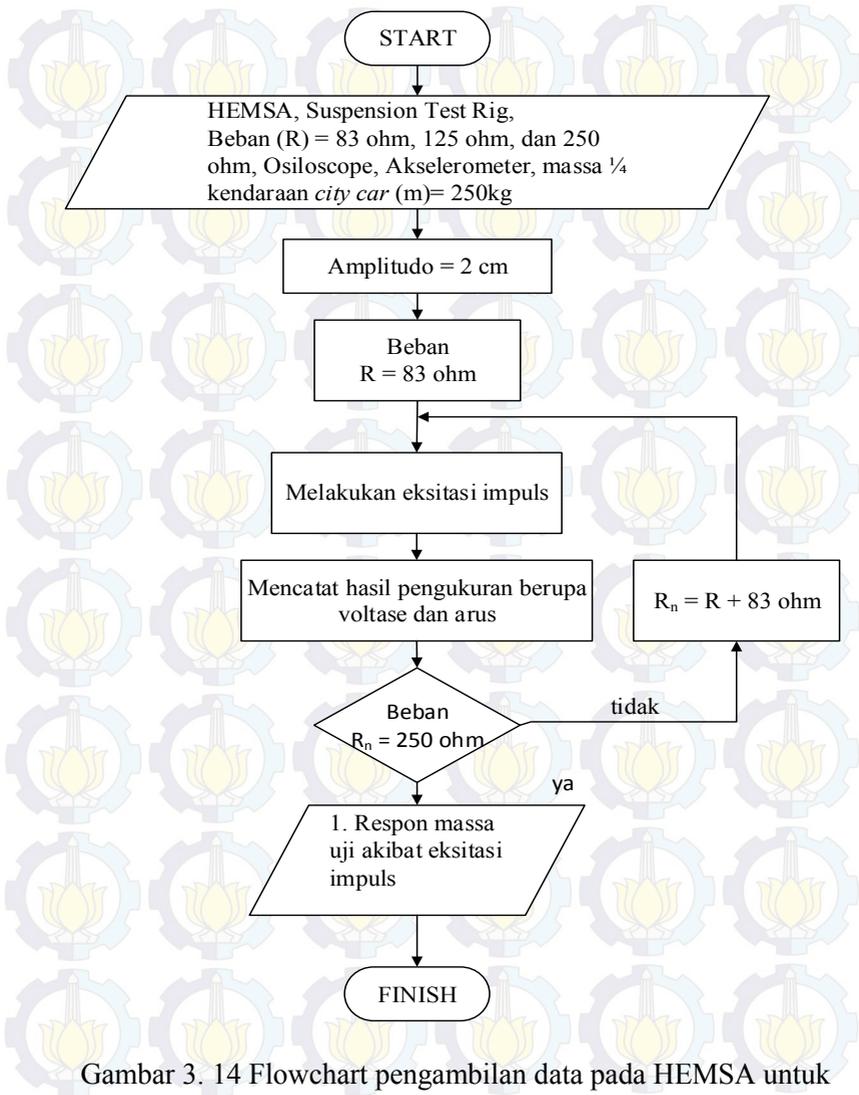
Berikut adalah *flowchart & skematik* pengujian eksitasi impuls:



Gambar 3. 13 Skematik Eksitasi Impuls

Pada pengujian eksitasi impuls, alat HEMSA dipasang pada *quarter car suspension test rig*. Pemasangannya sesuai dengan skematik diatas. alat ukur seperti accelerometer, diletakkan pada sprung mass dan unsprung mass yang dihubungkan ke *oscilloscope* yang digunakan untuk mengukur respon massa uji akibat eksitasi impuls. Selain itu dilakukan variasi pembebanan listrik yaitu dengan menambahkan masing-masing nilai resistor dari 83, 125, dan 250 ohm yang masing-masing dilihat baik respon massa ujinya dan energi bangkitannya terhadap eksitasi impuls.

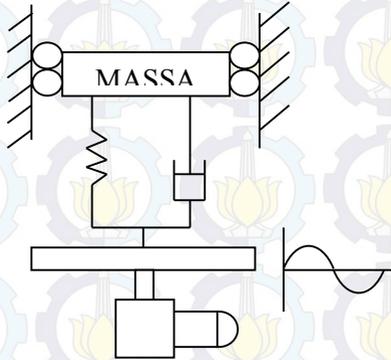
Flowchart Pengujian dengan Eksitasi Impuls:



Gambar 3. 14 Flowchart pengambilan data pada HEMSA untuk eksitasi impuls

3.1.5.2 Eksitasi harmonik

Eksitasi harmonik merupakan suatu gambaran profil jalan yang banyak terjadi gelombang. Pada pengujian ini, *system* diberikan eksitasi harmonik berupa variasi pembebanan listrik.



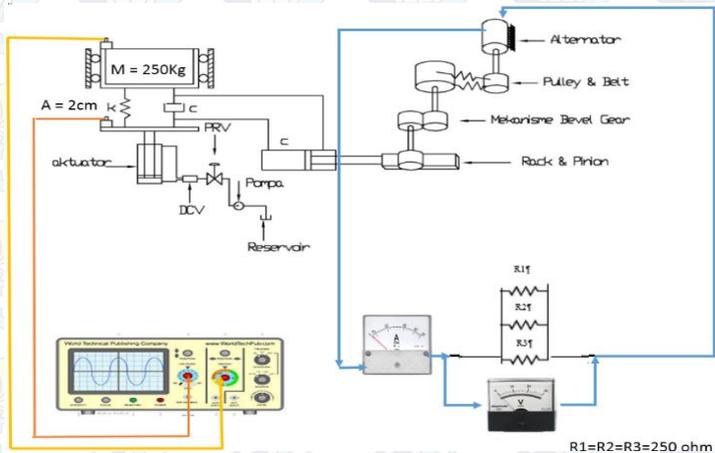
Gambar 3. 15 Eksitasi Harmonik

Perlakuan uji yang dilakukan adalah sebagai berikut:

- Input pada pengujian tersebut berupa eksitasi harmonik.
- Massa uji yang digunakan didapat pada massa uji $\frac{1}{4}$ kendaraan (m) = 250Kg.
- Terdapat amplitudo pada pengujian yaitu $A = 2$ cm. Pada amplitudo tersebut terdapat frekuensi yang berbeda-beda yaitu $f = 1,4\text{Hz}$, $f = 1,7\text{Hz}$, dan $f = 2,2\text{Hz}$
- Memvariasikan beban pengujian $R = 83$ ohm, 125 ohm, dan 250 ohm
- Mencatat arus induksi dan voltase bangkitan yang dihasilkan pada HEMSA.
- Membuat grafik dan membandingkan pada tiap variasi frekuensi terhadap daya bangkitan dari tiap-tiap suspensi tersebut.

- g. Menganalisa respon massa uji (*sprung mass*) dan massa landasan (*unsprung mass*) pada akibat dari eksitasi yang diberikan.

Berikut adalah *flowchart* & Skematik pengujian eksitasi harmonik:

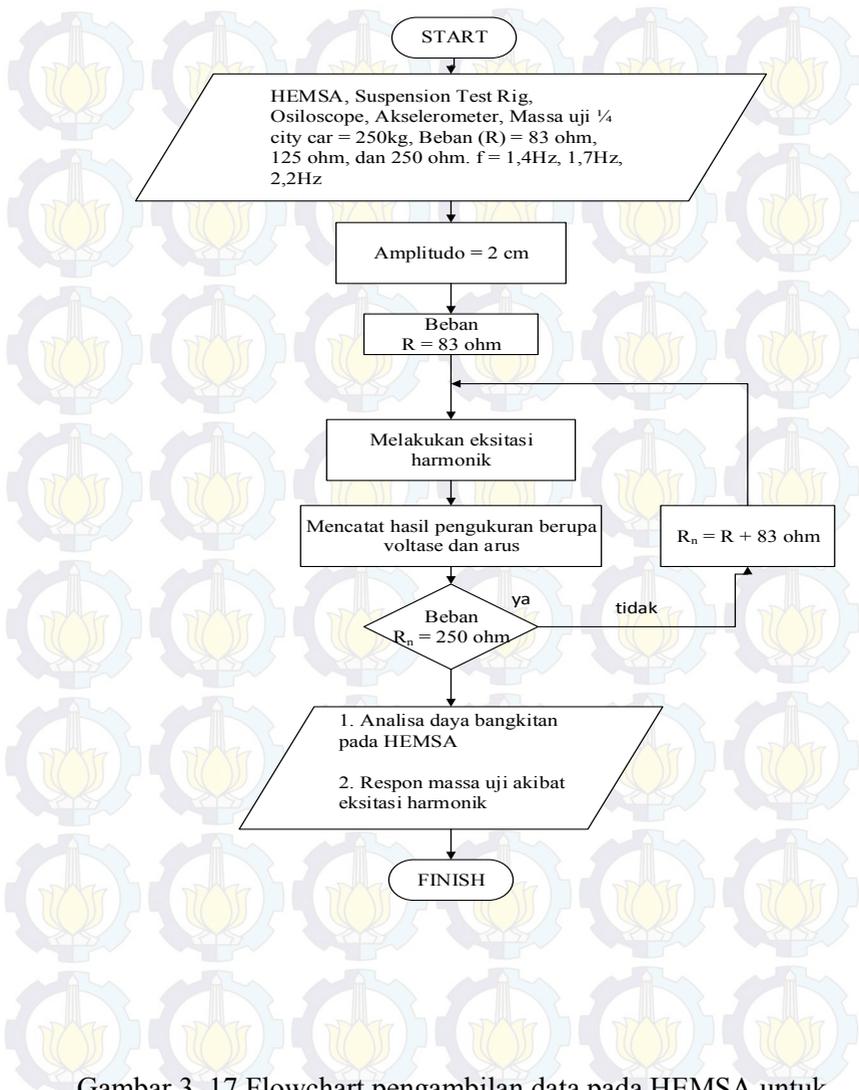


Gambar 3. 16 Flowchart pengambilan data pada HEMSA untuk eksitasi harmonik

Pada pengujian eksitasi impuls, alat HEMSA dipasang pada *quarter car suspension test rig*. Pemasangannya sesuai dengan skematik diatas. alat ukur seperti accelerometer, diletakkan pada *sprung mass* dan *unsprung mass* yang dihubungkan ke *oscilloscope* yang digunakan untuk mengukur respon massa uji akibat eksitasi harmonik. Selain itu dilakukan variasi frekuensi (f) yaitu $f = 1,4\text{Hz}$, $1,7\text{Hz}$, dan $2,2\text{Hz}$. Dari variasi frekuensi ini digunakan untuk memutar *Pressure Relief Valve* pada alat uji.

Dan selain itu dilakukan juga variasi pembebanan listrik pada $R = 83 \text{ Ohm}$, 125 Ohm , dan 250 Ohm . Dari masing-masing variasi tersebut diatas dilihat dan diukur respon massa uji dan energi bangkitan akibat eksitasi harmonik.

Flowchart Pengujian Eksitasi Harmonik:



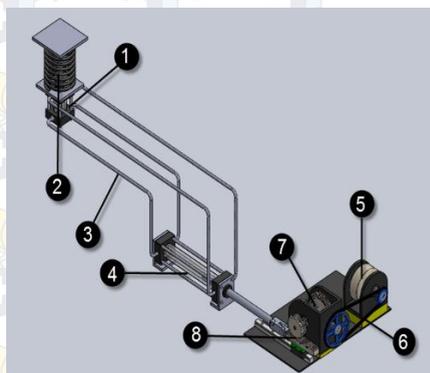
Gambar 3. 17 Flowchart pengambilan data pada HEMSA untuk eksitasi harmonik

3.2 Peralatan yang digunakan

3.2.1 Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)

HEMSA merupakan suatu alat ini memanfaatkan gerak translasi pada sistem suspensi berupa cylinder hydraulic, yang mendistribusikan aliran fluida ke cylinder hydraulic lainnya sebagai aktuator. Gerak translasi aktuator 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, putaran dari gearbox tersebut nantinya disambungkan dengan pulley dan belt menuju generator yang berfungsi untuk menghasilkan listrik.

Dengan menggunakan perbandingan diameter silinder Hydraulic 40mm:30mm, kelebihan dari HEMSA ini adalah dengan panjang stroke yang besar maka dihasilkan putaran generator yang lebih tinggi, sehingga diharapkan energi listrik yang dihasilkan juga tinggi.



Keterangan Gambar:

1. Hidrolik Aktuator 1
2. *Spring*
3. Selang Hidrolik
4. Hidrolik Aktuator 2
5. Generator
6. *Belt & Pulley*
7. *One way bearing & Bevel Gear*
8. *Rack & Pinion Gear*

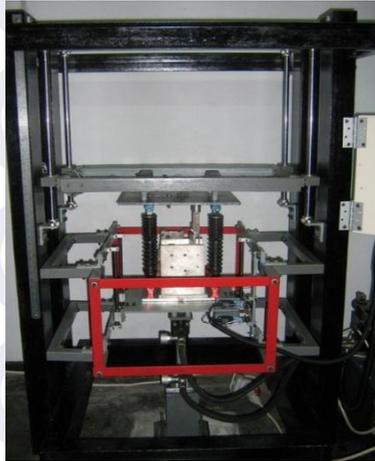
Gambar 3. 18 Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)

Spesifikasi dari alat HEMSA adalah sebagai berikut:

Komponen	Spesifikasi (Unit)
Diameter <i>Cylinder Hydraulic</i> Aktuator 1	40mm
Diameter rod <i>Cylinder Hydraulic</i> Aktuator 1	25mm
Stroke Maximum <i>Cylinder Hydraulic</i> Aktuator 1	100mm
Diameter <i>Cylinder Hydraulic</i> Aktuator 2	30mm
Diameter rod <i>Cylinder Hydraulic</i> Aktuator 2	18mm
Stroke Maximum <i>Cylinder Hydraulic</i> Aktuator 2	200mm
Perbandingan Rack : Pinion	2,5:1
Perbandingan Bevel gear	2,5:1
Perbandingan Pulley	5:1
Konfigurasi Port	2 C, 2 R
Fluida Kerja	SAE 10W

3.2.2 Suspension test rig

Suspension test rig digunakan untuk melakukan studi eksperimental karakteristik HEMSA, damping, dan spring. Suspension test rig tersebut dirancang dan didesain oleh mahasiswa ITS melalui project tugas akhir. Model pengujian dari alat ini adalah *quarter model*, dimana pada suspensi yang diuji merepresentasikan $\frac{1}{4}$ massa kendaraan.



Gambar 3. 19 Suspension test rig

3.2.3 Oscilloscope

Oscilloscope adalah alat yang dapat menunjukkan grafik sinusoidal voltase bangkitan dari sebuah sistem yang telah dihubungkan sebelumnya. Alat ini dihubungkan dengan HEMSA untuk mengetahui dan mencatat voltase bangkitan dari alat tersebut.



