



TUGAS AKHIR - TM091486

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK SUSPENSI DAN ENERGI
BANGKITAN PADA HEMSA (*HYDRAULIC ELECTRO MECHANIC
SHOCK ABSORBER*) SELANG GANDA RASIO DIAMETER SILINDER
40mm : 40mm DENGAN VARIASI PEMBEBANAN LAMPU**

ILHAM ARDIANSYAH PUTRA
NRP. 2111 106 030

Dosen Pembimbing
Dr. Eng Harus Laksana Guntur ST,M.Eng

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



FINAL PROJECT - TM091486

**STUDY EXPERIMENT OF SUSPENSION CHARACTERISTIC AND
GENERATED ENERGY OF HEMSA (HYDRAULIC
ELECTROMECHANIC SHOCK ABSORBER) DOUBLE PORT
CYLINDER RATIO 40mm:40mm WITH VARIATIONS IN
ELECTRICAL LOAD**

**ILHAM ARDIANSYAH PUTRA
NRP. 2111106030**

**Supervisors:
Dr.Eng Harus Laksana Guntur ST,M.Eng**

**DEPARTEMEN OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty Technology Industry
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya 2014**

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK SUSPENSI
DAN ENERGI BANGKITAN PADA HEMSA
(HYDRAULIC ELECTRO MECHANIC SHOCK
ABSORBER) SELANG GANDA RASIO DIAMETER
SILINDER 40 mm:40 mm DENGAN VARIASI
PEMBEBANAN LAMPU**

Nama Mahasiswa : Ilham Ardiansyah Putra
NRP : 2111106030
Jurusan : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Eng Harus Laksana Guntur S.T. M.Eng

ABSTRAK

Kebutuhan energi listrik pada kendaraan roda empat sangat tinggi untuk mendukung peralatan elektronika dan mekatronika yang ada pada kendaraan. Menurut penelitian *Center for Energy, Transportation, and the Environment (CETE)* kendaraan bermotor hanya menyalurkan 10-16% dari tenaga bahan bakar yang digunakan. Salah satu cara meningkatkan efisiensi bahan bakar tersebut adalah dengan memanfaatkan energi yang terbuang, salah satunya adalah dengan memanfaatkan energi yang terdisipasi pada suspensi melalui konsep *Regenerative Shock Absorber (RSA)*, dalam penelitian ini alat disebut HEMSA. Pada tugas akhir ini, dilakukan studi eksperimen karakteristik redaman dan energi bangkitan dari model RSA akibat eksitasi impuls dan harmonik (sinusoidal) pada tingkat frekuensi dan amplitudo yang ditentukan. Pengukuran dan perhitungan dari energi bangkitan dilakukan dengan menggunakan *Suspension Test Rig* milik Lab. Jurusan Mesin ITS. Mekanisme yang akan digunakan adalah dengan memasang HEMSA (*Hydraulic Electro Mechanic*

shock absorber) ini pada alat tersebut yang kemudian diberikan massa uji yang bervariasi. Pada penelitian tugas akhir ini didapatkan nilai redaman dari HEMSA, dimana besarnya beban hambatan generator berpengaruh terhadap nilai electrical damping, dengan bertambahnya nilai hambatan beban generator maka nilai electrical damping HEMSA semakin bertambah, sehingga berpengaruh terhadap nilai redaman total dari HEMSA. Energi bangkitan yang dihasilkan dari HEMSA pada saat kecepatan eksitasi 1,4 Hz sampai 2 Hz cenderung mengalami kenaikan pada masing-masing pembebanan generator dan memiliki efisiensi berkisar antara 1,9 % - 13,4 %. Sedangkan dari hasil pengujian dinamis respon sprung mass dapat diketahui standar ISO 2631 kenyamanan penumpang dalam menerima getaran yang paling lama pada frekuensi 1.4 Hz adalah saat R 125 Ohm yaitu selama 6 Jam, 1.7 Hz saat R 250 Ohm yaitu selama 5 Jam dan 2 Hz saat R 83 Ohm selama 4,5 Jam.

Kata kunci ; Regenerative shock absorber, VERS, Hydraulic, Karakteristik redaman, Pengujian eksperimen.

**STUDY EXPERIMENT OF SUSPENSION
CHARACTERISTIC AND GENERATED ENERGY OF
HEMSA (HYDRAULIC ELECTROMECHANIC SHOCK
ABSORBER) DOUBLE PORT CYLINDER RATIO
40mm:40mm WITH VARIATIONS IN ELECTRICAL
LOAD**

Name : Ilham Ardiansyah Putra
NRP : 2111106030
Major : Teknik Mesin FTI-ITS
Lecturer : Dr.Eng., Harus Laksana Guntur S.T.,
M.Eng

ABSTRACT

According to research by the Center for Energy, Transportation, and the Environment (CETE), motor vehicle only distribute 10-16% of the fuel energy is used. The solutions to improve the fuel efficiency is to utilize wasted energy, one of which is to utilize the energy dissipated in the suspension through the concept of Regenerative Shock Absorber (RSA), in that's case study is called HEMSA. In this final project, is to study of experiments damping characteristics and generated energy of HEMSA models due to impulse excitation and harmonic (sinusoidal) on the frequency and amplitude levels are determined. Measurements and calculations of energy generation is done by using a Suspension Test Rig in Lab. ITS Mechanical Engineering Dept. The mechanism that will be used is to install HEMSA (Electro Mechanic Hydraulic shock absorber) is the experimented tool which is then given a test mass is varied. In this research, attenuation values obtained of HEMSA, where the magnitude of the load generator barriers affect the value of electrical damping, with increase of value of

load resistance (resistor) can depend value of HEMSA increasing electrical damping, so that affects the total values damping of HEMSA. The result generated energy from HEMSA upon excitation rate 1.4 Hz to 2 Hz tends to increase at each load generator and have efficiency ranging from 1.9% - 13.4%. Dynamic response of the sprung mass testing to ISO 2631 standard known passenger comfort in receiving the longest vibration at a frequency of 1.4 Hz when R is 125 Ohm is for 6 Hours, 1.7 Hz when R is 250 Ohm for 5 Hours and 2 Hz when R 83 Ohm for 4.5 Hours.

**STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK SUSPENSI
DAN ENERGI BANGKITAN PADA HEMSA
(HYDRAULIC ELECTRO MECHANIC SHOCK
ABSORBER) SELANG GANDA RASIO DIAMETER
SILINDER 40 mm:40 mm DENGAN VARIASI
PEMBEBANAN LAMPU**

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

ILHAM ARDIANSYAH PUTRA
NRP. 2111 106 030

Disetujui Oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng
NIP. 197505111990031001
2. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T
NIP. 197004171997032003
3. Dr.Eng. Unggul Wasiwitono, S.T., M.Eng.Sc
NIP. 197805102001121001
4. Yohanes, S.T., M.Sc
NIP. 198006272012121003

.....
(Pembimbing I)

.....
(Penguji I)

.....
(Penguji II)

.....
(Penguji III)

**SURABAYA,
JULI 2014**

KATA PENGANTAR

Dengan menyebut nama Allah SWT yang Maha Pengasih lagi Maha Panyayang, dengan puja dan puji syukur atas kehadirat-Nya, yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan inayah-Nya. Sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini dengan baik dan sesuai dengan apa yang diharapkan. Penulisan laporan tugas akhir ini dimaksudkan sebagai syarat kelulusan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik bidang studi desain jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan laporan tugas akhir ini telah banyak pihak yang membantu. Oleh karena itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

- Allah SWT dan Rosulnya Nabi Muhammad SAW
- Kedua orang tua Munawir S.Pd.I. dan Muhayarah S.E. serta saudara kandungku tersayang Feri Andriarini S.H.I dan Nur Zakiyah Oktaviana, yang telah memberikan kasih sayang serta selalu mendoakan, menyemangati dan memberi dukungan baik moril maupun materiil kepada penulis yang tak ternilai harganya.
- Bapak Dr.Eng Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberi arahan dan petunjuk dalam penyusunan tugas akhir.
- Bapak Sarosa selaku Instruktur Laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi yang telah membantu dan memberikan arahan dalam penggunaan fasilitas laboratorium.
- Bapak Dr.Eng. Unggul Wasiwitono, S.T., M.Eng.Sc, Bapak Yohanes, S.T., M.Sc dan Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati ST.MT selaku dosen penguji.
- Segenap dosen dan staff Teknik Mesin ITS yang telah memberikan bekal ilmu di masa perkuliahan.

- Teman-teman tim tugas akhir “HEMSA”, yang telah berjuang bersama dalam menyelesaikan tugas akhir.
- Seluruh teman seperjuangan Teknik Mesin Lintas Jalur..
- Dan pihak-pihak lain yang telah membantu dan tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa dalam penulisan laporan ini masih jauh dari sempurna, oleh karena itu penulis dengan sangat terbuka menerima saran dan kritik yang konstruktif dari para pembaca guna meningkatkan kualitas laporan ini dan pengembangan penelitian selanjutnya dan semoga tugas akhir ini bermanfaat.

Surabaya, Juli 2014

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	ix
KATA PENGANTAR	xi
DAFTAR ISI	xiii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR TABEL	xxiii
BAB I	
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan Penelitian	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II	6
TINJAUAN PUSTAKA	6

2.1	Tinjauan Terdahulu	6
2.1.1	The Power-Generating Shock Absorber (PGSA) oleh Ronald B. Goldner (Lexington, MA), Peter Zerigian (Arlington, MA)	6
2.1.2	Regenerative Shock Absorber Massachusetts Insititute of Technology	7
2.1.3	Regenerative Shock Absorber oleh Prof.Lei Zuo dkk	7
2.1.4	Elektromagnetic suspension oleh Bart L.J.Gysen	10
2.1.5	Perkembangan Regenerative Shock Absorber oleh Mahasiswa ITS	11
2.1.6	Hydraulic Electromagnetic Shock Absorber (HESA)	14
2.2	Mekanika Getaran	16
2.2.1	Pengertian Getaran	16
2.2.2	Getaran Bebas	16
2.2.3	Getaran Paksa	17
2.2.4	Getaran Harmonik	17
2.2.5	Sistem Derajat Kebebasan (Degree of freedom)	20
2.2.6	Logarithmict decrement	21
2.2.7	Konstanta Redaman	23
2.2.8	Motion Base	24
2.2.9	Standar Kenyamanan Penumpang ISO 2631	27
2.2.10	Mekanisme Pada HEMSA	29

2.3	Motor Generator	33
4.4.1	Alternator sebagai generator	33
4.4.2	Prinsip kerja motor generator	34
BAB III		39
METODOLOGI PENELITIAN		39
3.1	Diagram Alir Tugas akhir	39
3.1.1	Studi literatur	41
3.1.2	Survei Alat Uji	41
3.2	Pengujian Statis Alat Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber	41
3.2.1	Pengujian nilai redaman	41
3.2.2	Penentuan koefisien spring(pegas)	48
3.2.3	Pengujian Karakteristik Suspensi dengan HEMSA	50
3.2.3.1.	Pengujian dengan Eksitasi Impuls	51
3.2.3.2.	Pengujian dengan Eksitasi harmonik	53
3.2	Peralatan Yang Digunakan	55
3.3.1	HEMSA(sebagai regenerative shock absorber)	55
3.3.2	Suspension Test Rig	56
3.3.3	Oscilloscope	57

3.3.4	Jangka sorong	58
3.3.5	Akselerometer	58
3.3.6	Stopwatch	59
3.3	Rencana Kegiatan Penelitian	60

BAB IV

	HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA	61
4.1	Penentuan konstanta pegas	61
4.1.1	Metode pengujian	61
4.1.2	Hasil pengujian nilai K (konstanta pegas)	63
4.2	Perhitungan nilai koefisien redaman	66
4.2.1	Metode pengujian statis	66
4.2.2	Pengujian nilai redaman HEMSA tanpa pembebanan listrik	67
4.2.1.1.	Hasil dan Data nilai redaman total tanpa beban	67
4.2.1.2.	Hasil dan data nilai redaman Hydraulic (Viscous damping)	73
4.2.1.3.	Hasil dan data nilai redaman Viscous dan Mechanic (hydraulic Mechanical damping)	77
4.2.3	Pengujian nilai redaman dengan pembebanan lampu	81
4.2.2.1.	Pengujian nilai redaman HEMSA dengan pembebanan lampu 10 watt (250 ohm)	81

4.2.2.2. Pengujian nilai redaman HEMSA dengan pembebanan lampu 20 watt (125 ohm)	85
4.2.2.3. Pengujian nilai redaman HEMSA dengan pembebanan lampu 3x10 watt (83 Ohm)	89
4.2.2.4. Hasil dan data distribusi nilai redaman komponen HEMSA saat pembebanan generator 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm	94
4.3 Pengujian dinamis mekanisme suspensi kendaraan	100
4.3.1 Metode Pengujian dinamis	100
4.3.2 Eksitasi impuls	102
4.3.3 Pengujian Eksitasi Periodik	103
4.3.3.1. Frekuensi eksitasi 1.4 Hz massa 250 kg	103
4.3.3.2. Frekuensi eksitasi 1,7 Hz massa 250 kg	105
4.3.3.3. Frekuensi eksitasi 2 Hz massa 250 kg	106
4.3.4 Energi Bangkitan dari HEMSA	108
4.3.5 Pengujian Performa Mekanisme Suspensi HEMSA	113
BAB V	
PENUTUP	119
5.1 Kesimpulan	119
5.2 Saran	120
DAFTAR PUSTAKA	xxv