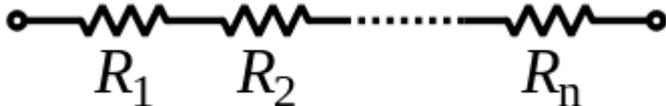
Gambar 3. 20 Oscilloscope

3.1.1 Resistor

Resistor adalah komponen elektronik dua kutub yang didesain untuk mengatur tegangan listrik dan arus listrik, dengan resistansi tertentu (tahanan) dapat memproduksi tegangan listrik di antara kedua kutubnya, nilai tegangan terhadap resistansi berbanding dengan arus yang mengalir, berdasarkan hukum Ohm: Resistor digunakan sebagai bagian dari rangkaian elektronik dan sirkuit elektronik.

Rangkaian resistor terdiri dari 2, yaitu :

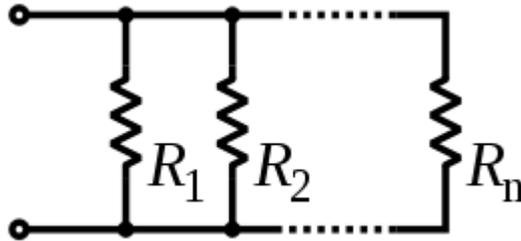
1. **Rangkaian Seri** adalah salah satu rangkaian listrik yang disusun secara sejajar (seri). Baterai dalam senter umumnya disusun dalam rangkaian seri.



Gambar 3. 21 Skema Rangkaian Seri

Jumlah hambatan total rangkaian seri sama dengan jumlah hambatan tiap-tiap komponen (resistor).

2. **Rangkaian Paralel** adalah salah satu rangkaian listrik yang disusun secara berderet (paralel), di mana semua input komponen berasal dari sumber yang sama. Semua komponen satu sama lain tersusun paralel



Gambar 3. 22 Skema Rangkaian Paralel

Jumlah kebalikan hambatan total rangkaian paralel sama dengan jumlah dari kebalikan hambatan tiap- tiap komponen (resistor).

3.2.4 Jangka Sorong

Jangka sorong adalah alat ukur yang ketelitiannya dapat mencapai seperseratus milimeter. Jangka sorong mempunyai dua rahang, yaitu rahang tetap dan rahang sorong. Pada rahang tetap terdapat skala utama dan pada rahang sorong terdapat skala nonius atau skala vernier. Skala nonius ini panjangnya 9 mm yang terbagi menjadi 10 skala dengan tingkat ketelitian 0,1 mm.



Gambar 3.23 Jangka Sorong

3.2.5 Stopwatch

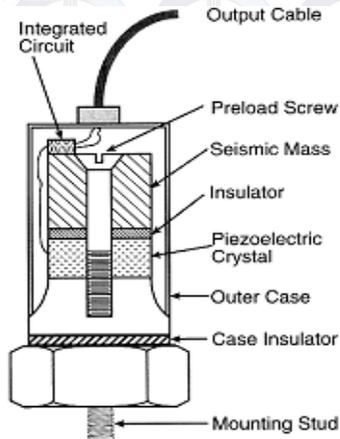
Stopwatch adalah alat untuk mengukur waktu dalam satuan sekon. Pada penelitian ini stopwatch digunakan sebagai timer ketika HEMSA diberikan eksitasi selama waktu tertentu.



Gambar 3.24 Stopwatch

3.2.6 Akselerometer

Akselerometer adalah sebuah transduser yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, ataupun untuk mengukur percepatan akibat gravitasi bumi. Akselerometer juga dapat digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi pada kendaraan, bangunan, mesin, dan juga bisa digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi di dalam bumi, getaran mesin, jarak yang dinamis, dan kecepatan dengan ataupun tanpa pengaruh gravitasi bumi.



Gambar 3.25 Akselerometer

3.2.7 Multimeter

Multimeter adalah alat pengukur listrik yang sering dikenal sebagai AVO-meter (Ampere/Volt/Ohm meter) yang dapat mengukur tegangan (voltmeter), hambatan (ohm-meter), maupun arus (ampere-meter).



Gambar 3.26 Multimeter



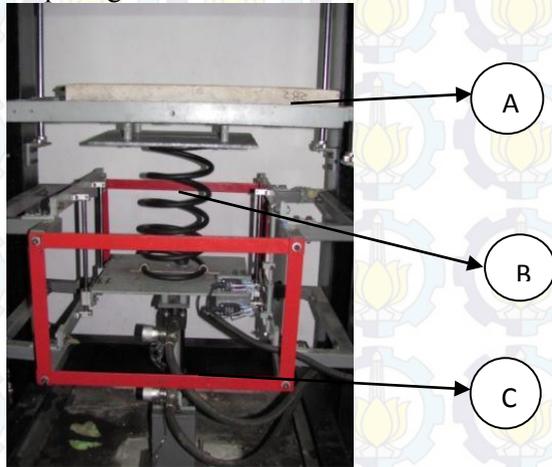
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan konstanta pegas

4.1.1 Prinsip kerja

Pada Proses pengambilan data konstanta pegas ini dilakukan di LAB Sistem Dinamis dan Vibrasi Teknik 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 di atasnya, setelah itu ukur perubahan panjangnya pada pegas tersebut. prinsip kerjanya dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4.1 (a). Beban yang divariasikan (b). Pegas (c).

Suspension test rig

Proses pengambilan data tersebut dilakukan sebanyak 16 kali, dengan 8 kali beban ditambah seperti proses tertekan, dan 8 kali beban diambil, hal ini bertujuan untuk mengetahui dari histerisis nilai konstanta pegas saat pengujian dilakukan penekanan dan pengambilan satu per satu. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan 6 beban yang bervariasi dan berikut adalah data hasil pengujian konstanta pegas :

4.1.2 Perhitungan Konstanta Pegas

Pengambilan konstanta pegas dapat dilakukan dengan menggunakan perhitungan Hukum Hook.

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

kita dapat mengetahui konstanta dari pegas yang kita uji dan berikut adalah contoh perhitungannya :

$$F = \Delta W \quad \longrightarrow \quad W_2 - W_1 = (217.9 \times 9.81)\text{N} - 0 = 2137.6 \text{ N}$$

$$\Delta X \quad \longrightarrow \quad X_2 - X_1 = [(310-260)/1000] \text{ m} - 0 = 0.05 \text{ m}$$

Jadi,

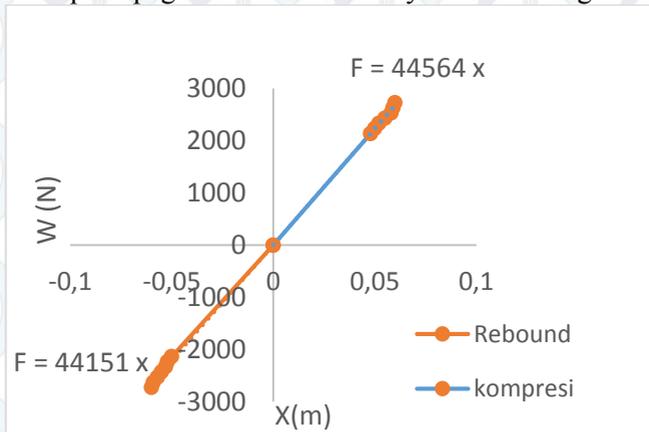
$$k = \frac{\Delta W}{\Delta X} = \frac{2137.6}{0.05} = 42752 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Dengan dilakukannya 16 kali percobaan maka didapatkan nilai k (konstanta pegas) pada masing-masing data tersebut.

Tabel 4. 1 Data hasil pengujian konstanta pegas

No.π	Massa(kg)π	W(N)π	ΔW(N)π	X(m)π	ΔX(m)π	K(N/m)π
1π	0π	0π	0π	0.31π	0π	0π
2π	217.9π	-2137.6π	-2137.6π	0.260π	-0.05π	42752π
3π	227.9π	-2235.7π	-98.1π	0.258π	-0.052π	42994π
4π	237.9π	-2333.8π	-98.1π	0.257π	-0.053π	44034π
5π	247.9π	-2431.9π	-98.1π	0.255π	-0.055π	44216π
6π	257.9π	-2530.0π	-98.1π	0.253π	-0.057π	44386π
7π	267.9π	-2628.1π	-98.1π	0.251π	-0.059π	44544π
8π	277.9π	-2726.2π	-98.1π	0.250π	-0.060π	45437π
9π	277.9π	2726.2π	0.0π	0.250π	0.060π	45437π
10π	267.9π	2628.1π	98.1π	0.251π	0.059π	44544π
11π	257.9π	2530.0π	98.1π	0.252π	0.058π	43621π
12π	247.9π	2431.9π	98.1π	0.255π	0.055π	44216π
13π	237.9π	2333.8π	98.1π	0.258π	0.052π	44881π
14π	227.9π	2235.7π	98.1π	0.260π	0.050π	44714π
15π	217.9π	2137.6π	98.1π	0.262π	0.048π	44533π
16π	0π	0π	0π	0.31π	0π	0π
RATA-RATAπ						44308π

Dari tabel 4.1 diatas, kita buat grafik hubungan antara perubahan beban (W) terhadap perubahan panjang (X) yang dihasilkan pada pegas tersebut. Grafiknya adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 2 Grafik Pengujian Konstanta Pegas HEMSA

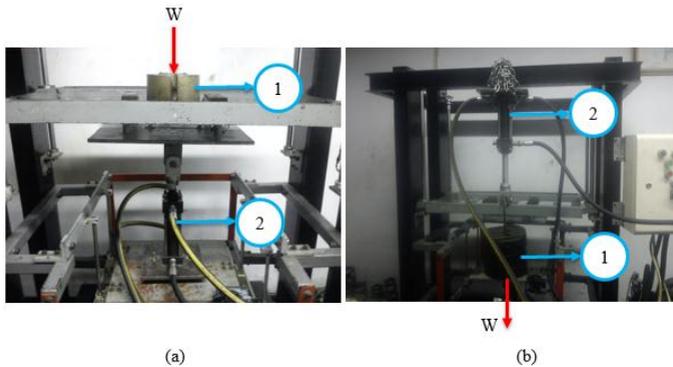
Dari grafik 4.2 pengujian konstanta pegas HEMSA diatas, dapat kita lihat bahwa dengan beban sebesar 2137.6 N didapatkan perubahan panjang sebesar 0.05 m, sedangkan pada beban sebesar 2431.9 N didapatkan perubahan panjang sebesar 0.055 m.

Dari grafik dan tabel tersebut dapat 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 di atas bahwa garis hampir terlihat lurus atau mendekati linier. Sehingga pemilihan nilai konstanta pegas HEMSA pada pengujian mekanisme suspensi yang dilakukan di laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi dipilih berdasarkan dimensi pegas yang tersedia dan dapat dipasang dengan Absorber hasil rancangan (HEMSA). Sehingga dapat diuji pada suspension tes rig (simulasi 1/4 kendaraan). 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**

4.1 Penentuan Konstanta Redaman

Penentuan konstanta redaman *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) adalah dengan pengujian gaya redaman. Pengujian gaya redaman yang dilakukan yaitu, gaya redaman HEMSA tanpa pembebanan dan gaya redaman HEMSA dengan pembebanan listrik. Proses pengujiannya dilakukan di Laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada *quarter car suspension test rig*.

Metode pengujian gaya redaman yang dilakukan adalah metode pembebanan (uji statis). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan turun absorber saat kompresi dan rebound. Dari kecepatan dan berat massa dapat diperoleh nilai konstanta redaman, dari persamaan $F_d = c V$.



Keterangan gambar:

1. Beban
2. HEMSA

Gambar 4.3 (a) pengujian *compression*, (b) pengujian *rebound*

4.2.1 Penentuan Konstanta Redaman HEMSA tanpa pembebanan

4.2.1.1 Konstanta Redaman *Hydraulic (viscous damping)*

Pada pengujian redaman *viscouse damping* dilakukan untuk mengetahui nilai konstanta redaman dari salah satu komponen HEMSA yaitu *Hydraulic*.

Prinsip kerja dari komponen *hydraulic* pada HEMSA ini adalah sebagai peredam sekaligus pendorong mekanisme *gearbox*, meliputi *rack pinion*, *bevel gear*, *pulley* dan *belt*. Mekanisme *hydraulic* ini terdiri dari dua *cylinder hydraulic*. Dimana, *cylinder hydraulic* pertama berfungsi sebagai absorber dan *cylinder hydraulic* kedua sebagai pendorong yang dihubungkan ke mekanisme *rack pinion* yang meneruskan gaya ke susunan gear pada HEMSA.