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 4. 1 Pengujian Konstanta Pegas	63
Tabel 4. 2 Data hasil pengujian nilai redaman kompresi total tanpa pembebanan	69
Tabel 4. 3 Data hasil pengujian nilai redaman rebound total tanpa pembebanan	69
Tabel 4. 4 Perhitungan nilai redaman kompresi total tanpa pembebanan (massa 28.45 kg)	70
Tabel 4. 5 Perhitungan nilai redaman kompresi total tanpa pembebanan (massa 33.45 kg)	70
Tabel 4. 6 Perhitungan nilai redaman kompresi total tanpa pembebanan (massa 38.45 kg)	70
Tabel 4. 7 Perhitungan nilai redaman Rebound total tanpa pembebanan (massa 30 kg)	71
Tabel 4. 8 Perhitungan nilai redaman Rebound total tanpa pembebanan (massa 35 kg)	71
Tabel 4. 9 Perhitungan nilai redaman Rebound total tanpa pembebanan (massa 40 kg)	71
Tabel 4. 10 Data hasil pengujian nilai redaman kompresi viscous	73
Tabel 4. 11 Perhitungan nilai redaman kompresi viscous (massa 28.45 kg)	74
Tabel 4. 12 Perhitungan nilai redaman kompresi viscous (massa 33.45 kg)	74
Tabel 4. 13 Perhitungan nilai redaman kompresi viscous (massa 38.45 kg)	74
Tabel 4. 14 Data hasil pengujian nilai redaman rebound viscous	75
Tabel 4. 15 Perhitungan nilai redaman rebound massa 30 kg	75
Tabel 4. 16 Perhitungan nilai redaman rebound massa 35 kg	75
Tabel 4. 17 Perhitungan nilai redaman rebound massa 40 kg	76
Tabel 4. 18 Data hasil pengujian nilai redaman kompresi viscous dan mechanic	77

Tabel 4. 19 Perhitungan nilai redaman kompresi viscous dan mechanic (massa 28.45 kg)	78
Tabel 4. 20 Perhitungan nilai redaman kompresi viscous dan mechanic (massa 33.45 kg)	78
Tabel 4. 21 Perhitungan nilai redaman kompresi viscous dan mechanic (massa 38.45 kg)	78
Tabel 4. 22 Data hasil pengujian nilai redaman rebound viscous dan mechanic	79
Tabel 4. 23 Perhitungan nilai redaman rebound viscous dan mechanic (massa 30 kg)	79
Tabel 4. 24 Perhitungan nilai redaman rebound viscous dan mechanic (massa 35 kg)	79
Tabel 4. 25 Perhitungan nilai redaman rebound viscous dan mechanic (massa 40 kg)	80
Tabel 4. 26 Data hasil pengujian nilai redaman kompresi 250 ohm	81
Tabel 4. 27 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 30 kg 250 ohm	82
Tabel 4. 28 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 35 kg 250 ohm	82
Tabel 4. 29 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 40 kg 250 ohm	82
Tabel 4. 30 Data hasil pengujian nilai redaman rebound 250 ohm	83
Tabel 4. 31 Perhitungan nilai redaman rebound massa 30 kg 250 ohm	83
Tabel 4. 32 Perhitungan nilai redaman rebound massa 35 kg 250 ohm	84
Tabel 4. 33 Perhitungan nilai redaman rebound massa 40 kg 250 ohm	84
Tabel 4. 34 Data hasil pengujian nilai redaman kompresi 125 Ohm	85
Tabel 4. 35 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 28.45 kg 125 Ohm	85
Tabel 4. 36 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 33.45 kg 125 Ohm	86
Tabel 4. 37 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 38.45 kg 125 Ohm	86

Tabel 4. 38	Data hasil pengujian nilai redaman rebound 125 Ohm	87
Tabel 4. 39	Perhitungan nilai redaman kompresi massa 30 kg 125 Ohm	87
Tabel 4. 40	Perhitungan nilai redaman kompresi massa 35 kg 125 Ohm	88
Tabel 4. 41	Perhitungan nilai redaman kompresi massa 40 kg 125 Ohm	88
Tabel 4. 42	Data hasil pengujian nilai redaman kompresi 83 Ohm	89
Tabel 4. 43	Perhitungan nilai redaman kompresi massa 28.45 kg 83 Ohm	89
Tabel 4. 44	Perhitungan nilai redaman kompresi massa 33.45 kg 83 Ohm	90
Tabel 4. 45	Perhitungan nilai redaman kompresi massa 38.45 kg 83 Ohm	90
Tabel 4. 46	Data hasil pengujian nilai redaman rebound 83 Ohm	91
Tabel 4. 47	Perhitungan nilai redaman kompresi massa 30 kg 83 Ohm	91
Tabel 4. 48	Perhitungan nilai redaman kompresi massa 35 kg 83 Ohm	92
Tabel 4. 49	Perhitungan nilai redaman kompresi massa 40 kg 83 Ohm	92
Tabel 4. 50	Perhitungan distribusi nilai redaman komponen HEMSA	95
Tabel 4. 51	Perhitungan distribusi nilai redaman komponen HEMSA beban 250 ohm	96
Tabel 4. 52	Perhitungan distribusi nilai redaman komponen HEMSA beban 125 Ohm	96
Tabel 4. 53	Perhitungan distribusi nilai redaman komponen HEMSA beban 83 Ohm	97
Tabel 4. 54	hasil pengujian energi bangkitan HEMSA	108
Tabel 4. 55	Effisiensi HEMSA	110
Tabel 4. 56	Perhitungan Force Transmibility 83 ohm; $\zeta = 0.84$	114
Tabel 4. 57	Perhitungan Displacement Transmibility 125 ohm; $\zeta = 0.82$	114

Tabel 4. 58 Perhitungan Displacement Transmibility 250 ohm; $\zeta = 0.75$ 114

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Power Generating Shock Absorber (PGSA)[8]	6
Gambar 2. 2 Regenerative Shock Absorber hydraulic oleh Massachusetts Institut of Technology [12]	7
Gambar 2. 3 Linier Electromagnetic Absorber oleh Prof.Lei Zuo dkk[12]	8
Gambar 2. 4 (a). Rotational absorber dan (b).Linier electromagnetic absorber oleh Prof.Lei Zuo dkk[12]	9
Gambar 2. 5 Grafik Potensi Energi pada Kendaraan dari Penelitian Prof.Lei Zuo[12]	10
Gambar 2. 6 Elektromagnetik Suspension oleh Bart L.J.Gysen	11
Gambar 2. 7 VERS generasi I[2]	12
Gambar 2. 8 Mekanisme VERS generasi II[10]	12
Gambar 2. 9 Mekanisme VERS generasi III[1]	13
Gambar 2. 10 FRSA VERS VI dengan pegas (spring)[9]	14
Gambar 2. 11 Prototype dari HESA I[11]	15
Gambar 2. 12 Skematik diagram dari HESA[11]	16
Gambar 2. 13 Eksitasi pada landasan	18
Gambar 2. 14 Free Body Diagram eksitasi pada base	18
Gambar 2. 15 Displacement transmissibility vs frequency ratio[7]	20
Gambar 2. 16 Single Degree of freedom (1DOF) dengan viscous damper[7]	21
Gambar 2. 17 Sistem 1 DOF pada shockabsorber sepeda motor dengan peredam dan analisa sistem eksperimennya[7]	21
Gambar 2. 18 Grafik pengaruh gaya redaman terhadap perpindahan dan kecepatan[7]	24
Gambar 2. 19 Eksitasi pada Base[5]	25
Gambar 2. 20 Grafik Displacement Transmissibility dan ratio frekuensi[7]	26
Gambar 2. 21 Grafik Force Transmissibility dan ratio frekuensi[7]	27

Gambar 2. 22 Standar kenyamanan penumpang ISO 2631 akibat getaran vertikal	28
Gambar 2. 23 Gambar konstruksi Mekanisme HEMSA (1.Absorber HEMSA 2.Pegas 3.Selang 4.Hidrolik Aktuator 5.Generator 6.Mekanisme Belt&Pulley 7.Transmisi oneway bearing Bevel Gear 8.Rack&Pinion gear)	30
Gambar 2. 24 HEMSA (hydraulic Electro mechanic Shock Absorber)	31
Gambar 2. 25 Alternator AC sepeda motor[5]	34
Gambar 2. 26 Kaedah flamming tangan kiri[5]	34
Gambar 2. 27 (a) Skema elektromagnetik dan (b) skema generator listrik	36
Gambar 3. 2 Flowchart penelitian	40
Gambar 3. 3 Mekanisme pengujian viscous damping	42
Gambar 3. 4 Mekanisme pengujian viscous+gear transmission damping	42
Gambar 3. 5 Mekanisme pengujian viscous damping	43
Gambar 3. 6 Flowchart pengujian viscous damping	44
Gambar 3. 7 Flochart pengujian viscous dan friction damping	45
Gambar 3. 8 Flowchart pengujian nilai redaman total tanpa beban generator	46
Gambar 3. 9 Pengujian nilai redaman HEMSA dengan beban listrik (250 ohm;500ohm;83 Ohm)	47
Gambar 3. 10 Pengujian Konstanta Pegas Suspensi HEMSA	48
Gambar 3. 11 Flowchart Pengujian kekakuan Pegas	49
Gambar 3. 12 Pengujian eksitasi impuls	50
Gambar 3. 13 Pengujian eksitasi harmonik	51
Gambar 3. 14 Flowchart Pengujian Eksitasi Impuls	52
Gambar 3. 15 Flowchart pengujian eksitasi harmonik	54
Gambar 3. 16 Konstruksi HEMSA hasil rancangan	55
Gambar 3. 17 Suspension Tes rig(Alat pengujian)[9]	57
Gambar 3. 18 Oscilloscope	58
Gambar 3. 19 Jangka Sorong	58

Gambar 3. 20 Acceelerometer sensor	59
Gambar 3. 21 Stopwatch	59
Gambar 3. 22 Jadwal penelitian yang direncanakan	60
Gambar 4. 2Mekanisme Pengujian Pegas (Spring)	61
Gambar 4. 3 Pengujian Spring (1. Massa (kg) 2. Pegas 3. Penggaris)	62
Gambar 4. 4 Grafik Perhitungan Nilai Konstanta Pegas	65
Gambar 4. 5 Mekanisme Pengujian statis nilai redaman compression dan rebound	66
Gambar 4. 6 Foto saat Pengujian statis nilai redaman	67
Gambar 4. 7 Grafik nilai redaman total tanpa pembebanan listrik	72
Gambar 4. 8 Distribusi nilai redaman komponen HEMSA	98
Gambar 4. 9 Gambar pengujian mekanisme suspensi Hemsas	101
Gambar 4. 10 Hasil pengujian respon sprung mass eksitasi impuls saat pembebanan 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm	102
Gambar 4. 11 Hasil pengujian respon base eksitasi impuls saat pembebanan 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm	102
Gambar 4. 12 Hasil pengujian respon sprung mass eksitasi periodik saat pembebanan 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm pada $f = 1.4$ Hz	103
Gambar 4. 13 Hasil pengujian respon base eksitasi periodik saat pembebanan 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm pada $f = 1.4$ Hz	104
Gambar 4. 14 Hasil pengujian respon sprung mass eksitasi periodik saat pembebanan 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm pada $f = 1.7$ Hz	105
Gambar 4. 15 Hasil pengujian respon base eksitasi periodik saat pembebanan 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm pada $f = 1.7$ Hz	105
Gambar 4. 16 Hasil pengujian respon sprung mass eksitasi periodik saat pembebanan 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm pada $f = 2$ Hz	106

Gambar 4. 17 Hasil pengujian respon base eksitasi periodik saat pembebanan 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm pada $f = 2$ Hz	107
Gambar 4. 18 Energi bangkitan dari HEMSA	108
Gambar 4. 19 Grafik efisiensi perfoma HEMSA pembebanan Lampu(Resistor)	112
Gambar 4. 20 Grafik Force Transmibility vs Freq. Ratio(teoritic)[7]	113
Gambar 4. 21 Grafik Force Transmibility vs Freq. ratio ζ 0.84 ζ 0.82 ζ 0.75	115
Gambar 4. 22 Grafik kenyamanan Standar ISO 2631	117

BABI

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan energi merupakan isu yang tidak dapat dipandang remeh. Masalah pemanfaatan energi berhubungan erat dengan konsumsi bahan bakar khususnya pada bidang transportasi. Hal ini dikarenakan bertambahnya jumlah penduduk, yang berakibat terjadinya fenomena kebutuhan mobilitas yang tinggi. Dalam pemanfaatan energi saat ini diperlukan langkah yang nyata untuk mewujudkan cara yang tepat dalam pemanfaatan energi khususnya pada bidang transportasi. Pada perancangan kendaraan, terdapat kehilangan - kehilangan energi yang tidak dapat dihindarkan, Menurut *Center for Energy, Transportation and the Environment (CETE)* sebuah program penelitian yang diterapkan oleh *University of Tennessee Chattanooga*, kendaraan bermotor hanya menyalurkan 16% dari tenaga bahan bakar yang digunakan. Sedangkan 62% hilang dari panas dan getaran yang ditimbulkan pada mesin, 11% dari engine idling, 6% dari proses mekanis pada transmisi dan 2- 5 % kehilangan pada Aksesoris seperti AC, AUDIO dan Instrumen control [2]. Sedangkan menurut penelitian Lei Zuo dari *New York State University*, hanya 10-16 persen dari energi bahan bakar yang efektif digunakan untuk menjalankan mobil sehari-hari, yaitu untuk mengatasi resistensi dari gesekan jalan, hambatan udara dan mendorong kendaraan maju. Sebagian besar energinya justru terbuang sia-sia[3]. Oleh karenanya, masalah efisiensi bahan bakar merupakan permasalahan yang perlu dipikirkan sebagai langkah nyata dalam pengelolaan energi dengan mengurangi beban alternator pada mesin kendaraan sehingga dapat menghemat konsumsi bahan bakar.