Berikut adalah hasil tabel hasil pengujian gaya redaman *viscouse damping* yang dilakukan saat *compression* dan *rebound*:

Tabel 4. 2 Konstanta Redaman Viscouse Damping (Compression)

UJI KONSTANTA REDAMAN VISCOUS									
Massa (kg)	Massa + holder (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0	28,45	279,095	0,65	0,1	0,15385	0,14792	1814,11425	1888,54	
0	28,45	279,095	0,7	0,1	0,14286		1953,6615		
0	28,45	279,095	0,68	0,1	0,14706		1897,8426		
5	33,45	328,145	0,58	0,1	0,17241	0,18824	1903,2381	1750,10	
5	33,45	328,145	0,52	0,1	0,19231		1706,3514		
5	33,45	328,145	0,5	0,1	0,20000	0,24400	1640,7225	1546,50	
10	38,45	377,195	0,41	0,1	0,24390		1546,49745		
10	38,45	377,195	0,4	0,1	0,25000		1508,778		
10	38,45	377,195	0,42	0,1	0,23810	1584,2169			
Rata-Rata								1728,38	

Tabel 4. 3 Konstanta Redaman Viscouse Damping (Rebound)

UJI KONSTANTA REDAMAN VISCOUS									
Massa (kg)	Massa + holder (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2	
25	25	-245,250	0,74	0,1	-0,13514	-0,12594	1814,85	1962,00	
25	25	-245,250	0,9	0,1	-0,11111		2207,25		
25	25	-245,250	0,76	0,1	-0,13158		1863,9		
30	30	-294,300	0,73	0,1	-0,13699	-0,15071	2148,39	1962,00	
30	30	-294,300	0,62	0,1	-0,16129		1824,66		
30	30	-294,300	0,65	0,1	-0,15385	-0,18804	1912,95	1831,20	
35	35	-343,350	0,5	0,1	-0,20000		1716,75		
35	35	-343,350	0,53	0,1	-0,18868		1819,755		
35	35	-343,350	0,57	0,1	-0,17544	1957,095			
Rata-Rata								1918,40	

Untuk mendapatkan konstanta redaman *viscous* saat *compression* dan *rebound* dilakukan perhitungan menggunakan persamaan $F_d = C \cdot v$, maka $C = F_d / v$. Dengan contoh perhitungan sebagai berikut:

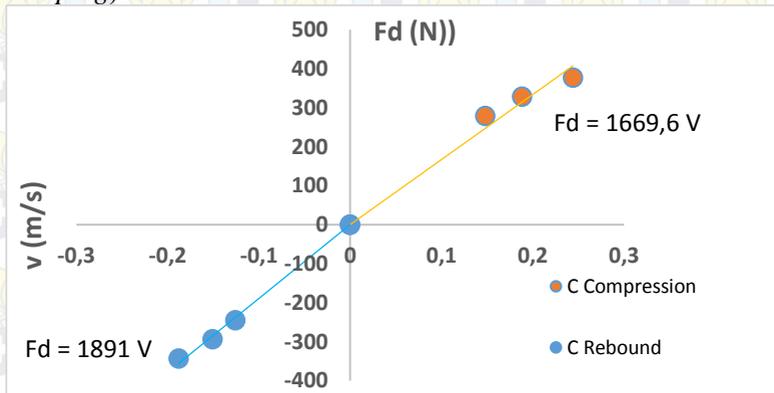
Diketahui: Stroke = 0.1 m
 Beban = 328,145 N
 Waktu yang didapat saat pengujian yang = 0.5 s

Maka dapat dihitung kecepatan (v) dengan rumus $v = \text{jarak} / \text{waktu}$
 $= 0.1 \text{ m} /$

$0.5 \text{ s} = 0.2 \text{ m/s}$

Maka nilai $C = F / v$
 $= 328,145 \text{ N} / 0.2 \text{ m/s}$
 $= 1640,722 \text{ Ns/m}$

Dari data tabel 4.2 dan 4.3 dituangkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan, untuk mengetahui distribusi linier dari konstanta redaman *Hydraulic (viscous damping)*. Berikut adalah grafik konstanta redaman *Hydraulic (viscous damping)*:



Gambar 4. 4 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan viscous damping

Pada gambar 4.4 bahwa pada nilai konstanta redaman saat kompresi adalah 1669,6 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 1891 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman *Hydraulic* adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu **1780,3** Ns/m.

Berdasarkan rumus gaya redaman yaitu $F_d = C v$, dari rumus teoritis tersebut kita dapat mengetahui jika seiring bertambahnya Gaya Redama (F_d) maka kecepatan (v) juga akan naik, oleh sebab itu trendlinennya cenderung linier naik keatas.

Berdasarkan grafik dan tabel nilai aktual jika dibandingkan dengan teori adalah sama, sehingga dapat dilihat semakin besar nilai gaya redaman (F_d) terhadap kecepatan (v), maka semakin naik keatas nilai grafiknya, tetapi berdasarkan tabel nilai konstanta redaman, baik itu *compression* dan *rebound* nilainya cenderung semakin kecil.

4.2.1.2 Konstanta Redaman Viscous + Friction damping

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kontribusi nilai konstanta redaman dari komponen *viscouse* dan *friction* pada HEMSA. Berikut adalah hasil tabel hasil pengujian gaya redaman *compression* dan *rebound*:

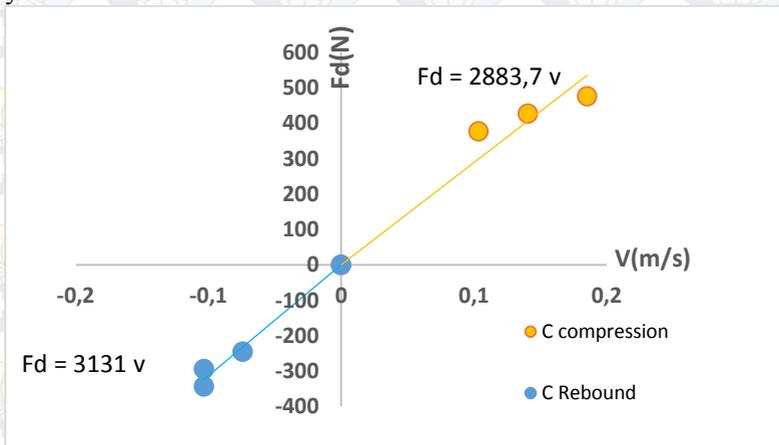
Tabel 4. 4 Uji Konstanta Redaman Viscous+Friction Damping (Compression)

UJI KONSTANTA REDAMAN VISCIOUS + FRICTION								
Massa (kg)	Massa + holder (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
0	28,45	279,095	0,96	0,1	0,10417	0,10346	2679,3072	2697,91
0	28,45	279,095	0,98	0,1	0,10204		2735,1261	
0	28,45	279,095	0,96	0,1	0,10417		2679,3072	
5	33,45	328,145	0,76	0,1	0,13158	0,14066	2493,8982	2340,76
5	33,45	328,145	0,66	0,1	0,15152		2165,7537	
5	33,45	328,145	0,72	0,1	0,13889		2362,6404	
10	38,45	377,195	0,55	0,1	0,18182	0,18549	2074,56975	2036,85
10	38,45	377,195	0,56	0,1	0,17857		2112,2892	
10	38,45	377,195	0,51	0,1	0,19608		1923,69195	
Rata-Rata								2358,51

Tabel 4. 5 Uji Konstanta Redaman Viscous+Friction Damping (Rebound)

UJI KONSTANTA REDAMAN VISCOSUS + FRICTION								
Massa (kg)	Massa + holder (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
25	25	-245,250	1,37	0,1	-0,07299		3359,925	3310,88
25	25	-245,250	1,38	0,1	-0,07246	-0,07413	3384,45	
25	25	-245,250	1,3	0,1	-0,07692		3188,25	
30	30	-294,300	0,92	0,1	-0,10870		2707,56	2854,71
30	30	-294,300	1,02	0,1	-0,09804	-0,10328	3001,86	
30	30	-294,300	0,97	0,1	-0,10309		2854,71	
35	35	-343,350	0,89	0,1	-0,11236		3055,815	3341,94
35	35	-343,350	1,08	0,1	-0,09259	-0,10341	3708,18	
35	35	-343,350	0,95	0,1	-0,10526		3261,825	
Rata-Rata								3169,18

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.4 dan 4.5 dituangkan kedalam bentuk grafik gaya redaman (F_d) fungsi kecepatan (v) yaitu:



Gambar 4. 5 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan viscous+friction damping

Pada gambar 4.5 bahwa pada nilai konstanta redaman saat kompresi adalah 2883,7 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 3131 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman *Hydraulic* adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu 3007,35 Ns/m.

Dari grafik baik *compression* dan *rebound* dimana seiring bertambahnya variasi massa beban pengujian (m) yang di jadikan sebagai gaya redaman (Fd) *trendline grafiknya* cenderung naik dan berdasarkan rumus gaya redaman yaitu $F_d = C v$, dari rumus teoritis tersebut kita dapat mengetahui jika seiring bertambahnya Gaya Redama (Fd) maka kecepatan (v) juga naik, oleh sebab itu trendlinennya cenderung linier naik keatas.

Dari hasil pengujian menunjukkan kesesuaian dengan teori, yaitu dengan bertambahnya nilai konstanta redaman akibat penambahan komponen mechanic pada HEMSA., sehingga dapat dilihat semakin besar nilai gaya redaman (Fd) terhadap kecepatan (v), maka semakin naik keatas nilai grafiknya, tetapi berdasarkan tabel nilai konstanta redaman, baik itu *compression* dan *rebound* nilainya cenderung semakin kecil.

4.2.1.3 Konstanta Redaman HEMSA (*viscous + friction + electric damping*)

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kontribusi nilai konstanta redaman dari komponen *Hydraulic, Mechanic*, dan generator pada HEMSA. Berikut berturut-turut tabel hasil pengujian gaya redaman kompresi dan *rebound*:

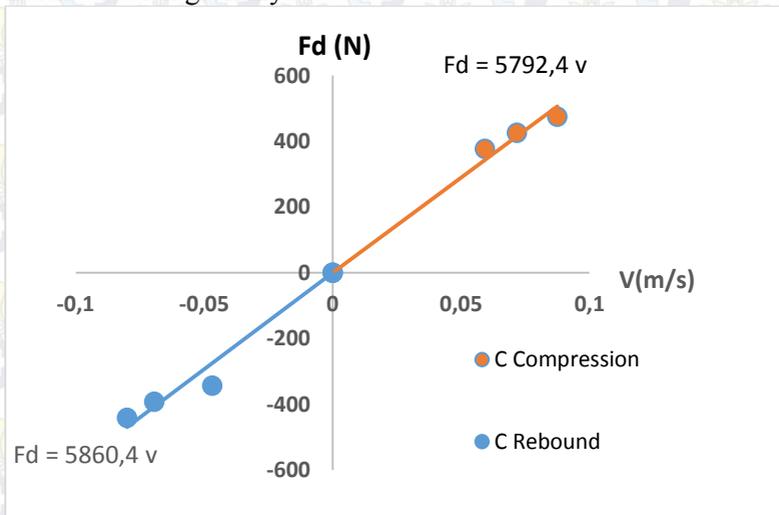
Tabel 4. 6 Uji Konstanta Redaman Viscous+Friction+Electric Damping (Compression)

UJI KONSTANTA REDAMAN VISCOSUS+FRICTION+ELECTRIC DAMPING									
Massa (kg)	Massa + holder (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2	
	0	0	0	0	0	0	0	0	
10	38,45	377,195	1,7	0,1	0,05882	0,05930	6412,3065	6362,01	
10	38,45	377,195	1,65	0,1	0,06061		6223,70925		
10	38,45	377,195	1,71	0,1	0,05848		6450,02595		
15	43,45	426,245	1,41	0,1	0,07092	0,07178	6010,04745	5939,01	
15	43,45	426,245	1,39	0,1	0,07194		5924,79855		
15	43,45	426,245	1,38	0,1	0,07246		5882,1741		
20	48,45	475,295	1,12	0,1	0,08929	0,08748	5323,2984	5434,20	
20	48,45	475,295	1,16	0,1	0,08621		5513,4162		
20	48,45	475,295	1,15	0,1	0,08696		5465,88675		
Rata-Rata									5911,74

Tabel 4. 7 Uji Konstanta Redaman Viscous+Friction+Electric Damping (Rebound)

UJI KONSTANTA REDAMAN VISCOSUS+FRICTION+ELECTRIC DAMPING										
Massa (kg)	Massa + holder (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2		
	0	0	0	0	0	0	0	0		
35	35	-343,350	2,13	0,1	-0,04695		7313,355	7324,80		
35	35	-343,350	2,18	0,1	-0,04587	-0,04689	7485,03			
35	35	-343,350	2,09	0,1	-0,04785		7176,015			
40	40	-392,400	1,45	0,1	-0,06897		5689,8	5650,56		
40	40	-392,400	1,43	0,1	-0,06993	-0,06945	5611,32			
40	40	-392,400	1,44	0,1	-0,06944		5650,56			
45	45	-441,450	1,28	0,1	-0,07813		5650,56	5518,13		
45	45	-441,450	1,24	0,1	-0,08065	-0,08002	5473,98			
45	45	-441,450	1,23	0,1	-0,08130		5429,835			
Rata-Rata									6164,50	

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.6 dan 4.7 dituangkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan, untuk mengetahui distribusi linier dari konstanta redaman Hydraulic, Mechanic dan generator (viscous+friction+electric damping). Berikut adalah grafiknya:



Gambar 4. 6 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan viscous+friction+electric damping

Pada gambar 4.6 bahwa pada saat kompresi nilai konstanta redaman adalah 5792,4 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 5860,4 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman *Hydraulic, Mechanic*, dan generator adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu 5826,4 Ns/m.

Berdasarkan rumus gaya redaman yaitu $F_d = C v$, dari rumus teoritis tersebut kita dapat mengetahui jika seiring bertambahnya Gaya Redama (F_d) maka kecepatan (v) juga naik, oleh sebab itu trendlinennya cenderung linier naik keatas. Selain itu dari persamaan torsi elektrik generator (T_e), yaitu $T_e = 2 \cdot N \cdot B \cdot l \cdot a \cdot i(t)$, dimana Torsi elektrik arah putarannya bersifat menghambat dari putaran alternator, hal ini disebabkan oleh nilai kuat medan magnet serta R_{load} yang digunakan.

Berdasarkan grafik dan tabel secara aktual jika dibandingkan dengan teori adalah sama, sehingga dapat dilihat semakin besar nilai gaya redaman (F_d) terhadap kecepatan (v), maka semakin naik keatas nilai grafiknya.

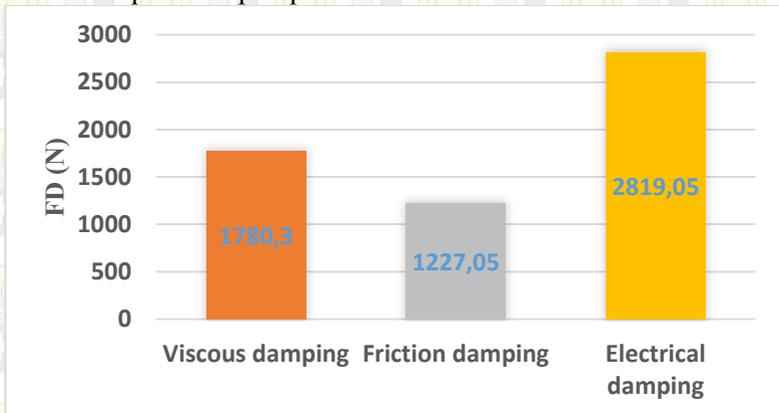
4.2.1.4 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA

Berdasarkan pengujian gaya redaman untuk penentuan nilai konstanta redaman saat tidak terjadi pembebanan, maka data yang diperoleh untuk mengetahui nilai distribusi konstanta redaman dari masing-masing komponen *viscouse damping, friction damping, dan electrical damping* adalah sebagai berikut:

Tabel 4. 8 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA

Nilai Redaman Komponen HEMSA	Tanpa Pembebanan Listrik		
	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	1891	1669,6	1780,3
Viscous+Friction damping	2883,7	3131	3007,35
Friction damping	992,7	1461,4	1227,05
Electrical damping	2976,7	2661,4	2819,05
Total damping coefficient no load	5860,4	5792,4	5826,4

Dari table 4.8 di atas dapat kita lihat bahwa nilai pada C_{rebound} HEMSA lebih besar daripada nilai pada $C_{\text{compression}}$ yaitu sebesar 5860,4 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, *shock absorber* tersebut terkompresi sebesar 5792,4 Ns/m, kemudian meredam kembali seperti semula lebih besar sekitar 5860,4 Ns/m, sehingga penumpang hanya sedikit dapat merasakan guncangan dan nyaman dalam berkendara. Artinya, HEMSA dapat dikatakan baik untuk meredam kejutan akibat eksitasi impuls maupun periodik.



Gambar 4. 7 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA

Dari tabel 4.8 dan gambar 4.7 di atas, bahwa distribusi konstanta redaman komponen *hydraulic* (*viscous damping*) dari HEMSA sebesar 1780,3 Ns/m. Pada komponen generator (*electric damping*) dari HEMSA sebesar 2819,05 Ns/m. komponen *mechanic* (*friction damping*) sebesar 1227,05 Ns/m. Hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa kontribusi gaya redaman terbesar diberikan oleh komponen generator (*electrical damping*). Hal ini dipengaruhi oleh besar beban torsi electrical alternator serta pengaruh belt dan pulley yang terpasang pada generator.

4.2.2 Penentuan Konstanta Redaman HEMSA dengan Pembebanan Listrik

Pada pengujian dengan pembebanan Listrik, terdapat 3 variasi pembebanan listrik, yaitu : 3 buah lampu yang disusun secara paralel dimana masing-masing lampu telah diukur dan memiliki nilai hambatan (R) = 250 Ohm, sehingga nilai variasi pembebanannya adalah 83 Ohm, 125 Ohm, dan 250 Ohm.

4.2.2.1 Konstanta Redaman HEMSA pada saat Pembebanan 83 Ohm

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kontribusi nilai konstanta redaman HEMSA pada saat pembebanan 83 Ohm. Berikut adalah hasil pengujian gaya redaman kompresi dan *rebound*:

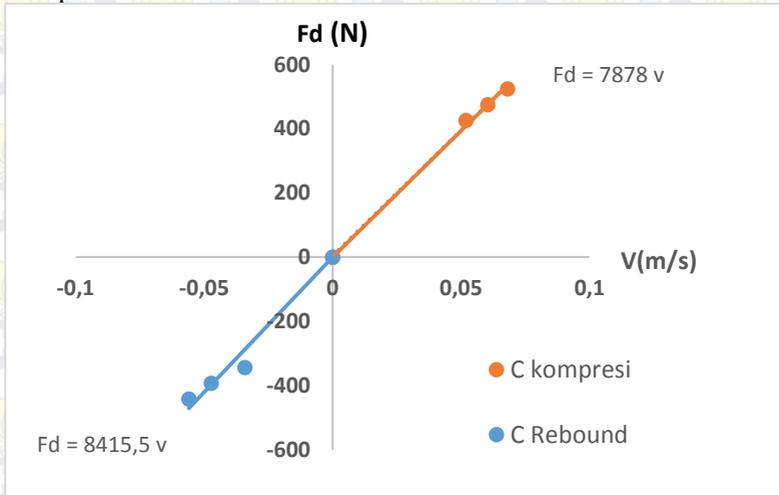
Tabel 4. 9 Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 83 Ohm (Compression)

UJI KONSTANTA REDAMA TOTAL + BEBAN 83 OHM (HEMSA)								
Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
15	43,45	426,245	1,93	0,1	0,05181	0,05193	8226,51885	8212,31
15	43,45	426,245	1,87	0,1	0,05348		7970,72215	
15	43,45	426,245	1,98	0,1	0,05051		8439,6411	
20	48,45	475,295	1,64	0,1	0,06098	0,06037	7794,8298	7874,05
20	48,45	475,295	1,65	0,1	0,06061		7842,35925	
20	48,45	475,295	1,68	0,1	0,05952		7984,9476	
25	53,45	524,345	1,47	0,1	0,06803	0,06818	7707,86415	7690,39
25	53,45	524,345	1,47	0,1	0,06803		7707,86415	
25	53,45	524,345	1,46	0,1	0,06849		7655,4297	
Rata-Rata								7925,58

Tabel 4. 10 Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 83 Ohm (Rebound)

UJI KONSTANTA REDAMA TOTAL + BEBAN 83 OHM (HEMSA)								
Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
35	35	-343,350	2,96	0,1	-0,03378	-0,03413	10163,16	10060,16
35	35	-343,350	2,9	0,1	-0,03448		9957,15	
35	35	-343,350	2,93	0,1	-0,03413		10060,16	
40	40	-392,400	2,15	0,1	-0,04651	-0,04726	8436,6	8305,80
40	40	-392,400	2,13	0,1	-0,04695		8358,12	
40	40	-392,400	2,07	0,1	-0,04831		8122,68	
45	45	-441,450	1,82	0,1	-0,05495	-0,05599	8034,39	7887,24
45	45	-441,450	1,8	0,1	-0,05556		7946,1	
45	45	-441,450	1,74	0,1	-0,05747		7681,23	
Rata-Rata								8751,07

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.9 dan 4.10 dituangkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan, untuk mengetahui distribusi linier dari konstanta redaman HEMSA pada saat pembebanan 83 Ohm.



Gambar 4. 8 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat pembebanan 83 Ohm

Pada gambar 4.8 bahwa pada saat kompresi nilai konstanta redaman adalah 7878 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 8415,5 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman *Hydraulic*, *Mechanic*, dan generator adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu **8146,75** Ns/m.

4.2.2.2 Konstanta Redaman HEMSA dengan pada saat pembebanan 125 Ohm

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kontribusi nilai konstanta redaman HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm. Berikut adalah hasil pengujian gaya redaman kompresi dan *rebound*:

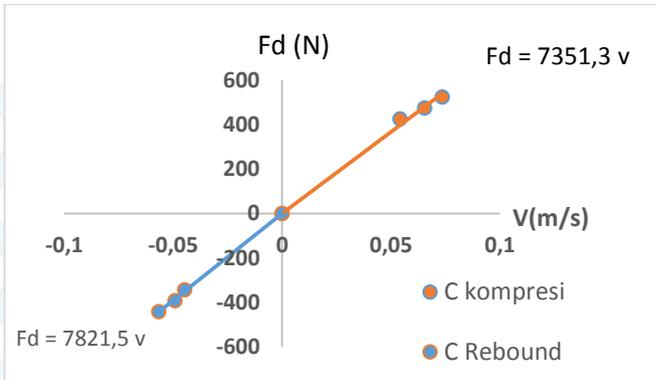
Tabel 4. 11 Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm (Compression)

UJI KONSTANTA REDAMA TOTAL + BEBAN 125 OHM (HEMSA)								
Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	43,45	426,245	1,87	0,1	0,05348	0,05406	7970,77215	7885,52
15	43,45	426,245	1,83	0,1	0,05464		7800,27435	
15	43,45	426,245	1,85	0,1	0,05405		7885,52325	
20	48,45	475,295	1,54	0,1	0,06494	0,06537	7319,5353	7272,01
20	48,45	475,295	1,5	0,1	0,06667		7129,4175	
20	48,45	475,295	1,55	0,1	0,06452		7367,06475	
25	53,45	524,345	1,32	0,1	0,07576	0,07357	6921,3474	7131,09
25	53,45	524,345	1,4	0,1	0,07143		7340,823	
25	53,45	524,345	1,36	0,1	0,07353		7131,0852	
Rata-Rata								7429,54

Tabel 4. 12 Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm (Rebound)

UJI KONSTANTA REDAMA TOTAL + BEBAN 125 OHM (HEMSA)								
Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	35	-343,350	2,16	0,1	-0,04630	-0,04471	7416,36	7702,49
35	35	-343,350	2,42	0,1	-0,04132		8309,07	
35	35	-343,350	2,15	0,1	-0,04651		7382,025	
40	40	-392,400	2,03	0,1	-0,04926	-0,04918	7965,72	7978,80
40	40	-392,400	2,05	0,1	-0,04878		8044,2	
40	40	-392,400	2,02	0,1	-0,04950		7926,48	
45	45	-441,450	1,71	0,1	-0,05848	-0,05666	7548,795	7798,95
45	45	-441,450	1,84	0,1	-0,05435		8122,68	
45	45	-441,450	1,75	0,1	-0,05714		7725,375	
Rata-Rata								7826,75

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.11 dan 4.12 dituangkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan, untuk mengetahui distribusi linier dari konstanta redaman HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm.



Gambar 4. 9 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm

Pada gambar 4.10 bahwa pada saat kompresi nilai konstanta redaman adalah 7351,3 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 7821,5 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu **7586,4** Ns/m.

4.2.2.3 Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 250 Ohm

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kontribusi nilai konstanta redaman HEMSA pada saat pembebanan 250 Ohm. Berikut adalah hasil pengujian gaya redaman kompresi dan *rebound*:

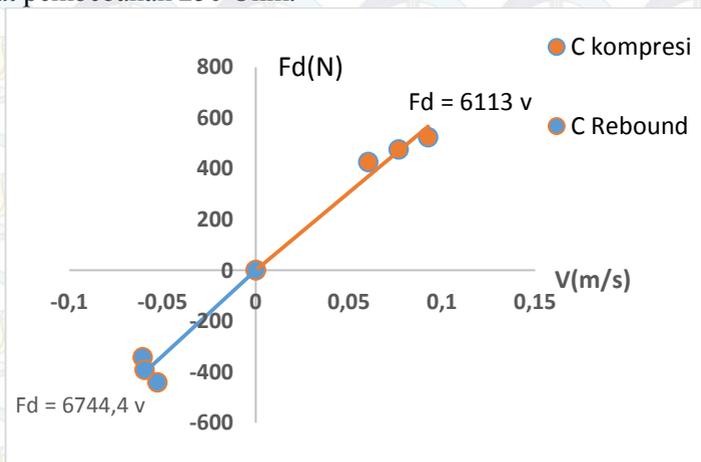
Tabel 4. 13 Konstanta Redaman HEMSA pada saat beban 250 Ohm (Compression)

UJI KONSTANTA REDAMA TOTAL + BEBAN 250 OHM (HEMSA)								
Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
15	43,45	426,245	1,71	0,1	0,05848	0,06052	7288,78095	7047,24
15	43,45	426,245	1,63	0,1	0,06135		6947,78535	
15	43,45	426,245	1,62	0,1	0,06173		6905,1609	
20	48,45	475,295	1,32	0,1	0,07576	0,07674	6273,8874	6194,67
20	48,45	475,295	1,31	0,1	0,07634		6226,35795	
20	48,45	475,295	1,28	0,1	0,07813		6083,7696	
25	53,45	524,345	1,1	0,1	0,09091	0,09263	5767,7895	5662,92
25	53,45	524,345	1,09	0,1	0,09174		5715,35505	
25	53,45	524,345	1,05	0,1	0,09524		5505,61725	
Rata-Rata								6301,61

Tabel 4. 14 Konstanta Redaman HEMSA pada saat beban 250 Ohm (Rebound)

UII KONSTANTA REDAMA TOTAL + BEBAN 250 OHM (HEMSA)								
Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
0	0	0	0	0	0	0	0	0
35	35	-343,350	1,7	0,1	-0,05882	-0,06064	5836,95	5665,28
35	35	-343,350	1,64	0,1	-0,06098		5630,94	
35	35	-343,350	1,61	0,1	-0,06211		5527,935	
40	40	-392,400	1,63	0,1	-0,06135	-0,05959	6396,12	6592,32
40	40	-392,400	1,76	0,1	-0,05682		6906,24	
40	40	-392,400	1,65	0,1	-0,06061		6474,6	
45	45	-441,450	1,85	0,1	-0,05405	-0,05266	8166,825	8387,55
45	45	-441,450	1,9	0,1	-0,05263		8387,55	
45	45	-441,450	1,95	0,1	-0,05128		8608,275	
Rata-Rata								6881,72

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.13 dan 4.14 dituangkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan, untuk mengetahui distribusi linier dari konstanta redaman HEMSA pada saat pembebanan 250 Ohm.



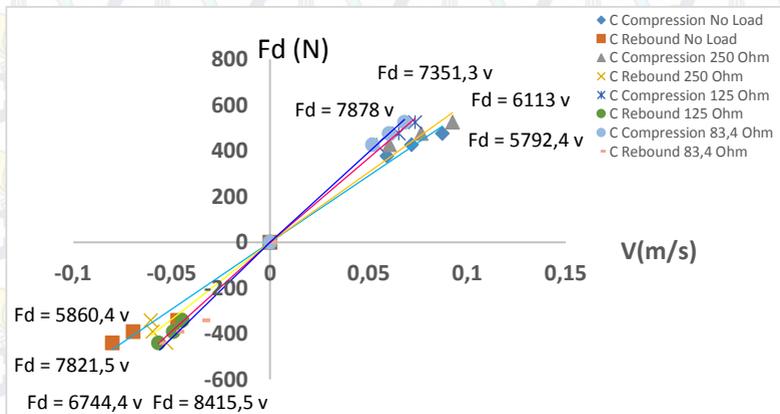
Gambar 4. 10 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat beban 250 Ohm

Pada gambar 4.10 bahwa pada saat kompresi nilai konstanta redaman adalah 6113 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 6744,4 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta

redaman HEMSA pada saat pembebanan 250 Ohm adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu **6428,7 Ns/m**.

4.2.2.4 Perbandingan Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 83, 125, dan 250 Ohm

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan distribusi linier dari konstanta redaman HEMSA pada saat pembebanan 82, 125, dan 250 Ohm. Berikut adalah hasil pengujian perbandingannya:

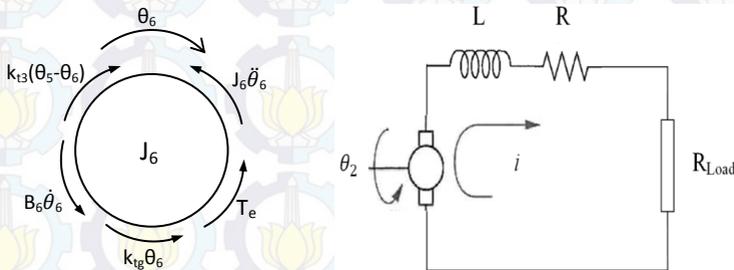


Gambar 4. 11 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada variasi pembebanan

Dari grafik gaya redaman (F_d) fungsi kecepatan (v) HEMSA pada variasi pembebanan (R) = No Load, 83, 125, dan 250 Ohm dapat kita lihat untuk kompresi dan rebound, gradien garisnya untuk No Load, 250, 125, dan 83 Ohm baik *compression* dan *rebound* semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai pembebanan maka semakin kecil gaya redaman (F_d) dari HEMSA.