Potensi energi yang terbuang tersebut sebenarnya dapat dimanfaatkan sebagai energi alternatif pendukung, misalnya

energi kinetik yang dihasilkan oleh gerakan translasi suspensi kendaraan yang dapat diubah menjadi gerakan rotasi, sehingga dapat digunakan untuk menggerakkan generator. Adapun KERS (*Kinetic Energy Recovery System*) adalah peralatan untuk mendapatkan energi dari energi kinetik yang kemudian disimpan dan dimanfaatkan kembali untuk menambah akselerasi. Energi kinetik ini disimpan pada peralatan khusus, yaitu *flywheel*. Energi kinetik tersebut diambil saat terjadi pengereman pada kendaraan, setelah energi yang terbuang tersebut disalurkan pada *flywheel* saat terjadinya akselerasi energi tersebut digunakan sebagai energi penunjang. Selain itu KERS diaplikasikan pada kendaraan hybrid sebagai alat untuk menyimpan energi di baterai/accu, TERS (*Thermal Energy Recovery System*) merupakan alat yang digunakan untuk memanen energi yang terbuang. Dengan alat ini, energi panas dari kendaraan akan dikonversi menjadi energi listrik. Kemudian energi listrik ini disimpan pada baterai. VEH (*Vibration Energy Harvesting*) alat ini digunakan sebagai pemanen energi yang terbuang dari getaran suatu kendaraan, energi tersebut dapat berupa energi kinetik pada suspensi kendaraan.

Pada perkembangannya, VEH (*Vibration energy harvester*) merupakan alat yang bekerja dengan memanfaatkan energi kinetik pada gerakan suspensi kendaraan, sehingga alat ini dapat diimplementasikan pada mekanisme peredam kejut (*shock absorber*). Peralatan ini dikembangkan sebelumnya oleh beberapa peneliti, menurut penelitian dari Prof. Lei Zuo dkk mengklaim bahwa potensi energi yang dapat dihasilkan sebesar 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 sebesar 2-10% [3].

Pada tugas akhir ini penulis akan membahas mengenai suatu alat yang bekerja pada gerak naik turun suspensi peredam kejut (*shock absorber*) dengan mengkonversi energi kinetik

menjadi energi listrik(*Regenerative Shock absorber*). Alat pemanen energi tersebut memanfaatkan gerakan naik-turun suspensi yang kemudian diubah menjadi gerakan rotasi. Gerakan rotasi ini kemudian ditransmisikan dengan *gearbox* dan dihubungkan ke generator. Alat ini dinamakan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber(HEMSA)*.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang dikaji dalam laporan ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana karakteristik nilai redaman dari *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber(HEMSA) double port* perbandingan silinder 40 mm:40 mm.
2. Bagaimana pengaruh nilai redaman terhadap energi bangkitan dari *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber(HEMSA) double port* perbandingan silinder 40 mm:40 mm.
3. Bagaimana pengaruh *respon sprung mass* dan *unsprung mass* oleh *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber(HEMSA)*.

1.3 Batasan Masalah

Untuk membatasi penulisan laporan ini dibuat batasan masalah sebagai berikut :

1. Model pengujian yang digunakan hanya ¼ dari kendaraan
2. Eksitasi yang digunakan adalah alat uji suspensi yaitu *suspension tes rig* Milik lab. Desain Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS.
3. Pada perhitungan ini arus dan voltage yang digunakan adalah pembacaan multimeter/Oscilloscope.
4. Analisa respon massa hanya untuk mengetahui karakter shock absorber
5. Pengujian ini hanya menggunakan 1 DOF.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Melakukan studi eksperimen untuk mengetahui nilai redaman dari *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)* hasil rancang bangun akibat eksitasi getaran.
2. Melakukan studi eksperimen untuk mengetahui energi bangkitan dari *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)* hasil rancang bangun akibat eksitasi getaran.
3. Melakukan analisa hasil pengujian nilai redaman dan pengaruh respon *sprung mass* dan *unsprung mass* dari *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber (HEMSA)*.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian dari laporan ini adalah :

1. Hasil tugas akhir ini dapat dimanfaatkan sebagai acuan pengembangan *regenerative shock absorber* berikutnya.
2. Membantu mahasiswa untuk lebih memahami konsep pembuatan dan perancangan produk.
3. Menyediakan energi alternatif tambahan bagi masyarakat khususnya pada bidang otomotif kendaraan.

1.6 Sistematika Penulisan

Untuk mempermudah memahami isi dari laporan ini, maka penulisan laporan dibagi menjadi beberapa bab dengan uraian sebagai berikut :

1. Bab I Pendahuluan

Meliputi tentang latar belakang penulisan laporan, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan laporan.

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Meliputi uraian beberapa penelitian sebelumnya yang digunakan sebagai bahan kajian penelitian dan dasar-dasar teori yang digunakan dalam pengujian dan penelitian alat.

3. **Bab III Metodologi Penelitian**

Meliputi tentang metodologi yang digunakan dalam penulisan laporan ini. Metodologi tersebut meliputi bahan-bahan, peralatan, dan cara kerja serta teknik/proses pengerjaan penelitian. Yang dimaksud dengan proses : teknik pengumpulan dan analisis data, model pendekatan yang digunakan, rancangan penelitian, cara penafsiran dan pengumpulan hasil penelitian, uji coba dan cara evaluasi, serta cara penyimpulan.

4. **Bab IV Hasil Pengujian dan Analisa**

Berisi tentang data-data pengujian dari alat yang digunakan, perhitungan-perhitungan serta perbandingan grafik respon gaya terhadap kecepatan dan perpindahan *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

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

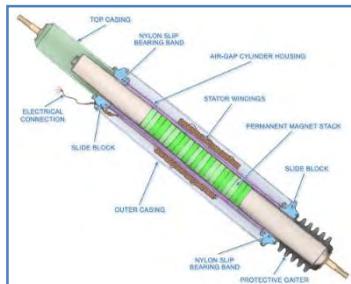
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tinjauan Terdahulu

2.1.1 The Power-Generating Shock Absorber (PGSA) oleh Ronald B. Goldner (Lexington, MA), Peter Zerigian (Arlington, MA)

Pada tahun 2005, *Electromagnetic linear generator and shock absorber* alat 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) dari gambar 2.1 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. 1 Power Generating Shock Absorber (PGSA)^[8]

2.1.2 Regenerative Shock Absorber Massachusetts Institute of Technology

Pada tahun 2009, tim dari *Massachusetts Institute of Technology* telah menciptakan shock absorber yang mampu menghasilkan energy listrik. Prinsip kerja shock absorber ini adalah dengan menggunakan sistem hidrolik, dimana sistem hidrolik ini berfungsi memaksakan cairan untuk masuk menuju turbin dan kemudian turbin akan bergerak memutar generator. Sistem pada shock absorber ini dikontrol oleh sebuah rangkaian elektronik aktif yang berfungsi untuk mengoptimalkan redaman agar lebih nyaman dari peredam konvensional. Berdasarkan hasil dari pengujian *regenerative shock absorber* ini mampu menghasilkan daya sebesar 200 watt.



Gambar 2. 2 Regenerative Shock Absorber hydraulic oleh Massachusetts Institut of Technology ^[12]

2.1.3 Regenerative Shock Absorber oleh Prof.Lei Zuo dkk

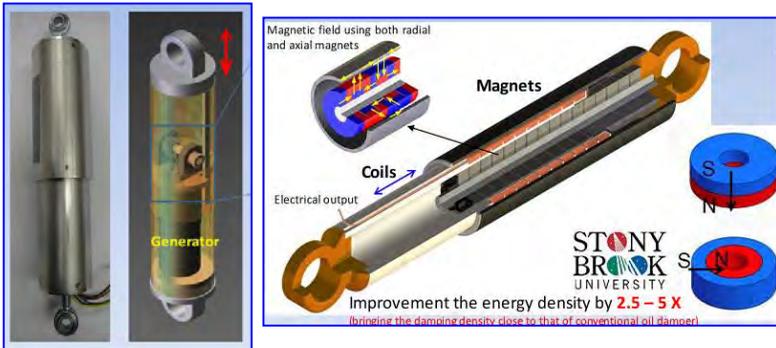
Pada tahun 2010, tim yang berasal dari Stony Brook University terdiri atas Prof. Lei Zuo dan Pei Sheng-Zang telah mendesain sekaligus menguji temuan mereka tentang pemanenan energi dari suspensi pada kendaraan. Mereka memanfaatkan getaran yang terjadi pada suspensi untuk menghasilkan listrik.

Terdapat dua metode yang dapat digunakan, yaitu *linier electromagnetic absorber* dan *rotational absorber*.



Gambar 2. 3 *Linier Electromagnetic Absorber* oleh Prof. Lei Zuo dkk^[12]

Pada *Linier electromagnetic absorber* prinsip kerjanya dengan menggunakan 2 tipe magnet yang berbeda yaitu *axial* dan *radial*. Magnet akan bergerak translasi mengikuti gerakan pada suspensi, kemudian dari sisi lain terdapat kumparan. seperti halnya prinsip elektromagnetik, bila kumparan berputar kemudian disisinya diberikan magnet, maka akan menimbulkan GGL (gaya gerak listrik) yang nantinya akan menghasilkan listrik. *Linier elektromagnetic absorber* ini didesain untuk kendaraan berat yang mempunyai vibrasi yang besar seperti, truk, bus, dan lain sebagainya. mengenai konstruksi dari absorber tersebut dapat dilihat pada gambar 2.4 dibawah ini.

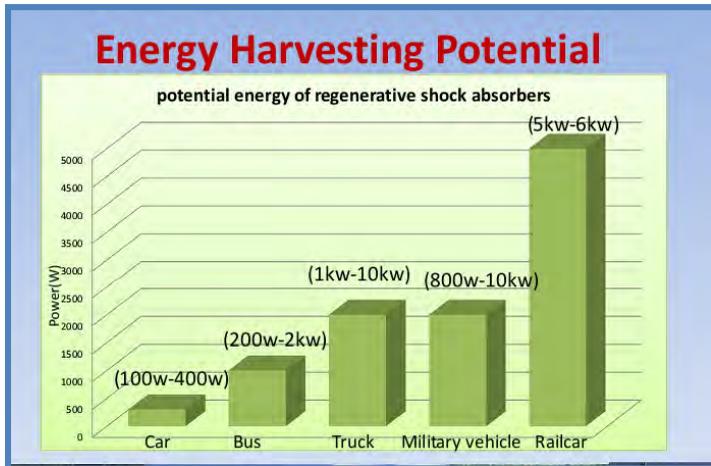


(a)

(b)

Gambar 2. 4 (a). *Rotational absorber* dan (b). *Linier electromagnetic absorber* oleh Prof.Lei Zuo dkk^[12]

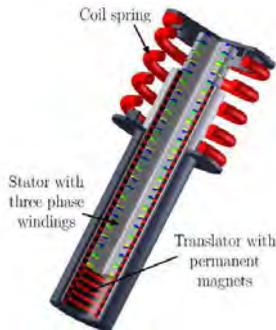
Selanjutnya pada *Rotational Absorber*, prinsip kerjanya adalah memanfaatkan roda gigi pada sistem suspensi, sehingga menghasilkan listrik, yaitu dengan mengubah pergerakan translasi menjadi pergerakan rotasi. Pada gerakan translasi roda gigi *rack* dihubungkan dengan *spur gear*, kemudian *spur gear* akan dihubungkan dengan *bevel gear* yang mengubah gerakan translasi menjadi rotasi. selanjutnya gerakan rotasi tersebut akan 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%[2]. Sehingga dari penelitian tersebut dapat memanfaatkan potensi energi yang hilang di dalam mengembangkan alat pemanen energy (*energy harvesting*).



Gambar 2. 5 Grafik Potensi Energi pada Kendaraan dari Penelitian Prof.Lei Zuo^[12]

2.1.4 Elektromagnetic suspension oleh Bart L.J.Gysen

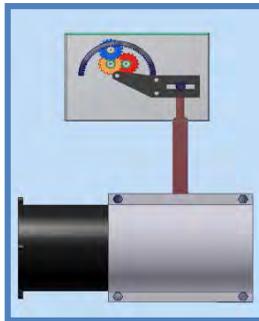
Pada tahun 2010, tim dari *Eindhoven University of Technology* membuat suatu alat yaitu *electromagnetic suspension system*. Tim ini bekerjasama dengan BMW dan SKF untuk membuat alat tersebut. Prinsip kerja dari alat ini sama halnya dengan prinsip kerja dari *linier electromagnetic absorber* yang menggunakan magnet dan kumparan yang bergerak translasi sehingga menghasilkan listrik. Suspensi ini termasuk dalam kategori suspensi 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%. Konstruksi dari Elektromagnetik suspension dapat dilihat pada gambar 2.6.



Gambar 2. 6 *Elektromagnetik Suspension* oleh Bart L.J.Gysen

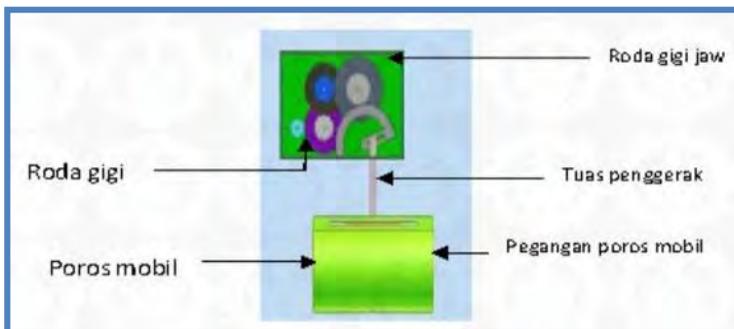
2.1.5 Perkembangan Regenerative Shock Absorber oleh Mahasiswa ITS

Pada tahun 2011 Indra Rizky Panigoro dan Dito Renady Hartono telah melakukan perancangan Vibration Energy Recovery System (VERS), yaitu peralatan yang digunakan untuk memanen energi pada gerak naik turun shock absorber secara kontinyu pada kendaraan Isuzu panther Bak terbuka. Alat ini merupakan sebuah komponen yang terdiri dari beberapa roda gigi yang disatukan dalam gearbox dan dapat berputar sebagai penggerak dari generator dan komponen pendukungnya seperti tuas penggerak gear jaw, pengikat tuas dengan gardan dan generator. Setelah dilakukan pengujian, alat ini menghasilkan tegangan listrik maksimum sebesar 1,16 Volt dan arus maksimum sebesar 0,03 Ampere sehingga dari data tersebut alat ini menghasilkan daya sebesar 0,0348 Watt dan didapatkan pula nilai koefisien redaman sebesar 1,75 (Nm/s)[8].



Gambar 2. 7 VERS generasi I^[2]

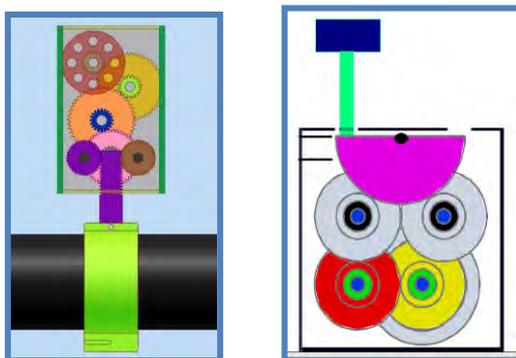
Pada tahun 2011 Wawan hendrawan dan Satria Ugahari juga telah melakukan perancangan Vibration Energy Recovery System (VERS) Generasi 2 yang juga dipasang pada suspensi Isuzu panther bak terbuka ,setelah dilakukan pengujian alat didapatkan Voltase maksimum sebesar 10,6 Volt dan arus maksimum sebesar 0,162 Ampere dan dari pengolahan data tersebut didapatkan daya sebesar 1,1016 Watt, nilai koefisien redaman VERS adalah 1,06 Nm/s[9].



Gambar 2. 8 Mekanisme VERS generasi II^[10]

Pada tahun 2012, Nanang Ismail Fahmi dan Yongki Rangagustama merancang kembali VERS Generasi ke-3

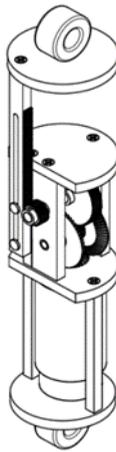
dengan mekanismenya berupa gerakan naik turun dapat menghasilkan energi. Dengan mengubah salah satu bearing pada roda gigi tersebut menjadi *one way bearing*, gerakan translasi dapat diubah menjadi gerakan rotasi secara kontinyu pada satu putaran saja. Sehingga energy listrik dapat dihasilkan oleh generator terus menerus dengan dengan gerakan naik turun tersebut. Alat ini telah diuji pada mobil Avanza dan energi yang dihasilkan masih sangat kecil, yaitu 0.94 Watt.



Gambar 2. 9 Mekanisme VERS generasi III^[1]

Pada tahun 2013, Sareza Hafis dkk melakukan pengembangan RSA yang disebut FRSA. Pengembangan yang dilakukan adalah dengan menyempurnakan Generasi RSA sebelumnya sehingga didapatkan bentuk dan massa dari alat yang lebih baik. Mengenai pengembangan alat tersebut dapat dilihat pada gambar 2.8 yang telah mengalami perubahan bentuk yang lebih baik. 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 pada konvensional shock absorber koefisien redaman didapat sebesar 4338 Ns/m sedangkan pada RSA

(17Ohm) sebesar 3190 Ns/m, pada RSA (5.5 Ohm) sebesar 3190 Ns/m, dan pada RSA (0.2) sebesar 2552 Ns/m. Untuk transmissibility displacement, titik resonansi konvensional shock absorber dengan ζ 0.6 berada pada 1.3 sedangkan ζ 0.8 berada pada 1.195. untuk RSA 17 Ohm, titik resonansi ζ 0.6 berada pada 0.75 sedangkan ζ 0.8 berada pada 0.67

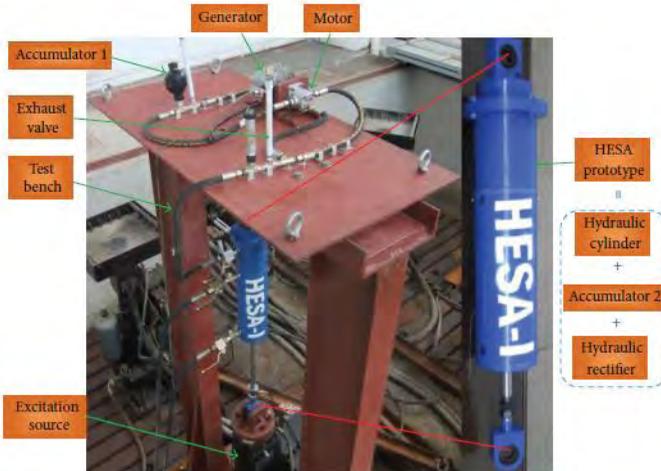


Gambar 2. 10 FRSA VERS VI dengan pegas (spring)^[9]

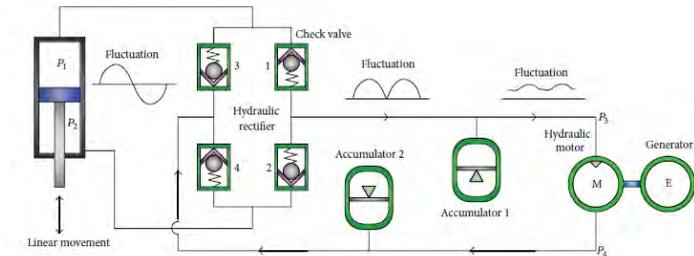
2.1.6 Hydraulic Electromagnetic Shock Absorber (HESA)

Pada tahun 2013, Zhigang fang, Xuexun Guo, Lin Xu dan Han Zhang dari Wuhan University of technology China, membuat *absorber* dari komponen hidrolik aktuator yang dihubungkan dengan hidrolik motor generator, yaitu *Hydraulic Electromagnetic Shock Absorber* (HESA). Pada sistem HESA aliran fluida dari hidrolik disalurkan dan diatur oleh 4 buah katup *rectifier* yang berfungsi mengatur arah aliran fluida ketika terjadi *rebound* dan *compression* dari arah aliran bolak-balik menjadi aliran searah. Setelah melewati katup tersebut

dipasang satu buah *accumulator* pada sisi saluran *inlet* motor hidraulik (*actuator*) dan satu buah pada sisi *outlet* motor hidraulik. Fungsi dari accumulator tersebut adalah mempengaruhi tekanan pada saluran *inlet* motor generator agar terjadi kestabilan tekanan karena fluktuasi tekanan akibat gerakan shock absorber (HESA). Dari grafik karakteristik redaman yang didapatkan karakteristik pada alat ini tidak bisa mewakili pada penggunaan shock absorber, sehingga pada penelitian yang dilakukan mahasiswa Wuhan university of technology China, Zhigang fang dkk terus dilakukan pengembangan. Mengenai ilustrasi alat HESA dan skematik diagram komponen dapat dilihat pada gambar 2.11 dan 2.12 di bawah ini.



Gambar 2. 11 Prototype dari HESA I^[11]



Gambar 2. 12 Skematik diagram dari HESA^[11]

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 beresilasi 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

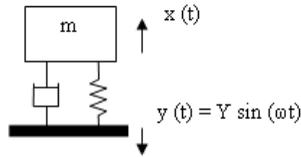
Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar, jika rangsangan tersebut beresilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapatkan keadaan resonansi dan osilasi yang besar dan beresiko membahayakan.

Kerusakan pada struktur besar seperti jembatan, gedung ataupun sayap pesawat terbang, gerakan suspense kendaraan merupakan contoh kejadian yang disebabkan adanya resonansi. Jadi perhitungan frekuensi natural merupakan hal yang utama.

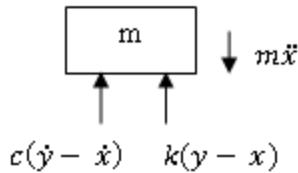
Bila suatu sistem dipengaruhi oleh eksitasi harmonik, maka respon getarannya akan berlangsung pada frekuensi yang sama dengan frekuensi eksitasi. Adapun sumber-sumber eksitasi harmonik dari sebuah system getaran pada kendaraan bisa berasal dari gaya-gaya pada peralatan mesin torak atau gerak mesin itu sendiri. Mula-mula akan diperhatikan sistem dengan satu derajat kebebasan yang mengalami redaman dan dirangsang oleh gaya harmonik.

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. Ilustrasi mengenai free body diagram tersebut dapat diapat dilihat pada gambar 2.13 dan 2.14 di bawah ini.



Gambar 2. 13 Eksitasi pada landasan



Gambar 2. 14 *Free Body Diagram* eksitasi pada base

Steady state response dari massa adalah, $x_p(t)$ yang dapat diekspresikan menjadi persamaan seperti dibawah:

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

Dengan menggunakan persamaan :

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

Sehingga persamaan sistem diatas dapat ditulis :

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

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 :

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

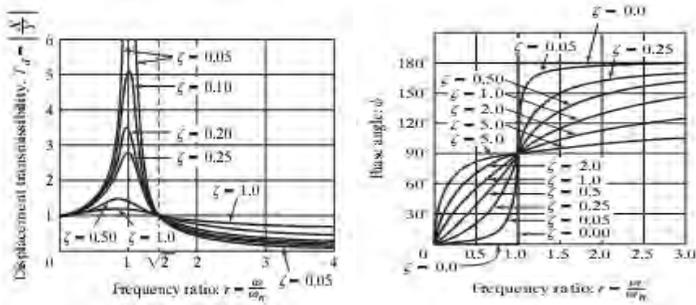
Dimana $\frac{X}{Y}$ adalah *displacement transmissibility* :

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

Dan :

$$\begin{aligned} \theta &= \tan^{-1} \left[\frac{m c \omega^3}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} \right] \\ &= \tan^{-1} \left[\frac{2 \zeta r^3}{1 + (4 \zeta^2 - 1) r^2} \right] \end{aligned}$$

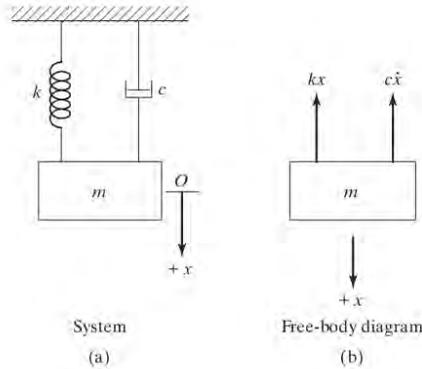
Keterkaitan antara *damping ratio*, *frequency ratio* dan *displacement transmissibility* ditunjukkan pada grafik dibawah ini(gambar 2.15) :



Gambar 2. 15 Displacement transmissibility vs frequency ratio^[7]