Tabel 4. 15 Perbandingan Gaya Redaman Untuk Masing-Masing Pembebanan Listrik

Nilai Redaman Total	Koefisien Redaman (N.s/m)		
	Beban 83 ohm	Beban 125 ohm	Beban 250 ohm
Compression	7878	7351,3	6113
Rebound	8415,5	7821,5	6744,4



Gambar 4. 12 (a) FBD Generator DC (J6) dan (b) FBD sistem elektrik

Dari gambar 4.12 (b) di atas dibuat menjadi bentuk persamaan matematis untuk mendapatkan nilai arus listrik sebagai berikut:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + R_{Load}i = 2NBl a \dot{\theta}_6 = e(t)$$

Persamaan matematis yang menggantikan nilai Torsi Elektrik (T_e) pada generator adalah:

$$T_e = 2 \cdot N \cdot B \cdot l \cdot a \cdot i(t)$$

$$T_e = 2 \cdot N \cdot B \cdot l \cdot a \cdot \left(\frac{2NBl a \dot{\theta}_6 - Li}{R + R_{load}} \right)$$

$$T_e = F \cdot R$$

$$F_d = C \cdot v$$

$$\text{Jadi: } T_e = C \cdot v \cdot r$$

Dimana Torsi Elektrik (T_e) adalah torsi yang arahnya berlawanan dengan arah putaran generator sehingga akibat adanya torsi elektrik

ini menimbulkan beban atau gradien dari gaya redaman (F_d) semakin besar.

Dapat kita simpulkan berdasarkan grafik aktual dan teori kelistrikan pada generator dimana karena pengaruh dari variasi pembebanan untuk masing-masing nilai resistansi beban (R_{load}) yaitu $R_{load} = 83, 125, \text{ dan } 250 \text{ Ohm}$ berdasarkan rumusan dari Torsi elektrik (T_e) diatas bila nilai R besar maka T_e kecil, dan jika nilai R kecil, maka T_e besar. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin kecil nilai resistansi (R) maka semakin besar nilai torsi elektriknya, sehingga beban generator juga semakin besar. Oleh sebab itu nilai konstanta redaman (C) juga semakin besar seiring dengan naiknya torsi elektrik.

4.2.2.1 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA

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 4. 16 Nilai Konstanta Redaman HEMSA pada saat beban 83 Ohm

Nilai Redaman Komponen HEMSA	Beban 83 ohm		
	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	1891	1669,6	1780,3
Viscous+Friction damping	2883,7	3131	3007,35
Friction damping	992,7	1461,4	1227,05
Electrical damping	5531,8	4747	5139,4
Total damping coefficient 83 ohm	8415,5	7878	8146,75

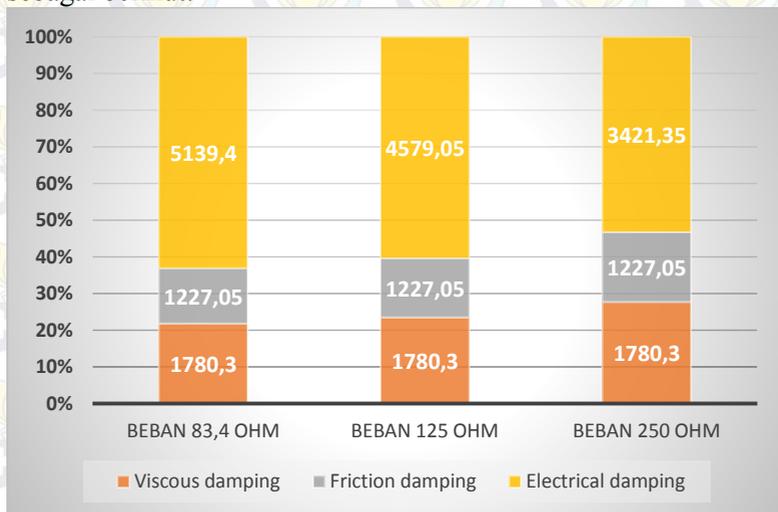
Tabel 4. 17 Nilai Konstanta Redaman HEMSA pada saat beban 125 Ohm

Nilai Redaman Komponen HEMSA	Beban 125 ohm		
	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	1891	1669,6	1780,3
Viscous+Friction damping	2883,7	3131	3007,35
Friction damping	992,7	1461,4	1227,05
Electrical damping	4937,8	4220,3	4579,05
Total damping coefficient 125 ohm	7821,5	7351,3	7586,4

Tabel 4. 18 Nilai Konstanta Redaman HEMSA pada saat beban 250 Ohm

Nilai Redaman Komponen HEMSA	Beban 250 ohm		
	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	1891	1669,6	1780,3
Viscous+Friction damping	2883,7	3131	3007,35
Friction damping	992,7	1461,4	1227,05
Electrical damping	3860,7	2982	3421,35
Total damping coefficient 250 ohm	6744,4	6113	6428,7

Kemudian dari nilai distribusi konstanta pembebanan untuk masing-masing pembebanan, maka dituangkan menjadi *bar chart* sebagai berikut:



Gambar 4. 13 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA pada variasi pembebanan

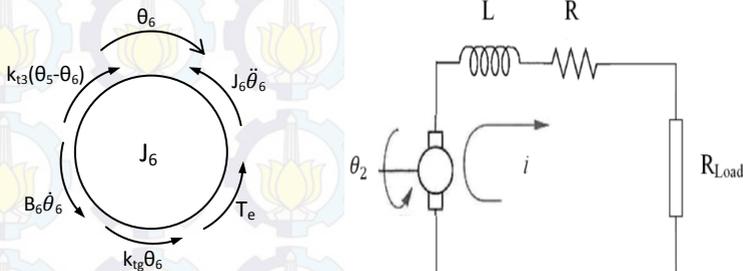
Dari bar chart HEMSA pada variasi pembebanan (R) = 83, 125, dan 250 Ohm dapat kita lihat untuk *viscouse damping* yaitu 1780,3 Ns/m dan *friction damping* yaitu 1227,05 Ns/m, tetapi untuk nilai *electrical damping* berbeda-beda, dapat kita lihat untuk R 83 Ohm = 5139,4 Ns/m, R 125 Ohm = 4579,05 Ns/m, R 250 Ohm

3421,35 Ns/m, hal ini berarti semakin bertambahnya beban, maka nilai distribusi konstanta redamannya (C) semakin kecil.

Tabel 4. 19 Perbandingan Gaya Redaman Untuk Masing-Masing Pembebanan Listrik

Nilai Redaman	Koefisien Redaman (N.s/m)		
	Beban 83 ohm	Beban 125 ohm	Beban 250 ohm
Viscous damping	2182,3	2182,3	2182,3
Friction damping	2436,15	2436,15	2436,15
Electrical damping	5139,4	7586,4	1227,05
Total damping	8146,75	7586,4	6428,7

Berdasarkan teori kelistrikan dimana komponen yang langsung berhubungan dengan beban listrik yaitu generator, dimana untuk Free Body Diagram dari generator listrik adalah sebagai berikut:



Gambar 4. 14 (a) FBD Generator DC (J_6) dan (b) FBD sistem elektrik

Dari gambar 4.14 (b) di atas dibuat menjadi bentuk persamaan matematis untuk mendapatkan nilai arus listrik sebagai berikut:

$$L \frac{di}{dt} + Ri + R_{Load}i = 2NBl a \dot{\theta}_6 = e(t)$$

Persamaan matematis yang menggantikan nilai Torsi Elektrik (T_e) pada generator adalah:

$$T_e = 2 \cdot N \cdot B \cdot l \cdot a \cdot i(t)$$

$$T_e = 2 \cdot N \cdot B \cdot l \cdot a \cdot \left(\frac{2NBla \dot{\theta}_6 - Li}{R + R_{load}} \right)$$

$$T_e = F \cdot r$$

$$F_d = C \cdot v$$

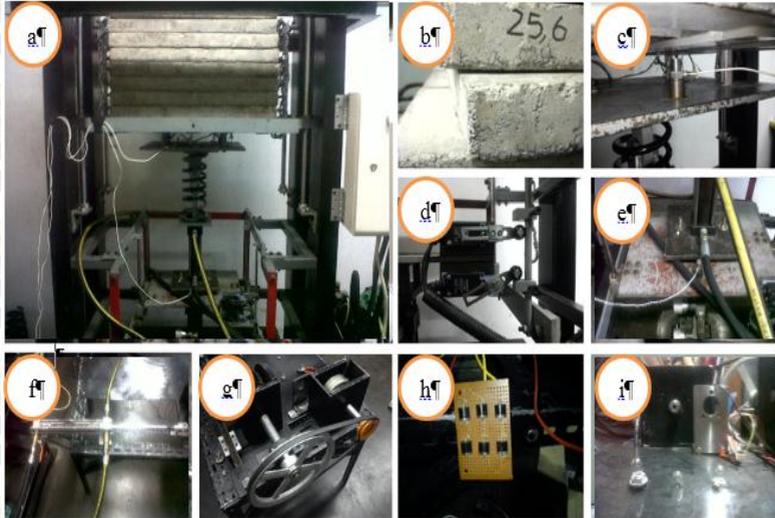
$$\text{Jadi: } T_e = C \cdot v$$

Dimana Torsi Elektrik (T_e) adalah torsi yang arahnya berlawanan dengan arah putaran generator sehingga akibat adanya torsi elektrik ini menimbulkan beban atau nilai konstanta redaman (C) sesuai dengan nilai pembebanan.

Dapat kita simpulkan berdasarkan grafik aktual dan teori kelistrikan pada generator dimana karena pengaruh dari variasi pembebanan untuk masing-masing nilai resistansi (R_{load}) yaitu $R = 83, 125, \text{ dan } 250 \text{ Ohm}$ berdasarkan rumusan dari Torsi elektrik (T_e) diatas bila nilai R_{load} besar maka T_e kecil, dan jika nilai R_{load} kecil, maka T_e besar. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin kecil nilai resistansi (R_{load}) maka semakin besar nilai torsi elektriknya (T_e), sehingga beban generator juga semakin besar. Oleh sebab itu nilai konstanta redaman (C) juga semakin besar seiring dengan berkurangnya beban Listriknya (R_{load}).

4.1 Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA

Pada tahap pengujian ini, pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui respon massa dan energi bangkitan HEMSA akibat eksitasi Impuls dan Periodik pada pembebanan 83, 125, dan 250 Ohm



- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| a. <i>Suspension test rig</i> | f. HEMSA (<i>viscous</i>) |
| b. Massa uji | g. HEMSA (<i>friction+electric</i>) |
| c. <i>Sprung mass+accelerometer</i> | h. Rangkaian penyearah |
| d. Limit switch Amplitudo | i. Lampu |
| e. <i>Base exciter</i> | |

Gambar 4. 15 Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA

Pada tahap ini, pengujian dilakukan di laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi Teknik Mesin ITS, tujuan dilakukan pengujian ini adalah untuk membandingkan performa dari HEMSA yaitu dengan membandingkan tingkat kenyamanan. Mekanisme yang digunakan adalah *suspension test rig* yaitu $\frac{1}{4}$ dari kendaraan mobil. Pada sistem kali ini beton digambarkan sebagai *sprung mass* yaitu massa pada kendaraan, yang besarnya 250kg,

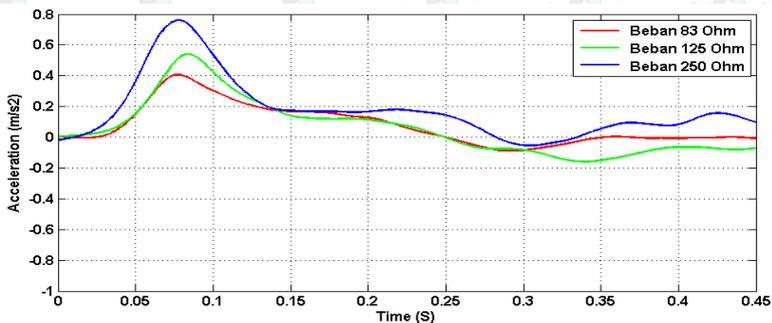
sedangkan pada *base plate* digunakan sebagai *base exciter*. Input pada pengujian respon massa berupa eksitasi impuls dan periodik dengan variasi frekuensi eksitasi yaitu 1,4 Hz, 1,7 Hz dan 2,2 Hz. Adapun peralatan yang digunakan pada saat pengambilam data ini ialah sebagai berikut:

1. Suspension test rig
2. Oscilloscope tektronik P 220 200 MHz 1X/10X
3. Accelerometer
4. Massa uji berupa beton (250 kg)
5. *Hydraulic Mechanic Electro Shock Absorber*
6. Pegas
7. Multimeter
8. Beban 83 Ohm, 125 Ohm, dan 250 Ohm.

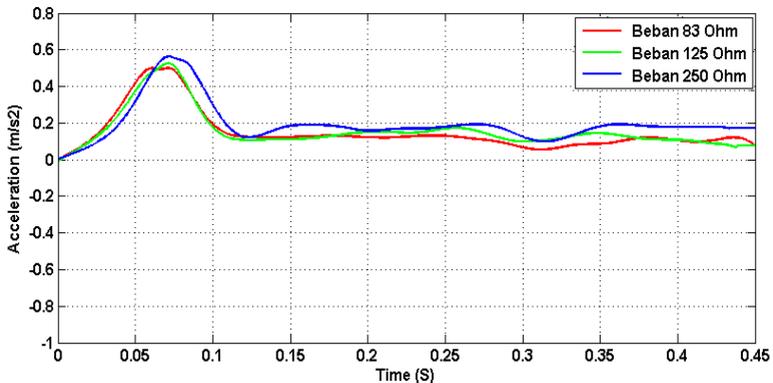
4.3.1 Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA akibat Eksitasi Impuls dan Periodik Pembebanan Listrik

4.3.2 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. Berikut adalah grafik respon massa hasil pengujian impuls:



Gambar 4. 16 Grafik respon *sprung mass* pengujian impuls



Gambar 4. 17 Grafik respon *base exciter* (sumber eksitasi).

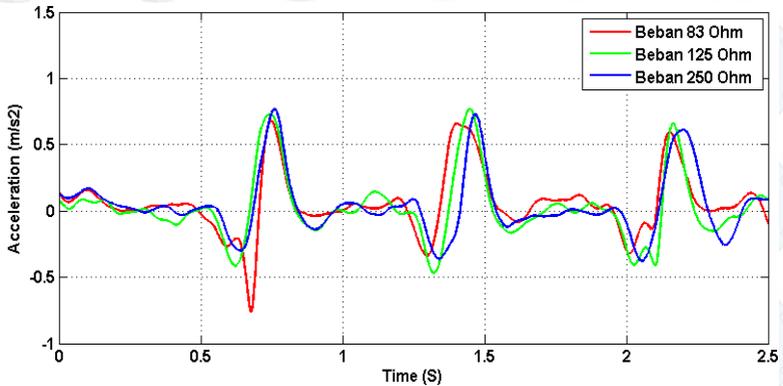
Dari hasil pengujian ini, pada gambar 4.16 di atas menunjukkan bahwa percepatan *peak* HEMSA pada saat pembebanan 250, 125, dan 83 Ohm berturut-turut sebesar: 0.74 m/s^2 , 0.52 m/s^2 , dan 0.39 m/s^2 . Dan damping ratio (ζ) HEMSA pada saat pembebanan 250, 125, dan 83 Ohm berturut-turut sebesar: 0,97; 1,14; dan 1,22.