2.2.5 Sistem Derajat Kebebasan (*Degree of freedom*)

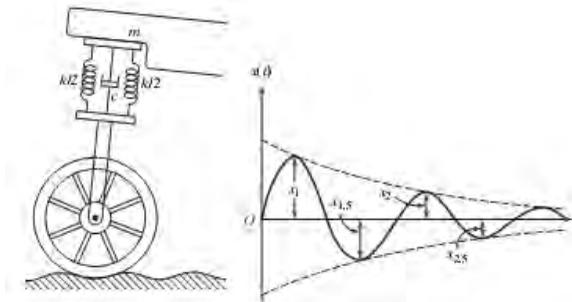
Jumlah koordinat bebas yang dibutuhkan untuk menggambarkan gerak suatu sistem disebut derajat kebebasan atau *degree of freedom (DOF)*. Jadi suatu partikel bebas yang mengalami gerak umum dalam ruangan akan memiliki tiga derajat kebebasan (sumbu x, sumbu y dan sumbu z). Sedangkan benda kaku akan mempunyai enam derajat kebebasan, tiga komponen posisi dan tiga sudut yang menyatakan orientasinya. Secara garis besar sistem *Degree of freedom* dibagi menjadi dua yaitu sistem dengan 1 derajat kebebasan (1 DOF) dan sistem mempunyai derajat kebebasan lebih dari satu (multi DOF). Untuk kedua sistem tersebut dapat diperlihatkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2. 16 *Single Degree of freedom (1DOF)* dengan *viscous damper*^[7]

2.2.6 Logarithmic decrement

Logarithmic decrement merupakan tampilan dari pengurangan amplitude 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. 17 Sistem 1 DOF pada *shockabsorber* sepeda motor dengan peredam dan analisa sistem eksperimennya^[7]

Dari gambar 2.17 diatas 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 :

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

Jika kedua ruas dilogaritma naturalkan akan menjadi :

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

Persamaan diatas juga dapat ditulis sebagai :

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

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

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

Dimana : ζ = damping ratio

δ = logaritmic deccreament = $\ln \frac{x_1}{x_2}$

Nilai dari damping ratio sendiri dapat dicari dengan rumus :

$$\delta = \frac{C}{C_c} = \frac{C}{2 \sqrt{k m}}$$

Dimana : k = konstanta pegas (N/m)
 C = konstanta damping
 m = massa beban (kg)

2.2.7 Konstanta Redaman

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

$$\zeta = \frac{c}{Cc}$$

Dimana:

$$Cc = 2\sqrt{km}$$

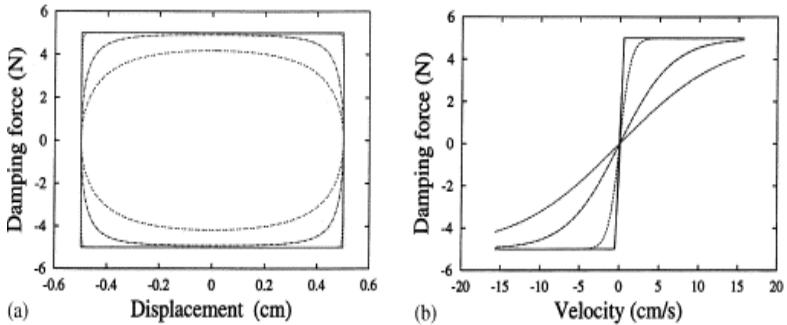
Sehingga konstanta redaman bisa dihitung dengan persamaan berikut:

$$c = \zeta 2\sqrt{km}$$

Keterangan

C : konstanta redaman (Ns/m)
C_c : *Critical damping*

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



Gambar 2. 18 Grafik pengaruh gaya redaman terhadap perpindahan dan kecepatan^[7]

Pada redaman sistem dapat dicari dengan menggunakan persamaan gerak berikut :

$$F = c \cdot \dot{\theta}$$

Dengan : $\dot{\theta} = \frac{v}{r}$

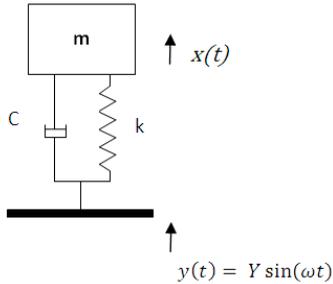
Maka persamaan menjadi :

$$m \cdot g \cdot r = c \cdot \frac{v}{r}$$

$$c = \frac{m \cdot g}{v}$$

2.2.8 Motion Base

Terkadang suatu *base* (landasan) dari suatu sistem suspensi mengalami suatu getaran harmonik, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.19 :



Gambar 2. 19 Eksitasi pada Base^[5]

Pada gambar tersebut $y(t)$ menyatakan *displacement* dari landasan (base) dan $x(t)$ merupakan *displacement* dari massa yang terdapat pada sistem tersebut dari posisi kesetimbangan statisnya.

Dari persamaan dapat disederhanakan menjadi :

$$x_p(t) = X \sin(\omega t - \phi)$$

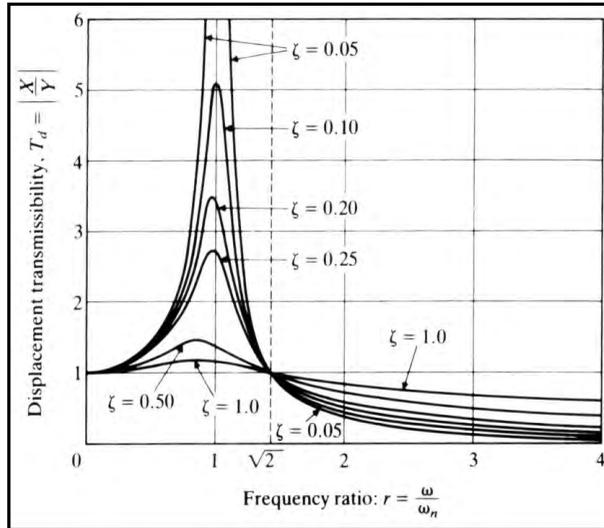
Dimana :

$$\begin{aligned} T_d = \frac{X}{Y} &= \left[\frac{k^2 + (c\omega)^2}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} \right]^{1/2} \\ &= \left[\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2} \end{aligned}$$

dan :

$$\phi = \tan^{-1} = \tan^{-1} \left[\frac{2\zeta r^3}{1 + (4\zeta^2 - 1)r^2} \right]$$

$\frac{X}{Y}$ dinamakan Displacement Transmissibility. Hubungan antara Displacement Transmissibility, Damping Ratio (ζ) dan Frekuensi Ratio dapat dilihat pada gambar 2.20.

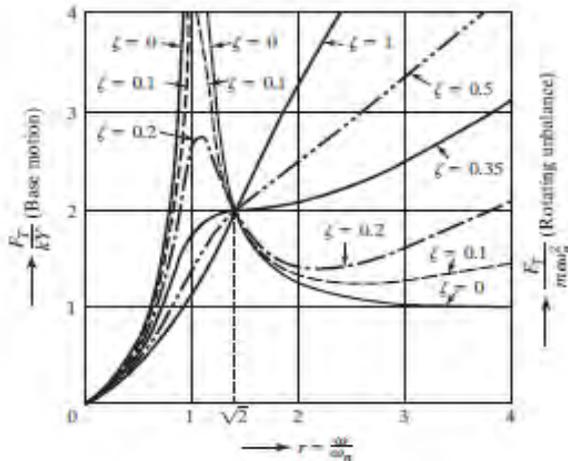


Gambar 2. 20 Grafik Displacement Transmissibility dan ratio frekuensi^[7]

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

Ataupun dapat dijelaskan dalam grafik hubungan antara Force Transmissibility dan ratio frequency, yang dapat dilihat pada gambar 2.21 dibawah ini.

$$\begin{aligned} \frac{FT}{KY} &= r^2 \left[\frac{k^2 + (c\omega)^2}{(k - m\omega^2)^2 + (c\omega)^2} \right]^{1/2} \\ &= r^2 \left[\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2} \end{aligned}$$



Gambar 2. 21 Grafik Force Transmissibility dan ratio frekuensi[7]

2.2.9 Standar Kenyamanan Penumpang ISO 2631

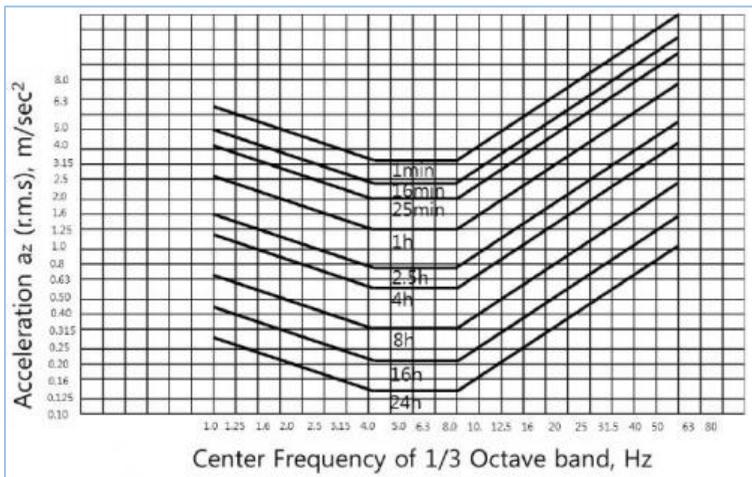
Standar kenyamanan penumpang ISO 2631 berlaku untuk kendaraan transportasi dan juga untuk kendaraan industri. Tiga batasan didefinisikan pada standar ini untuk frekuensi antara 1 sampai 80 Hz, yaitu :

1. Batasan waktu bagi tubuh manusia tahan dan aman terhadap kesehatan akibat getaran. Batasan ini tidak boleh dilewati tanpa ada alasan dan justifikasi khusus.
2. Batasan kelelahan atau penurunan kenerja yang mana terkait dengan kemampuan untuk mempertahankan

efisiensi kerja berlaku untuk pekerjaan mengemudikan kendaraan jalan raya atau traktor.

3. Batasan penurunan kenyamanan yang mana terkait dengan mempertahankan kondisi nyaman penumpang untuk tidak terganggu jika membaca, menulis dan makan di kendaraan.

Batasan yang menunjukkan kelelahan dan menurunnya efisiensi kerja pengemudi akibat getaran vertical kendaraan dapat dilihat pada gambar 2.22.



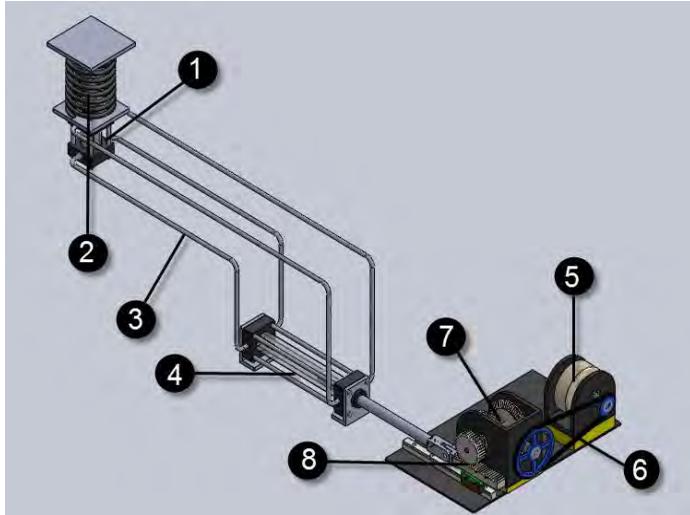
Gambar 2. 22 Standar kenyamanan penumpang ISO 2631 akibat getaran vertikal

Dalam gambar tersebut ditunjukkan batas waktu maksimum yang diijinkan agar kelelahan pengemudi tidak membahayakan jika menerima getaran vertical dengan percepatan dan frekuensi tertentu, makin rendah percepatan getaran, semakin panjang waktu tubuh manusia tahan terhadap getaran tersebut. Percepatan getaran yang dimaksud dalam

gambar 2.22 adalah berupa akar rata-rata kuadrat (Root Mean Square) dari percepatan.

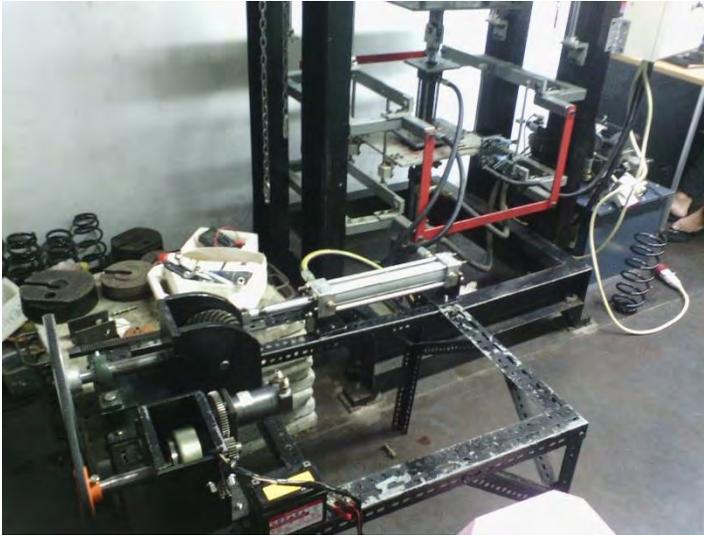
2.2.10 Mekanisme Pada HEMSA

Prinsip kerja pada alat *regenerative shock absorber* hasil rancangan penelitian ini adalah dengan memanfaatkan gerakan naik turun suspensi kendaraan, dalam hal ini fluida dari absorber ditransfer melalui sebuah *hydraulic cylinder* sebagai peredam(absorber) dan *hydraulic actuator* sebagai penggerak generator, kerja dari actuator ini sama seperti gerakan piston hidrolis, yaitu gerakan translasi akibat aliran fluida. Gerakan translasi dari aktuator kemudian dirubah menjadi gerakan rotasi oleh rack&pinion, kemudian pemindahan daya tersebut kemudian ditransmisikan oleh *gearbox* dengan rasio $i=0.6$. Putaran *gearbox* kemudian dihubungkan ke sebuah generator untuk merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Mekanisme HEMSA(*Hydraulic Electromechanic Shock Absorber*) tersebut dapat diilustrasikan pada gambar 2.23 dan 2.24 dibawah ini.



Gambar 2. 23 Gambar konstruksi Mekanisme HEMSA (1.Absorber HEMSA 2.Pegas 3.Selang 4.Hidrolik Aktuator 5.Generator 6.Mekanisme Belt&Pulley 7.Transmisi *oneway bearing Bevel Gear* 8.Rack&Pinion gear)

Dimensi silinder hidrolik sebagai absorber sebesar 40 mm, sedangkan dimensi silinder hidrolik sebagai aktuator sebesar 40 mm. aliran fluida dari silinder *absorber* kemudian dihubungkan ke silinder *actuator* dengan selang hidrolik dengan ukuran 3/8". Pada penelitian ini hidrolik tersebut dihubungkan dengan 2 port sebagai konektor selangnya.



Gambar 2. 24 HEMSA (*hydraulic Electro mechanic Shock Absorber*)

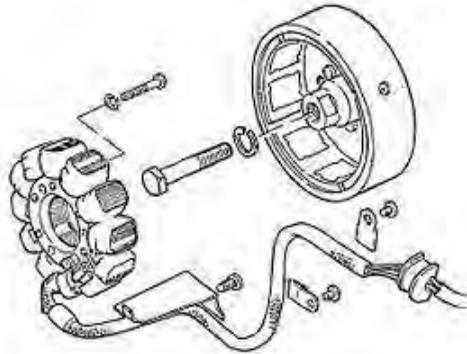
2.3 Motor Generator

Sistem pembangkit listrik(generator) adalah sebuah alat yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Energi mekanik tersebut dapat berasal dari putaran mesin minyak bakar, turbin uap, turbin air dan turbin gas. Sebaliknya jika energi listrik diubah menjadi energi mekanik maka disebut sebagai motor listrik, pada prinsipnya generator dan motor listrik mempunyai kesamaan.

4.4.1 Alternator sebagai generator

Pada kendaraan bermotor, terdapat sebuah komponen yang berfungsi mentransfer energi listrik sebagai sumber tenaga pengisian baterai (accu), komponen ini disebut sebagai *Alternator*. Prinsip kerja dari alternator sama dengan generator, alat ini merubah gerakan rotasi dari mesin menjadi energi listrik AC.

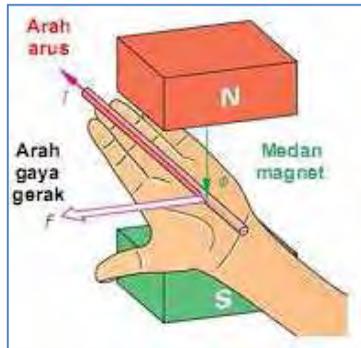
Konstruksi dari Alternator tersebut terdiri dari magnet permanen (rotor) dan kumparan kawat tembaga (stator). *Alternator* dengan magnet permanen biasanya dipasang pada sepeda motor, dimana magnet terpasang pada poros *flywheel* dan kumparan kawat tembaga terpasang pada tutup mesin. Sehingga yang berputar adalah rotor (magnet). Pada pembuatan alat *Regenerative Shock Absorber* ini dipilih alternator kendaraan bermotor karena memiliki karakteristik arus yang lebih besar jika dibandingkan dengan generator dari motor DC. Gambar alternator tersebut dapat dilustrasikan pada gambar 2.25.



Gambar 2. 25 Alternator AC sepeda motor^[5]

4.4.2 Prinsip kerja motor generator

Untuk menentukan arah putaran motor digunakan kaedah Flamming tangan kiri. Kutub-kutub magnet akan menghasilkan medan magnet dengan arah dari kutub utara ke kutub selatan. Jika medan magnet ini memotong sebuah kawat penghantar yang dialiri arus searah dengan empat jari, maka akan timbul gaya gerak searah ibu jari, Gaya ini disebut gaya Lorent.



Gambar 2. 26 Kaedah flammng tangan kiri^[5]

Besarnya gaya Lorentz dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

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

Keterangan:

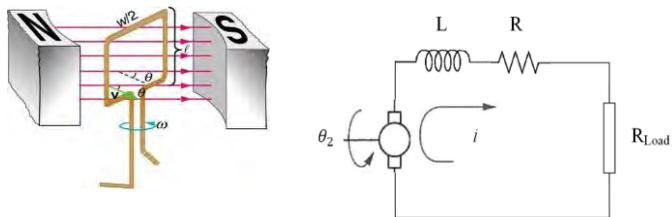
- F : Arah gaya penghantar (Newton)
- B : Kerapatan flux magnet (weber)
- ℓ : Panjang kawat penghantar (meter)
- I : Arus DC (Ampere)
- z : Jumlah penghantar

Ada beberapa metode untuk membangkitkan energi yang bersumber dari energi mekanik. Salah satunya adalah dengan induksi elektromagnetik. Dalam prinsip induksi elektromagnetik, listrik dengan magnet saling berkaitan. Misalkan pada gulungan kumparan kawat, jika dialiri dengan listrik maka akan timbul terjadinya gaya magnet. Sebaliknya bila sebuah magnet didekatkan dengan sebuah gulungan kumparan kawat maka timbul adanya aliran listrik. Prinsip tersebut merupakan dasar dari teori pada dynamo dan generator.

Adapun prin kerja dari dynamo dan generator tersebut adalah sebagai berikut ;

1. Kumparan berputar dalam suatu medan magnet
2. Medan magnet yang berputar diantara kumparan

Energi kinetik dari dinamo atau generator dapat diperoleh dari putaran roda, turbin air, turbin angin, *engine*, dan beberapa komponen mekanik yang berputar. Pada umumnya generator dapat dibedakan berdasarkan arus yang dihasilkan yaitu AC (arus bolak balik) dan DC (arus searah). Pada dasarnya prinsip kerja dari generator AC dan DC adalah sama, **Generator Arus Searah** menghasilkan arus listrik DC karena pada konstruksi dilengkapi dengan komutator, biasanya berfungsi sebagai penguat pada generator utama di bengkel atau industri. Sedangkan **Generator Arus Bolak-Balik** menghasilkan arus listrik AC, hal ini disebabkan karena konstruksi pada generator menyebabkan arah arus akan berbalik pada setiap setengah putaran.



Gambar 2. 27 (a) Skema elektromagnetik dan (b) skema generator listrik

Pertimbangkan contoh yang ditunjukkan pada gambar 2.27 (b), aliran listrik di kabel loop mengalami gaya magnet karena mereka bergerak dalam medan magnet. Listrik di kabel vertikal mengalami gaya yang sejajar dengan kawat,

menyebabkan arus. Namun, kawat yang berada di bagian atas dan bawah mengalami gaya yang tegak lurus dengan kawat, sehingga gaya ini tidak menyebabkan arus. Gaya induksi EMF dapat dihitung hanya dengan memperhitungkan kabel vertikal. EMF dapat dirumuskan menjadi $EMF = B \ell \theta$, dimana kecepatan θ tegak lurus terhadap medan magnet B. Disini, kecepatan adalah pada sudut θ terhadap B, sehingga komponen tegak lurus terhadap B adalah $\theta \sin\gamma$. Jadi dalam hal ini EMF diinduksi pada setiap sisi adalah $EMF = B \ell \theta \sin\gamma$, dan mereka berada dalam arah yang sama. Jumlah EMF keseluruhan sekitar loop dimana N adalah jumlah lilitan kumparan:

$$\varepsilon = 2NBl\dot{\theta}\sin\gamma$$

Selain menghitung tegangan listrik yang dihasilkan, juga dihitung torsi elektrik (T_e) yang menyebabkan terbentuknya nilai elektrik damping. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$T_e = 2NBlI$$

Dari persamaan tersebut terlihat bahwa nilai torsi elektrik (pembentuk elektrik damping) dipengaruhi oleh nilai dinamis kuat arus (I). sesuai dengan hukum ohm yaitu $I = V/R$, maka dapat disimpulkan bahwa dengan meningkatkan nilai tahanan maka kuat arus yang dihasilkan generator menjadi semakin kecil. Dengan mengecilnya nilai kuat arus akan berdampak menurunnya torsi elektrik sehingga nilai redaman elektrik generator juga ikut menurun.

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

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

Dimana :

N = jumlah lilitan
B = kuat mean magnet(T)
A = luas kumparan (m²)
w = kecepatan sudut (rad/s)

Juga, persamaan daya yang dihasilkan oleh sebuah generator dapat dinyatakan dalam rumus sebagai berikut ;

$$P = T.2.\pi.n$$

atau

$$V.I = T.2.\pi.n$$

Dimana :

P = Daya (watt)
T = Torsi(N.m)
n = putaran (rps)
v = tegangan listrik (volts)
I = Arus listrik (Ampere)

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

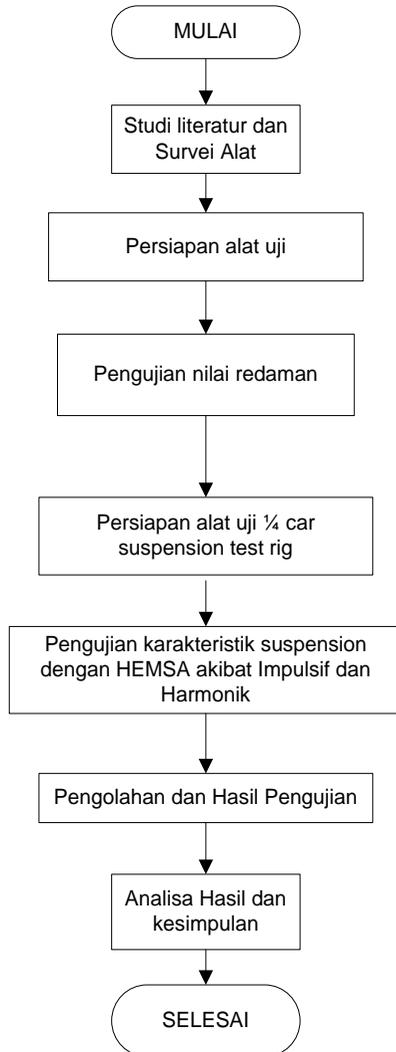
METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Tugas akhir

Langkah pengujian karakteristik dan penelitian dari *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* disusun melalui beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Studi Literatur
2. Tahap survei alat
3. Pengujian karakteristik nilai redaman alat
4. Pengujian koefisien spring (pegas)
5. Pengujian mekanisme alat
6. Pengolahan hasil pengujian

Flowchart tahapan percobaan tersebut dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini ;



Gambar 3. 1 Flowchart penelitian

3.1.1 Studi literatur

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

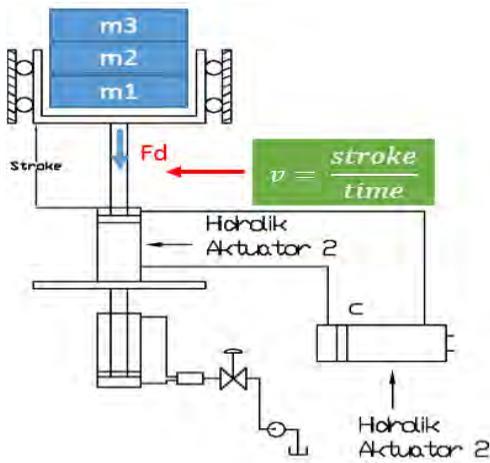
3.1.2 Survei Alat Uji

Tahap survei alat ini berfungsi untuk menentukan dimensi, massa uji, *exciter* yang akan digunakan pada pengujian. Alat uji yang digunakan adalah *suspension test rig* yang tersedia di Lab. Design Teknik Mesin ITS.