HEMSA pada saat beban 83 Ohm memiliki nilai percepatan terendah dibandingkan dengan yang lain. Untuk beban 83 Ohm mengalami keadaan stabil pada 0,12s, kemudian pada beban 125 ohm mulai stabil pada 0,13s, sedangkan untuk beban 250 ohm mulai stabil pada 0,16s. 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.

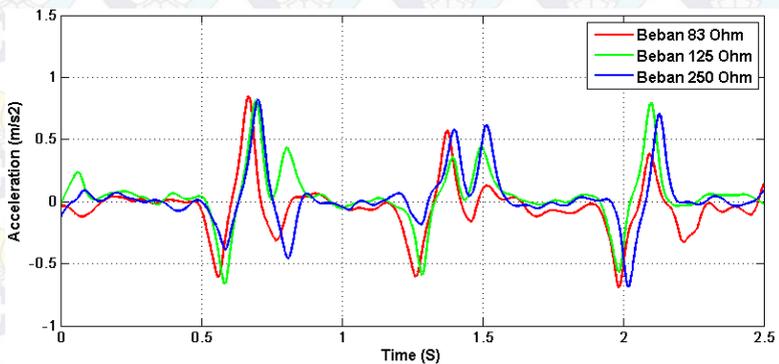
4.3.1.1 Eksitasi Periodik

a. Eksitasi Periodik Frekuensi 1,4Hz

Berikut adalah grafik *acceleration* fungsi waktu pada pengujian beban 83, 125, dan 250 Ohm dengan frekuensi eksitasi 1,4Hz :



Gambar 4. 18 Grafik respon *sprung mass* pengujian periodik frekuensi 1,4Hz



Gambar 4. 19 Grafik respon base exciter eksitasi pengujian periodik frekuensi 1,4Hz

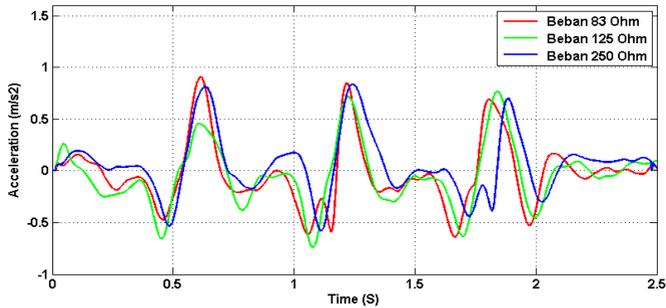
Dari hasil pengujian ini, pada gambar 4.18 di atas menunjukkan bahwa percepatan *rms* HEMSA pada saat pembebanan 250, 125, dan 83 Ohm berturut-turut sebesar: 0,41 m/s^2 , 0,431 m/s^2 , dan 0,674 m/s^2 . Rms pada *sprung mass* diatas diambil pada selang waktu 0 s/d 2,5 *second*.

Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai percepatan yang dihasilkan HEMSA pada saat beban 250 Ohm nilai percepatannya terendah dibandingkan pembebanan yang lain. Sedangkan, nilai rms percepatan tertinggi dihasilkan HEMSA pada saat pembebanan 83 Ohm. Berdasarkan standar ISO-2631 tentang kenyamanan penumpang bahwa, nilai percepatan terendah adalah baik karena nilai percepatan yang kecil dapat memperlama ketahanan penumpang dalam mengendarai kendaraan.

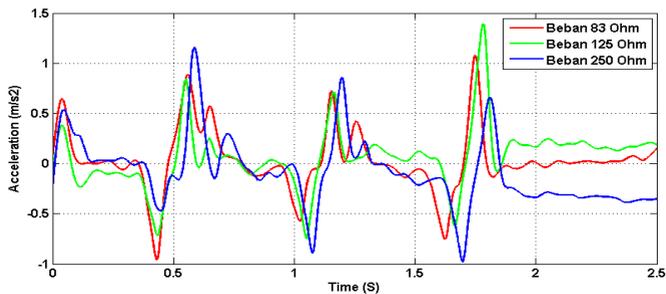
Ketidakstabilan osilasi pada getaran dari *base exciter* yang diberikan *hydraulic actuator suspension test rig* disebabkan karena adanya keterlambatan (*losses*, kelembaman), sehingga menghasilkan osilasi yang tidak stabil. Sedangkan respon percepatan getaran pada *sprung mass* lebih stabil dibandingkan dengan respon percepatan getaran dari *base exciter*, ini dikarenakan energi getaran yang diberikan pada *sprung mass* telah diserap oleh system suspensi yaitu HEMSA.

b. Periodik frekuensi 1,7 Hz

Berikut adalah grafik *acceleration* fungsi waktu pada pengujian beban 83, 125, dan 250 Ohm dengan frekuensi eksitasi 1,7Hz :



Gambar 4. 20 Grafik respon sprung mass eksitasi pengujian periodik frekuensi 1,7Hz



Gambar 4.21 Grafik respon base exciter eksitasi pengujian periodik frekuensi 1,7Hz

Dari hasil pengujian ini, pada gambar 4.20 di atas menunjukkan bahwa percepatan *rms* HEMSA pada saat pembebanan 250, 125, dan 83 Ohm berturut-turut sebesar: $0,474 \text{ m/s}^2$, $0,333 \text{ m/s}^2$, dan $0,641 \text{ m/s}^2$. Rms data *sprung mass* diatas diambil pada selang waktu 0 s/d 2,2 second, hal ini karena ada *noise* pada selang waktu 2,2 s/d 2,5 second

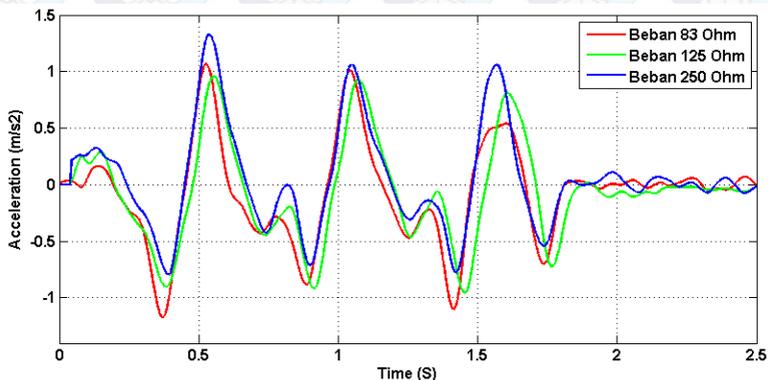
Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai rms percepatan yang dihasilkan HEMSA pada saat beban 125 Ohm

nilai percepatannya terendah dibandingkan pembebanan yang lain. Sedangkan, nilai rms percepatan tertinggi dihasilkan HEMSA pada saat pembebanan 83 Ohm. Berdasarkan standar ISO-2631 tentang kenyamanan penumpang bahwa, nilai percepatan terendah adalah baik karena nilai percepatan yang kecil dapat memperlama ketahanan penumpang dalam mengendarai kendaraan.

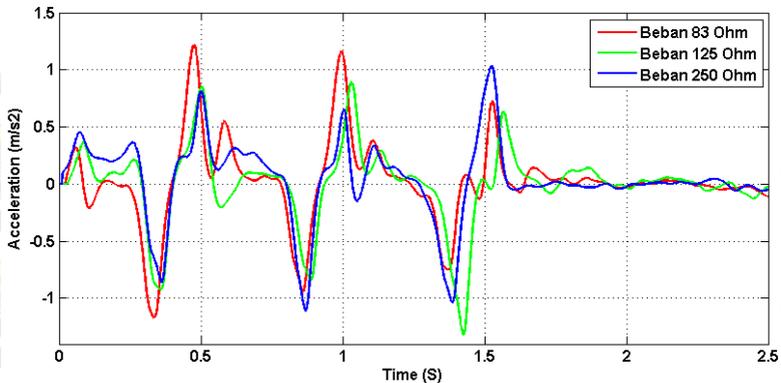
Ketidakstabilan osilasi pada getaran dari *base exciter* yang diberikan *hydraulic actuator suspension test rig* disebabkan karena adanya keterlambatan (*losses*, kelembaman), sehingga menghasilkan osilasi yang tidak stabil. Sedangkan respon percepatan getaran pada *sprung mass* lebih stabil dibandingkan dengan respon percepatan getaran dari *base exciter*, ini dikarenakan energi getaran yang diberikan pada *sprung mass* telah diserap oleh system suspensi yaitu HEMSA.

c. Periodik frekuensi 2,2 Hz

Berikut adalah grafik acceleration fungsi waktu pada pengujian beban 83, 125, dan 250 Ohm dengan frekuensi eksitasi 2,2 Hz :



Gambar 4. 22 Grafik respon sprung mass eksitasi pengujian periodik frekuensi 2,2 Hz



Gambar 4.23 Grafik respon base exciter eksitasi pengujian periodik frekuensi 2,2Hz

Dari hasil pengujian ini, pada gambar 4.22 di atas menunjukkan bahwa percepatan *rms* HEMSA pada saat pembebanan 250, 125, dan 83 Ohm berturut-turut sebesar: 0,633 m/s^2 , 0,579 m/s^2 , dan 0,610 m/s^2 . Rms pada *sprung mass* diatas diambil pada selang waktu 0 s/d 1,9 second, hal ini karena pada selang waktu 1,9 s/d 2,5 second terdapat noise

Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai percepatan yang dihasilkan HEMSA pada saat beban 125 Ohm nilai percepatannya terendah dibandingkan pembebanan yang lain. Sedangkan, nilai rms percepatan tertinggi dihasilkan HEMSA pada saat pembebanan 250 Ohm. Berdasarkan pada standar ISO kenyamanan penumpang bahwa nilai percepatan rendah ialah baik. Dari uraian tersebut maka HEMSA pada saat beban 125 Ohm paling baik segi kenyamanannya untuk frekuensi eksitasi 2,2 Hz.

Ketidakstabilan osilasi pada getaran dari *base exciter* yang diberikan *hydraulic actuator suspension test rig* disebabkan karena adanya keterlambatan (*losses*, kelembaman), sehingga menghasilkan osilasi yang tidak stabil. Sedangkan respon

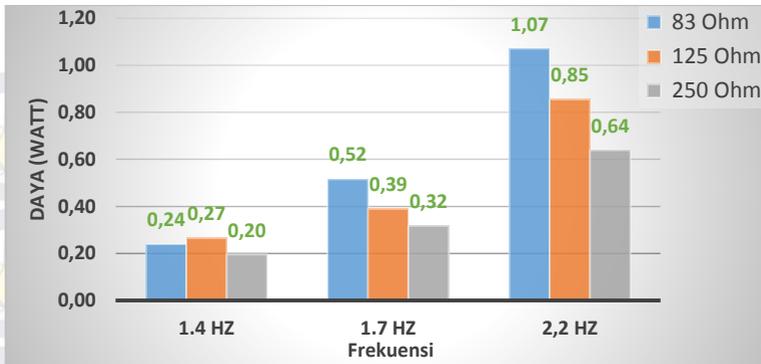
percepatan getaran pada *sprung mass* lebih stabil dibandingkan dengan respon percepatan getaran dari *base exciter*, ini dikarenakan energi getaran yang diberikan pada *sprung mass* telah diserap oleh system suspensi yaitu HEMSA.

4.3.3 Pengujian Energi Bangkitan HEMSA

Pengujian energi bangkitan pada HEMSA dilakukan pada eksitasi periodik dimana yang diukur adalah voltase dan arus listrik. Penggunaan beban listrik berupa 3 buah lampu yang disusun secara paralel dimana nilai masing-masing bohlam lampu adalah (250 Ohm), sehingga didapat nilai bebannya masing-masing 83, 125, dan 250 Ohm. Voltase diukur dengan *oscilloscope* dan Arus listrik diukur dengan AVO meter digital. Berikut adalah hasilnya:

Tabel 4. 20 Energi bangkitan eksitasi periodik

ENERGI BANGKITAN PERIODIK					
FREKUENSI EKSITASI (f)	BEBAN GENERATOR (Ohm)	RMS VOLTASE (V)	V 10x probe	ARUS (A)	DAYA (W)
1.4 Hz	83 Ohm	0,1	1	0,24	0,24
	125 Ohm	0,13266	1,3266	0,2	0,27
	250 Ohm	0,11489	1,1489	0,17	0,20
1.7 Hz	83 Ohm	0,17205	1,7205	0,3	0,52
	125 Ohm	0,1697	1,697	0,23	0,39
	250 Ohm	0,16733	1,6733	0,19	0,32
2,2 Hz	83 Ohm	0,15748	1,5748	0,68	1,07
	125 Ohm	0,17436	1,7436	0,49	0,85
	250 Ohm	0,22804	2,2804	0,28	0,64



Gambar 4. 24 Diagram batang energi bangkitan HEMSA eksitasi periodik 1,4Hz, 1,7Hz, 2,2Hz.

Dari diagram diatas energi bangkitan yang dihasilkan HEMSA untuk frekuensi 1,4Hz pada 83 ohm = 0,24 watt; 125 ohm= 0,27 watt; 250 ohm=0,20 watt; untuk frekuensi 1,7Hz pada 83 ohm = 0,52 watt; 125 ohm= 0,39 watt; 250 ohm=0,32 watt; untuk frekuensi 2,2Hz pada 83 ohm = 1,07 watt; 125 ohm= 0,85 watt; 250 ohm=0,64 watt.

Dari diagram batang diatas, dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai frekuensi eksitasi maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan. Untuk masing-masing variasi pembebanan khususnya pada frekuensi 1,7Hz dan 2,2 Hz, dapat kita lihat bahwa semakin besar nilai beban listrik (R), maka semakin kecil daya yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena dengan beban listrik yang semakin besar mempengaruhi nilai dari Torsi elektrik (T_e), dimana nilai torsi elektrik ini berlawanan dengan arah putaran generator yang sifatnya sebagai penghambat sehingga arus yang dihasilkan kecil. Oleh karena itu daya yang dihasilkan juga semakin kecil. tetapi pada frekuensi 1,4Hz dapat kita lihat khususnya pada pembebanan 83 Ohm, seharusnya nilai dayanya lebih tinggi dari pembebanan yang lain, hal ini berbeda dengan

teori karena kesalahan pembacaan data di alat ukur AVO meter yang digunakan untuk mengukur arus listrik.