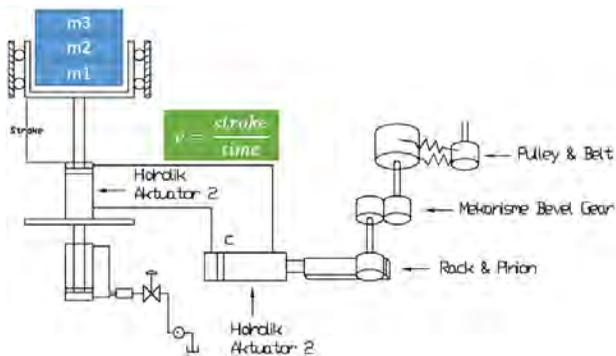
3.2 Pengujian Statis Alat *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber*

3.2.1 Pengujian nilai redaman

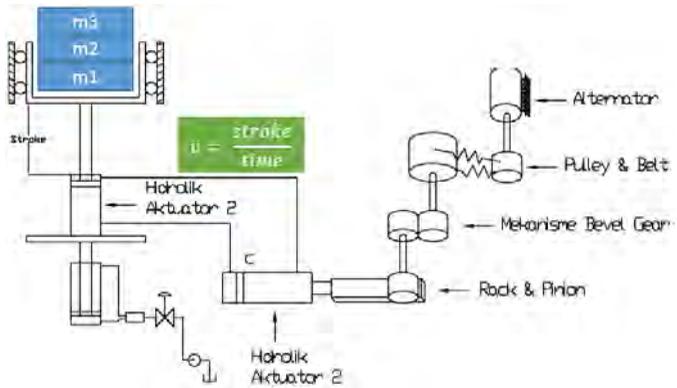
Pengujian koefisien redaman dari HEMSA didapatkan dengan memberikan gaya seperti halnya pada pengujian konsatanta pegas, namun yang didapatkan dalam pengujian ini adalah kecepatan dari gerakan saat kompresi dan rebound. Di dalam pengujian statis ini diberikan 3 variasi massa untuk mencari nilai koefisien redamannya. Pada pengujian ini dilakukan pada 4 variasi kondisi HEMSA, yaitu kondisi tanpa pembebanan listrik, kondisi dengan pembebanan listrik 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm. Pengujian nilai redaman listrik dilakukan untuk mencari distribusi nilai redaman pada masing-masing komponen hemsas, meliputi viscous damping, friction damping dan electrical damping. Adapun mekanisme pengujian dan langkah pengujian tersebut dapat dilihat pada gambar dan flowchart berikut ini.



Gambar 3. 2 Mekanisme pengujian *viscous damping*

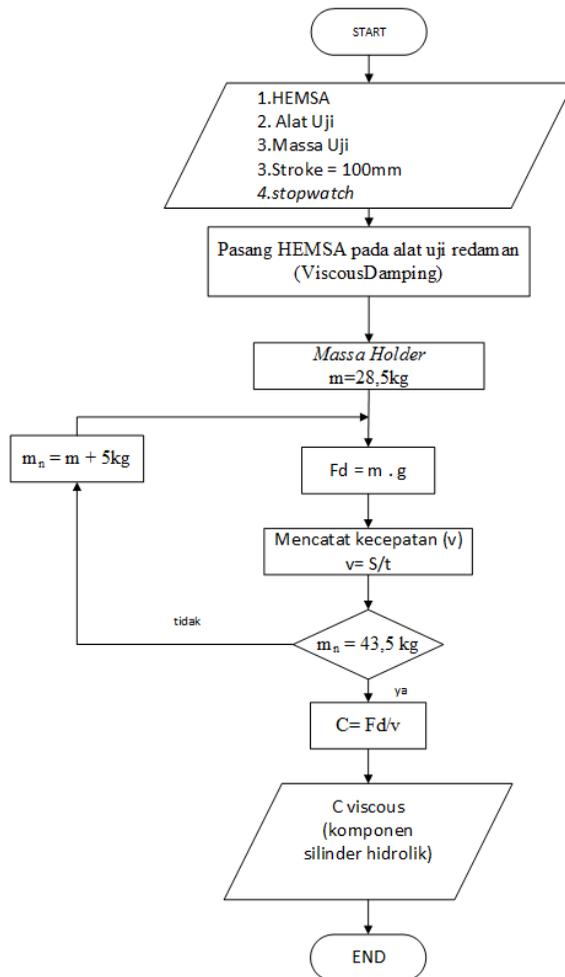


Gambar 3. 3 Mekanisme pengujian *viscous+gear transmission damping*



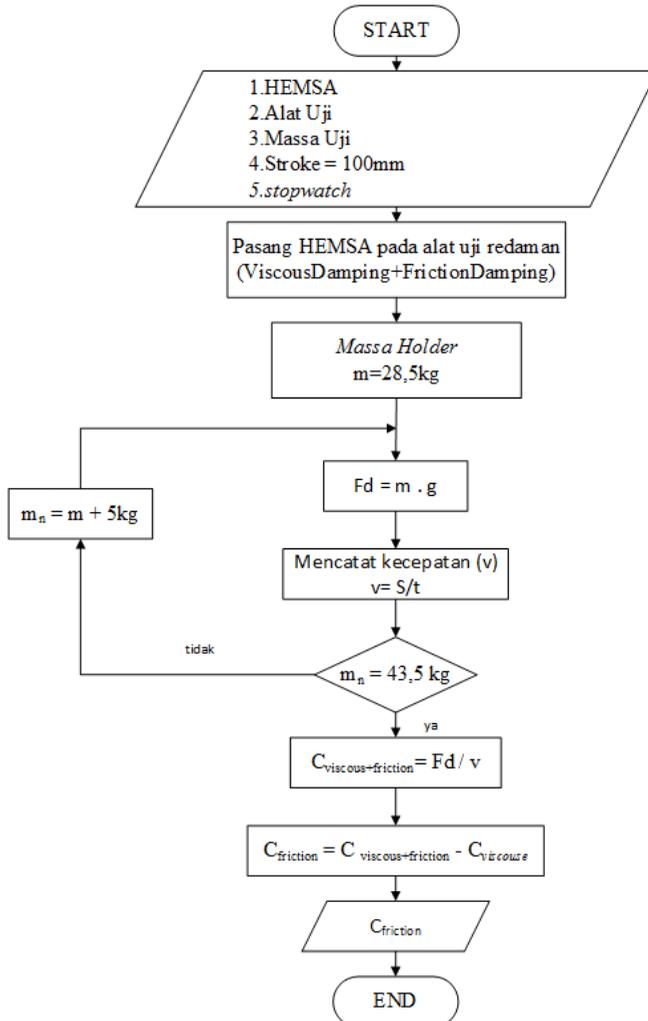
Gambar 3. 4 Mekanisme pengujian *viscous damping*

1. Pengujian nilai redaman komponen HEMSA
 a. Komponen Silinder Hidrolik (*Viscous damping*)



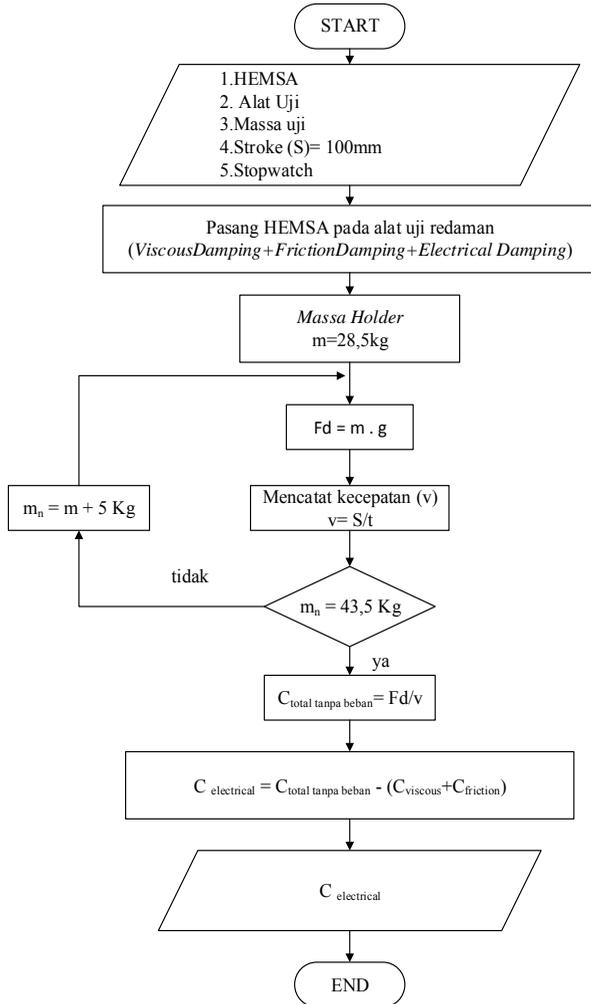
Gambar 3. 5 Flowchart pengujian *viscous damping*

- b. Komponen Viscous dan Mekanik (*Viscous damping dan friction damping*)



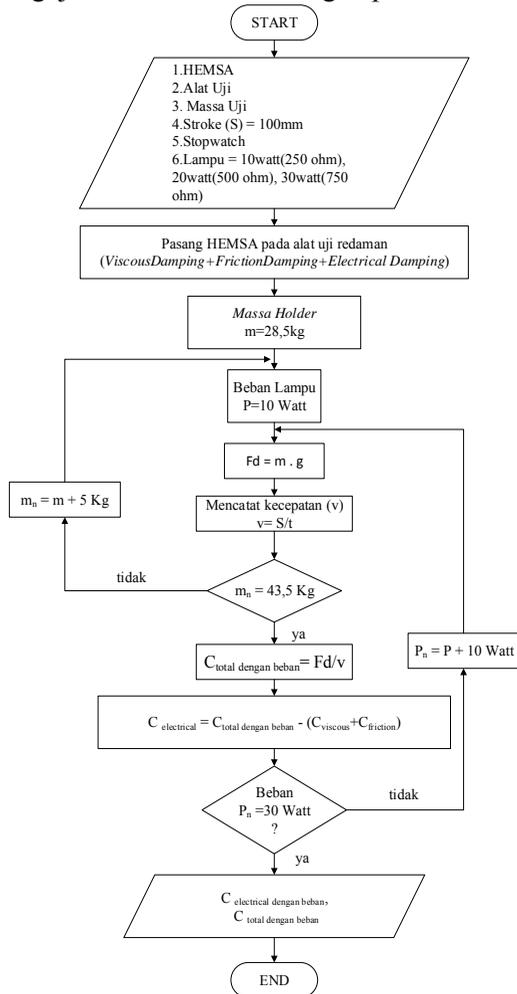
Gambar 3. 6 Flochart pengujian *viscous dan friction damping*

c. Komponen Total HEMSA



Gambar 3. 7 Flowchart pengujian nilai redaman total tanpa beban generator

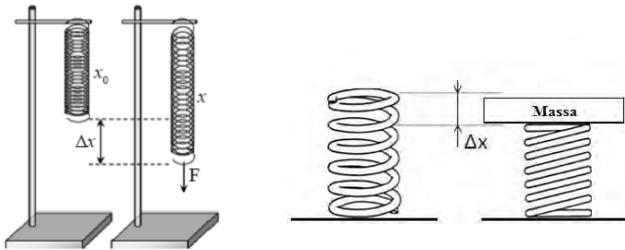
2. Pengujian nilai redaman dengan pembebanan listrik



Gambar 3. 8 Pengujian nilai redaman HEMSA dengan beban listrik (250 ohm;500ohm;83 Ohm)

3.2.2 Penentuan koefisien spring(pegas)

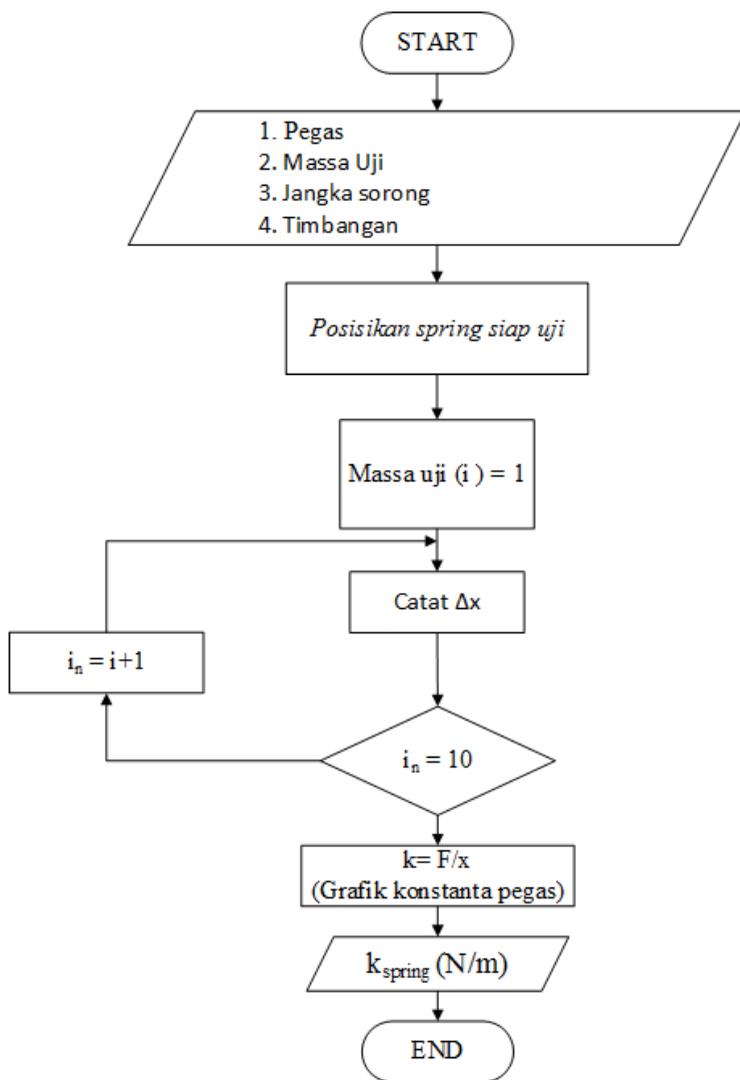
Pengujian koefisien dilakukan dengan memberikan massa penekanan pada *spring* kemudian dicatat perubahan panjang pada *spring* (Δx). Dari data yang diperoleh akan dihitung nilai koefisien spring (k) sesuai dengan Hukum Hooke, yaitu $F = k \cdot \Delta x$.