Hubungan antara nilai konstanta redaman (C) dengan daya yang dihasilkan, dimana nilai konstanta redaman pada tabel 4. 19 perbandingan gaya redaman untuk masing-masing pembebanan listrik dimana nilai Rload yang paling kecil 83 Ohm nilai konstanta redamannya (C) paling besar yaitu 8146,5 Ns/m memiliki daya listrik yang paling besar, kemudian pada beban listrik 250 Ohm memiliki konstanta redaman (C) 6428,7 Ns/m memiliki daya terkecil. Jadi semakin tinggi nilai beban listrik (R), maka semakin kecil nilai konstanta redaman (C), dan semakin kecil daya listrik yang dihasilkan (P).

4.3.4 Performa *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber*

a. Efisiensi

Dengan pengujian periodik pada HEMSA, kita dapat membandingkan performa dari variasi pembebanan untuk masing-masing frekuensi dengan menghitung nilai efisiensi dari HEMSA *double port*, dengan membandingkan *power output* (Pi) terhadap *power input* (Po). *Power input* (Pi) merupakan energi yang timbul akibat dari gaya redaman dikalikan kecepatan relatif sistem suspensi. $P_i = \int Fd \, dz$, dimana Fd adalah gaya redaman, dan \dot{z} adalah kecepatan relatif antara *base exciter* dengan *sprung mass*.

Berikut adalah nilai efisiensi yang dihasilkan dari HEMSA untuk variasi pembebanan, pada masing-masing frekuensi:

Tabel 4. 21 Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban 83 Ohm

$\zeta = 1,22$ Beban 83 Ohm					
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)	η
1,4	8146,75	0,056	12,77	0,24	1,88
1,7	8146,75	0,068	18,84	0,52	2,74
2,2	8146,75	0,088	31,5	1,07	3,39

Tabel 4. 22 Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban 125 Ohm

$\zeta = 1,14$ Beban 125 Ohm					
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)	η
1,4	7586,4	0,056	11,90	0,27	2,23
1,7	7586,4	0,068	17,54	0,39	2,23
2,2	7586,4	0,088	29,4	0,85	2,91

Tabel 4. 23 Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban 250 Ohm

$\zeta = 0,97$ Beban 250 Ohm					
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)	η
1,4	6428,7	0,056	10,08	0,20	1,94
1,7	6428,7	0,068	14,86	0,32	2,14
2,2	6428,7	0,088	24,9	0,64	2,57

Untuk mendapatkan power input berikut contoh perhitungan, untuk beban 250 Ohm pada frekuensi eksitasi 1,4 Hz:

Diketahui: $c = 6428,7$ Ns/m

$f = 1,4$ Hz

$A = 2\text{cm} = 0,02\text{m}$

dari persamaan $P_i = \int F d \, dz$, bila diintegrasikan menjadi:

$$P_i = \int c \dot{z} \, dz \quad \text{dimana } Fd = c \dot{z}$$

$$P_i = c \int \dot{z} \, dz$$

Maka, persamaan menjadi:

$$P_i = \frac{1}{2} c \dot{z}^2 \quad \text{dimana } \dot{z} = 2 A f$$

$$P_i = \frac{1}{2} 6428,7 (2 \times 0,02 \times 1,4)^2$$

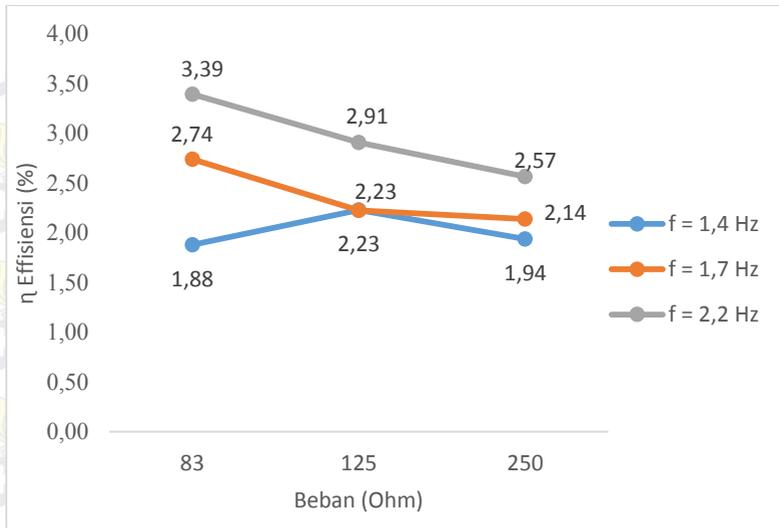
$$P_i = 10,08$$

Sehingga, $\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100\%$

$$\eta = \frac{0,2}{10,08} \times 100\%$$

$$\eta = 1,94 \%$$

Di bawah ini merupakan grafik efisiensi daya HEMSA hasil perhitungan dari berbagai pembebanan Listrik dan frekuensi eksitasi:



Gambar 4. 25 Grafik efisiensi performa HEMSA pembebanan listrik

Dari gambar 4.25 dapat kita lihat bahwa *trendline* efisiensi performa HEMSA untuk frekuensi 1,7Hz dan 2,2Hz cenderung turun akibat penambahan beban listrik dari 83, 125, dan 250 Ohm. Sedangkan untuk frekuensi 1,4Hz nilai effisiensinya berfluktuasi, tetapi nilai effisiensinya paling bawah jika dibandingkan dengan frekuensi 1,7Hz dan 2,2Hz, *trendline* yang fluktuatif ini disebabkan karena alat ukur yang digunakan kurang akurat, khususnya pada saat pengukuran $f=1,4\text{Hz}$ pada beban 83 Ohm. Disamping itu rendahnya efisiensi yang dihasilkan oleh HEMSA secara keseluruhan dikarenakan banyaknya kehilangan-kehilangan pada tiap-tiap komponen HEMSA. Misalnya pada dalam bentuk Losses, gesekan dan pembacaan alat ukur yang tidak akurat.

b. Transmissibility HEMSA

Dengan dilakukannya beberapa pengujian pada HEMSA yaitu pengujian eksitasi impuls dan periodik. Dapat kita bandingkan performa dari masing-masing alat tersebut dengan menggunakan grafik *force transmissibility* terhadap *ratio frekuensi*, data yang kita dapatkan dari hasil pengujian dituangkan kedalam grafik. Berikut berturut-turut data hasil pengujian yang dihasilkan oleh HEMSA:

Tabel 4. 24 Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat beban 83 Ohm

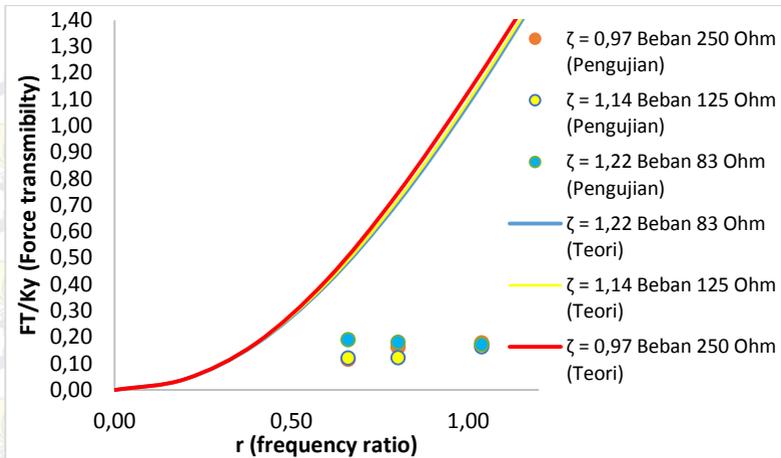
Frekuensi eksitasi	r	w	wn	FT/kY teoritis	FT/kY pengujian
1,4	0,66	8,80	13,32	0,60	0,19
1,7	0,80	10,69	13,32	0,98	0,18
2,2	1,04	13,83	13,32	1,84	0,17

Tabel 4. 25 Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat beban 125 Ohm

Frekuensi eksitasi	r	w	wn	FT/kY teoritis	FT/kY pengujian
1,4	0,66	8,80	13,32	0,58	0,12
1,7	0,80	10,69	13,32	0,96	0,12
2,2	1,04	12,57	13,32	1,80	0,16

Tabel 4. 26 Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat beban 250 Ohm

Frekuensi eksitasi	r	w	wn	FT/kY teoritis	FT/kY pengujian
1,4	0,66	8,80	13,32	0,56	0,12
1,7	0,80	10,69	13,32	0,92	0,16
2,2	1,04	12,57	13,32	1,70	0,18



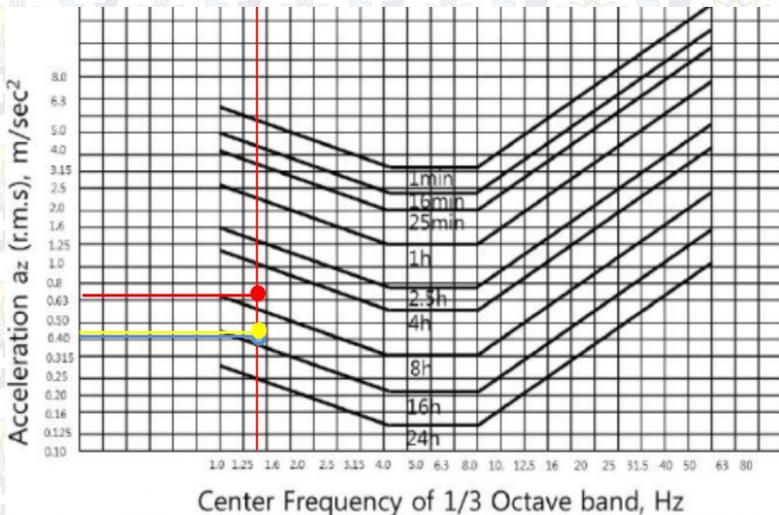
Gambar 4. 26 Grafik Force Transmissibility vs Freq. ratio
 $\zeta 0,97 \zeta 1,14 \zeta 1,22$

Pada gambar 4.26 grafik diatas menunjukkan hubungan antara *force transmissibility* (Ft) dengan *frequency ratio* (r). Dari 3 titik *Ratio frequency* (r) yaitu pada saat $r = 0,66$, $r = 0,8$ dan $r = 1,04$ kemudian dihubungkan dengan *forcetransmissibility* yang dicari dari data percobaan dan teoritis. 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 *fluktuatif* namun nilainya tidak begitu berubah besar. *Trendline* pada $\zeta = 1,22$ R 83 Ohm mengalami penurunan saat $r = 0,66$ menuju $r = 0,8$ kemudian turun kembali pada $r 1,04$. Lalu $\zeta = 1,14$ R 125 Ohm nilainya tetap saat $r = 0,66$ dan $r = 0,8$ kemudian naik pada $r 1,04$. Namun pada $\zeta = 0,97$ R 250 Ohm mengalami kenaikan saat $r = 0,66$ ke $r = 0,8$ dan mengalami kenaikan kembali pada saat titik $1,04$. Dari kondisi ketiga kondisi titik diatas cenderung berhimpit pada satu titik, karena memang garis teori berhimpit (bertemu pada satu titik) pada $r 0,66$ dan $0,88$ namun pada $1,04$ memang terjadi perbedaan secara teori maupun aktual.

Dari fenomena grafik hasil perhitungan Force Transmissibility, perhitungan percobaan dengan teori jauh dibawah daerah garis teori, Hal ini dikarenakan *plot* dari rumus grafik *force transmissibility* secara teori hanya untuk *viscouse damping*, sedangkan pada alat HEMSA terdapat *friction damping*, dan *electrical damping*.

4.3.5 Performa *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* Terhadap Standar Kenyamanan ISO-2631

4.3.4.1 Standar kenyamanan penumpang pada frekuensi 1,4Hz pada pembebanan listrik



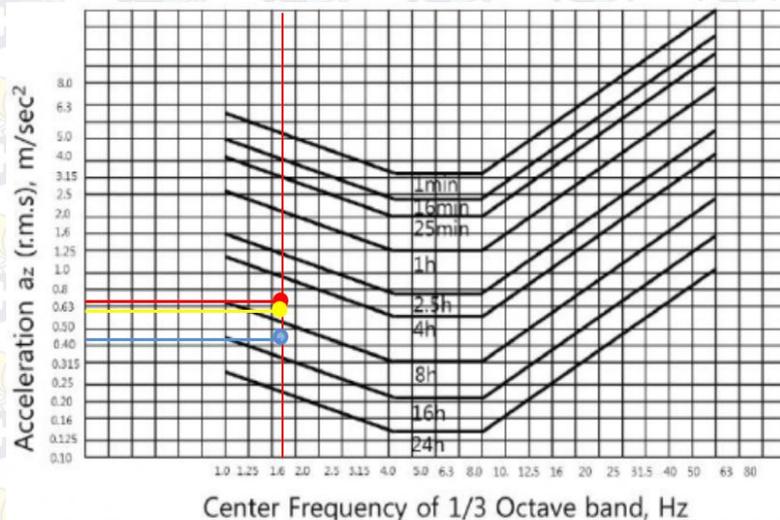
Gambar 4. 27 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,4 Hz. (merah) 83 Ohm, (biru) 125 Ohm, (kuning) 250 Ohm

Pada gambar 4.27, dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO-2631. Dimana pada frekuensi 1,4Hz nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 83 Ohm yaitu sebesar 0674 m/s^2 , untuk nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm yaitu sebesar $0,431 \text{ m/s}^2$, dan

untuk nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 250 Ohm yaitu sebesar $0,410 \text{ m/s}^2$.

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO 2631 menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik $1,4 \text{ Hz}$ di pada pembebanan 125 dan 250 Ohm, berada di range waktu 15 jam. Artinya, penumpang dapat menerima guncangan selama 15 jam untuk frekuensi eksitasi periodik sebesar $1,4 \text{ Hz}$. Sedangkan untuk pembebanan 83 Ohm penumpang dapat menerima guncangan selama 6 jam.

4.3.4.2 Standar kenyamanan penumpang pada frekuensi $1,7 \text{ Hz}$ pada pembebanan listrik

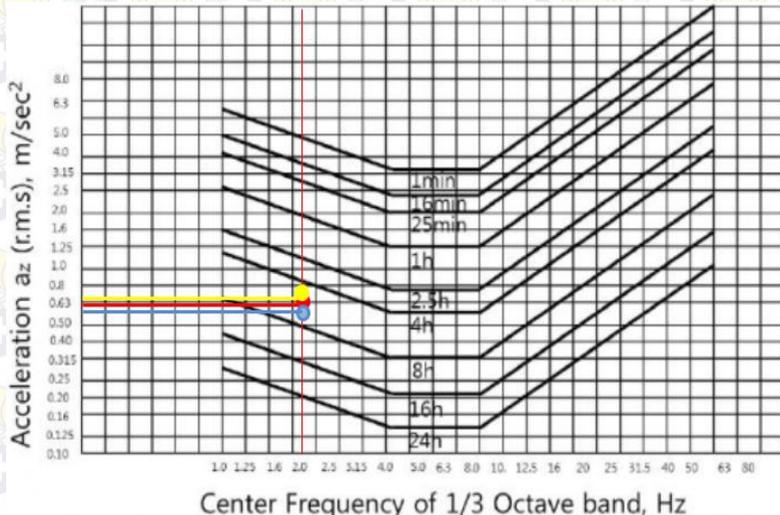


Gambar 4. 28 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik $1,7 \text{ Hz}$. (merah) 83 Ohm, (biru) 125 Ohm, (kuning) 250 Ohm

Pada gambar 4.28, dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO-2631. Dimana pada frekuensi 1,7 Hz nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 83 Ohm yaitu sebesar 0,641 m/s², untuk nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm yaitu sebesar 0,433 m/s², dan untuk nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 250 Ohm yaitu sebesar 0,574 m/s².

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO 2631 menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,7 Hz di pada pembebanan 83 Ohm berada di range waktu 5 jam, pembebanan 125 Ohm, berada di range waktu 10 jam, pembebanan 250 Ohm, berada di range waktu 7 jam.

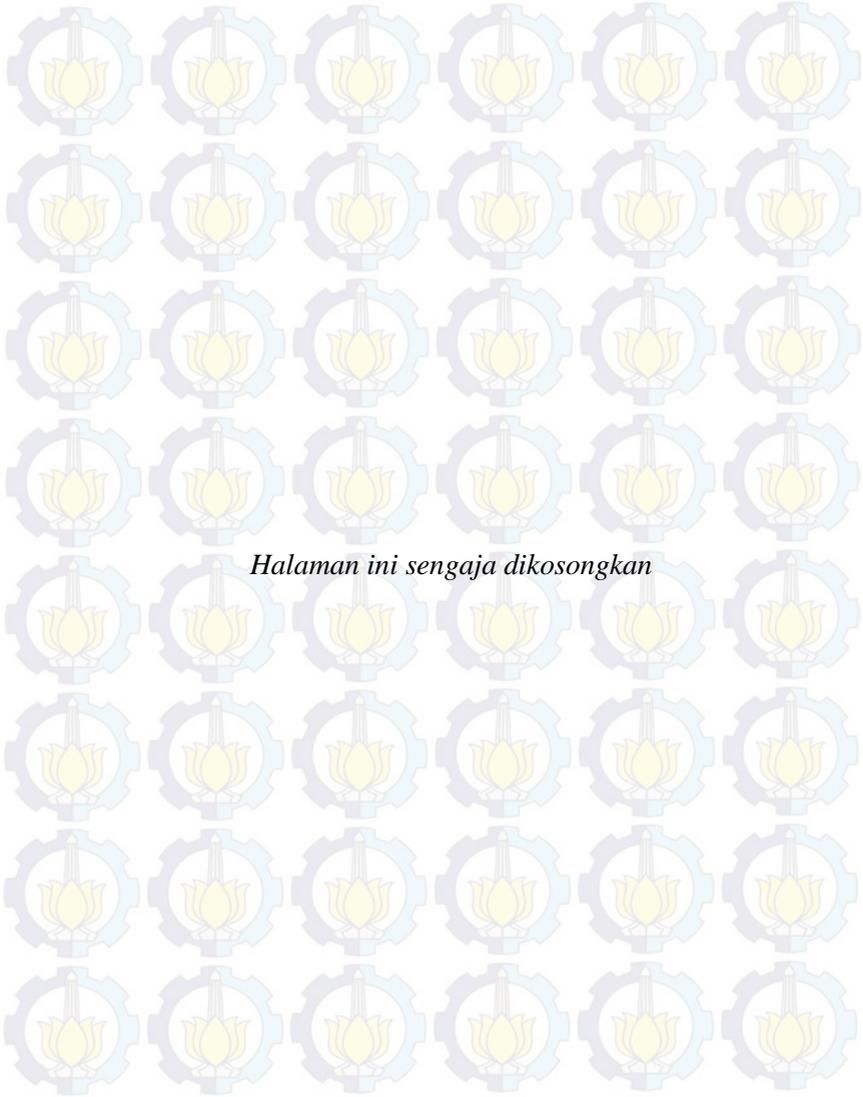
4.3.4.3 Standar kenyamanan penumpang pada frekuensi 2,2 Hz pada pembebanan listrik



Gambar 4. 29 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 2,2 Hz. (merah) 83 Ohm, (biru) 125 Ohm, (kuning) 250 Ohm

Pada gambar 4.29, dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO-2631. Dimana pada frekuensi 2,2 Hz nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 83 Ohm yaitu sebesar $0,610 \text{ m/s}^2$, untuk nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm yaitu sebesar $0,579 \text{ m/s}^2$, dan untuk nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 250 Ohm yaitu sebesar $0,633 \text{ m/s}^2$.

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO 2631 menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 2,2 Hz di pada pembebanan 83 ohm dapat bertahan dalam standar kelelahan pada 6 jam. Pada 125 Ohm berada di range waktu 7 jam. Artinya, penumpang dapat menerima guncangan selama 7 jam untuk frekuensi eksitasi periodik sebesar 2,2Hz. Sedangkan untuk pembebanan 250 Ohm penumpang dapat menerima guncangan selama 5 jam.



Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari hasil eksperimen pada *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai konstanta pegas dari hasil pengujian yang digunakan untuk HEMSA adalah sebesar 44357.5 N/m.
2. Nilai konstanta redaman HEMSA *double port* tanpa pembebanan sebesar 5826,4 Ns/m. Dengan nilai *compression* sebesar 5792,4 Ns/m dan *rebound* sebesar 5860,4 Ns/m. Ini berarti HEMSA *double port* dapat dikatakan baik untuk meredam kejut akibat eksitasi impuls dan periodik.
3. Nilai konstanta redaman HEMSA *double port* pembebanan listrik. Pada saat beban 83 Ohm sebesar 8146,75 N.s/m, Pada saat beban 125 Ohm sebesar 7586,4 Ns/m, Pada saat beban 250 Ohm sebesar 6428,7 Ns/m. Artinya, semakin semakin besar nilai pembebanannya maka nilai konstanta redamannya semakin kecil.
4. Pada pengujian Impuls, nilai percepatan *peak* HEMSA pada saat pembebanan 83, 125, dan 250 Ohm berturut-turut sebesar: 0.39 m/s², 0.52 m/s², dan 0.74 m/s².
5. Energi bangkitan yang dihasilkan HEMSA untuk frekuensi 1,4Hz pada 83 ohm = 0,24 watt; 125 ohm= 0,27 watt; 250 ohm=0,20 watt; untuk frekuensi 1,7Hz pada 83 ohm = 0,52 watt; 125 ohm= 0,39 watt; 250 ohm=0,32 watt; untuk frekuensi 2,2Hz pada 83 ohm = 1,07 watt; 125 ohm= 0,85 watt; 250 ohm=0,64 watt. Semakin besar nilai dari beban listriknya (R), maka daya yang dihasilkan semakin

kecil. Dan semakin besar frekuensinya maka daya yang dihasilkan semakin besar

6. Dari grafik kenyamanan penumpang standart ISO 2631, dari keseluruhan variasi pembebanan Listrik, penumpang mampu menerima guncangan dalam rentan waktu 5 jam s/d 15 jam
7. Nilai efisiensi HEMSA pada frekuensi 1,4Hz pada pembebanan 83, 125, dan 25 Ohm berturut-turut adalah 1,88%, 2,23%, dan 1,94%. Kemudian pada frekuensi 1,7Hz pada pembebanan 83, 125, dan 25 Ohm berturut-turut adalah 2,74%, 2,23%, dan 2,14%. Selanjutnya pada frekuensi 2,2Hz pada pembebanan 83, 125, dan 25 Ohm berturut-turut adalah 3,39%, 2,91%, dan 2,57%. Dapat disimpulkan bahwa efisiensi HEMSA tertinggi pada frekuensi 2,2Hz pada pembebanan 83 Ohm

5.1 Saran

Adapun saran-saran yang dapat diberikan sebagai acuan dalam penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

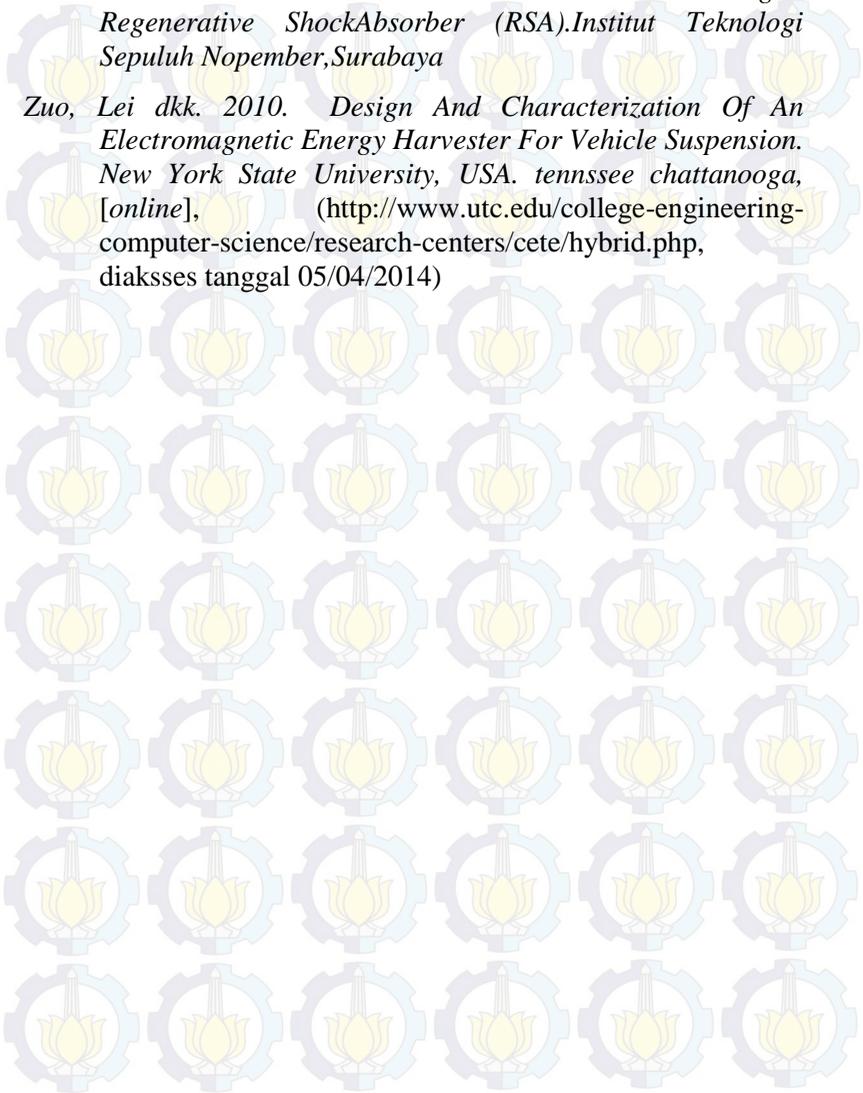
1. Untuk pengujian gaya redaman, seyogyanya melakukan pengadaan alat uji gaya redaman untuk mempermudah dan keakuratan data yang dihasilkan.
2. Perlu optimasi kinerja *Suspension test rig*. Terutama pada bagian linear guide untuk linear bearing, karena sering terjadi kerusakan bearing.
3. Perlu adanya sensor tambahan pada alat sensor *suspension tes rig* untuk mengetahui Amplitudo pada massa sprung dan unsprung.

Daftar Pustaka

- ..*"Hybrid Vehicle".university of tennssee chattanooga, [online], (<http://www.utc.edu/college-engineering-computer-science/research-centers/cete/hybrid.php>, diakses tanggal 05/04/2014)
- Anderson, Zack. "energy-harvesting shock absorbers". Massachusetts Institute of Technology, [online], (<http://web.mit.edu/newsoffice/2009/shock-absorbers-0209.html>, diakses tanggal 05/04/2014)
- Bart L.J. Gysen dkk. 2010. *Active Electromagnetic Suspension System for Improved Vehicle Dyamics*, Eindhoven University of Technology, Netherlands.
- Deanandya, 2014. *Pemodelan Dan Analisis Respon Dinamis Regenerative Shock Absorber (Rsa) Hidraulis Mekanis Elektromagnetik*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya
- ESDM (2012) Indonesia Energy Statistic http://psdg.bgl.esdm.go.id/kepmen_pp_uu/blueprint_PEN.pdf
- Laksana Guntur, Harus. 2013. *Development and Analysis of a Regenerative Shock Absorber for Vehicle Suspension*. JSME Journal of System Design and Dynamics.
- Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D dan Dr. Ir. Bambang Sampurno, MT., *Teknologi Otomotif Edisi Kedua*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia.
- S. Rao, Singiresu. 2004 *Mechanical Vibration*. Prentice Hall PTR. Singapore.

Sareza Hafis,ST. 2013. *Studi Eksperimental Perbandingan Karakteristik Antara Konvensional Shock Absorber Dengan Regenerative ShockAbsorber (RSA).*Institut Teknologi Sepuluh Nopember,Surabaya

Zuo, Lei dkk. 2010. *Design And Characterization Of An Electromagnetic Energy Harvester For Vehicle Suspension.* New York State University, USA. tennssee chattanooga, [online], (<http://www.utc.edu/college-engineering-computer-science/research-centers/cete/hybrid.php>, diakses tanggal 05/04/2014)



RIWAYAT HIDUP



Penulis, Adityo Putranto dilahirkan di Bloro, 05 Desember 1989. Merupakan anak pertama dari dua bersaudara, dari pasangan Suratno dan Murniningsih.

Memulai pendidikan dasar di SD N 1 Tempelan, Bloro, Jawa Tengah dan lulus pada tahun 2002, kemudian melanjutkan studinya ke SMP N 1 Bloro lulus pada tahun 2005. Kemudian kembali melanjutkan ke SMA N 1 Bloro dan lulus pada tahun 2008. Setelah menamatkan SMA, penulis melanjutkan studi ke Universitas Diponegoro Semarang pada jurusan Diploma III Teknik Mesin UNDIP dan lulus pada tahun 2011, selanjutnya penulis meneruskan studi sarjana di Teknik Mesin ITS, kemudian fokus pada bidang studi DESAIN. Pada bulan Juli 2014 Penulis mengikuti seminar dan Ujian Tugas Akhir Mesin dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Jika ada informasi, pertanyaan maupun saran yang ingin disampaikan kepada Penulis, silakan menyampaikan melalui email dito@indonesianengineer.org, dito_zero2@yahoo.com, atau HP (+62) 85641998741