Gambar 3. 9 Pengujian Konstanta Pegas Suspensi HEMSA

Pada pengujian untuk mencari konstanta pegas dilakukan 5 variasi beban massa, pembebanan tersebut diberikan sesuai dengan daerah kerja elastisitas pegas saat massa uji dinamis. Misalnya pada pengujian mekanisme suspensi dengan massa uji 250 kg, maka variasi beban pengujian di berikan antara 200 kg – 300 kg.

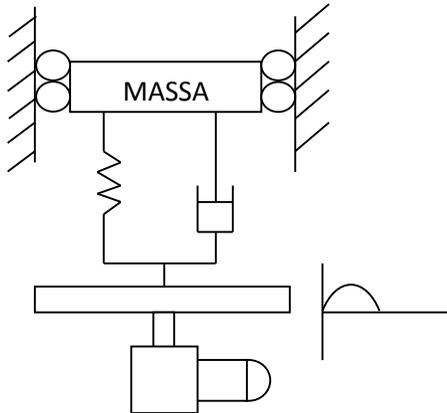
Langkah pengujian untuk mencari konstanta pegas yang digunakan pada suspense dari HEMSA dapat dilihat pada gambar 3.10 di bawah ini ;



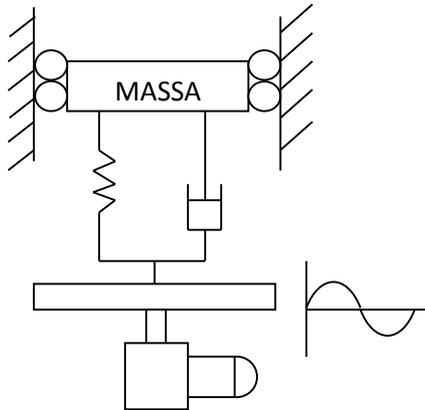
Gambar 3. 10 Flowchart Pengujian kekakuan Pegas

3.2.3 Pengujian Karakteristik Suspensi dengan HEMSA

Pada tahapan pengujian mekanisme suspensi kendaraan bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari suspensi ketika mendapat variasi kecepatan gaya eksitasi dan amplitudo eksitasi. Dari pengujian ini akan didapatkan respon massa masing-masing pengujian, yaitu dengan eksitasi harmonik dan eksitasi impuls. Mengenai mekanisme pengujian eksitasi getaran tersebut dapat dilihat pada gambar 3.11 dan 3.12.



Gambar 3. 11 Pengujian eksitasi impuls

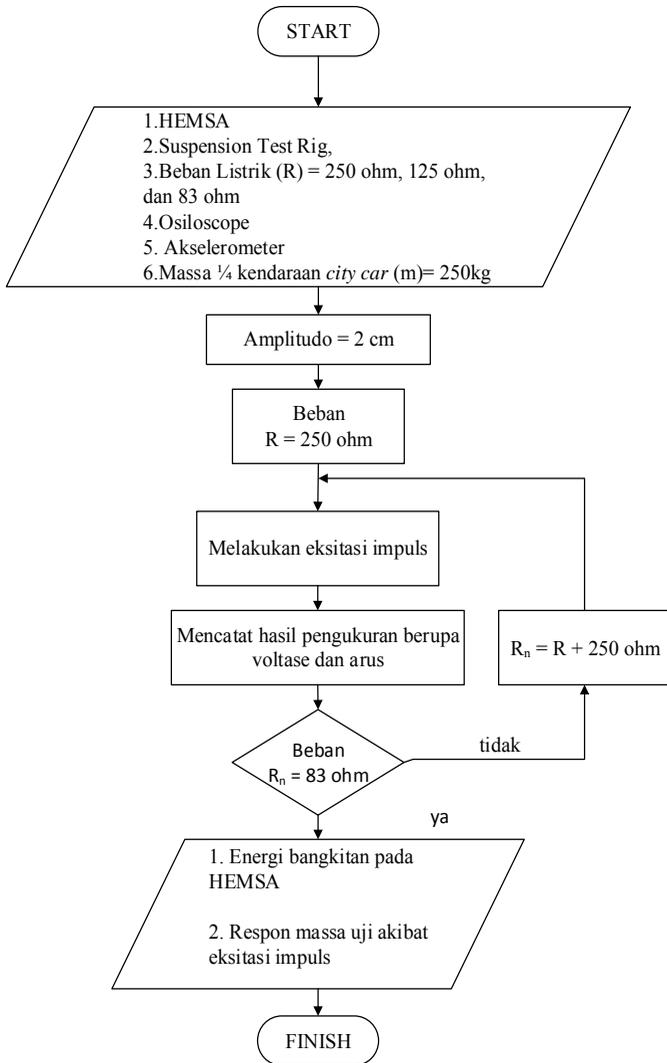


Gambar 3. 12 Pengujian eksitasi harmonik

Uji mekanisme HEMSA dilakukan dengan massa 250 kg $\frac{1}{4}$ massa kendaraan perkotaan(*city car*), yaitu sebagai berikut

3.2.3.1. Pengujian dengan Eksitasi Impuls

1. Input pada pengujian tersebut berupa eksitasi impuls
2. Massa uji yang digunakan 250 kg (massa $\frac{1}{4}$ kendaraan)
3. Amplitudo yang digunakan pada pengujian karakteristi suspensi adalah 2 cm.
4. Menganalisa respon massa uji (sprung mass) dan massa landasan (unsprung mass) pada akibat dari eksitasi impuls yang diberikan.



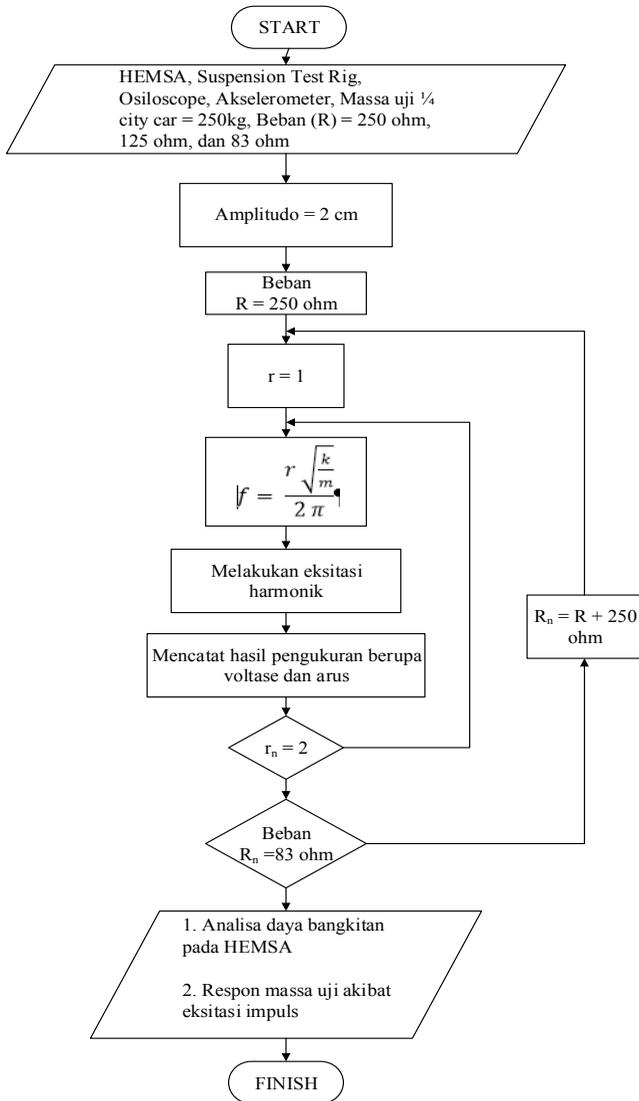
Gambar 3. 13 Flowchart Pengujian Eksitasi Impuls

3.2.3.2. Pengujian dengan Eksitasi harmonik

1. Input pada pengujian tersebut berupa eksitasi harmonik
2. Massa uji yang digunakan 250 kg (massa $\frac{1}{4}$ kendaraan) kemudian dihitung *damping ratio*, dengan rumus :

$$\zeta = \frac{c}{c_c} = \frac{c}{2\sqrt{km}}$$

3. Amplitudo yang digunakan pada pengujian karakteristi suspensi adalah 2 cm.
4. Menganalisa respon massa uji (sprung mass) dan massa landasan (unsprung mass) pada akibat dari eksitasi yang diberikan

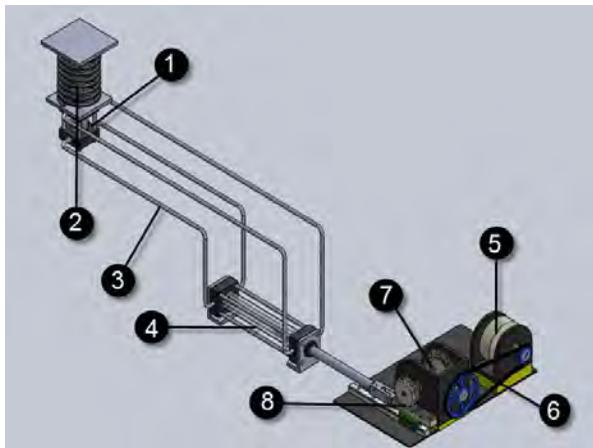


Gambar 3. 14 Flowchart pengujian eksitasi harmonik

3.2 Peralatan Yang Digunakan

3.3.1 HEMSA(sebagai regenerative shock absorber)

Hydraulic electro mechanic shock absorber (HEMSA) merupakan *regenerative shock absorber* hasil rancangan yang akan diuji. Prinsip kerja dari alat ini adalah memanfaatkan energy kinetik pada gerakan suspensi kendaraan, dimana energi tersebut ditransfer ke sebuah aktuator hidrolik. Gaya yang ditransfer dari hidrolik kemudian ditransmisikan oleh sebuah *system gearbox* dengan penghubung *rack dan pinion* dari hidrolik aktuator ke *gearbox* tersebut yang berfungsi merubah arah gerakan translasi menjadi gerakan rotasi searah. Keluaran daya dari *gearbox* tersebut kemudian dihubungkan oleh sebuah *system v-belt pulley* ke sebuah generator untuk menambah putaran dari *gearbox*, keluaran dari generator tersebut berupa energi listrik kemudian ditransfer sebagai energi bangkitan.



Gambar 3. 15 Konstruksi HEMSA hasil rancangan
(1.Absorber HEMSA 2.Pegas 3.Selang 4.Hidrolik Aktuator
5.Generator 6.Mekanisme Belt&Pulley 7.Transmisi oneway Bevel
Gear 8.Rack&Pinion gear)

Spesifikasi Alat

Parameter	Nilai(unit)
Diameter dalam hidrolis absorber	40 mm
Diameter dalam hidrolis aktuator	40 mm
Diameter rod hidrolis absorber	25 mm
Diameter rod hidrolis actuator	25 mm
Rasio Transmissi	1 : 5
Jenis fluida	SAE 10W
Diameter dalam selang	9.525 mm (3/8 inch)

3.3.2 Suspension Test Rig

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



Gambar 3. 16 *Suspension Tes rig*(Alat pengujian)^[9]

3.3.3 Oscilloscope

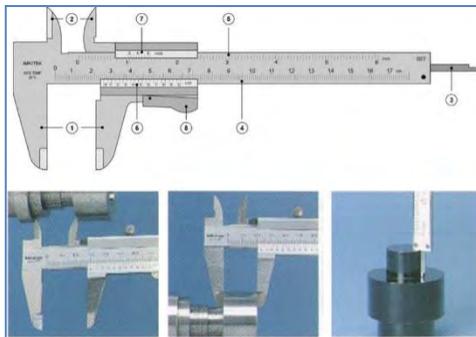
Oscilloscope adalah alat yang dapat menunjukkan grafik sinusoidal voltase bangkitan dari sebuah sistem yang telah dihubungkan sebelumnya. Alat ini dihubungkan dengan alat pengujian sebagai alat uji untuk mengetahui energi bangkitan dan hasil respon massa pada pengujian karakteristik suspensi dari alat tersebut. Tipe dari Oscilloscope tersebut adalah tektronik P 220 200 MHz 1X/10X.



Gambar 3. 17 *Oscilloscope*

3.3.4 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.

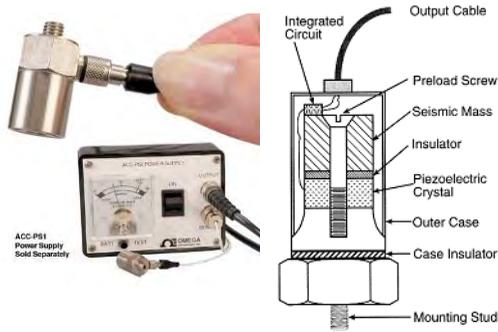


Gambar 3. 18 Jangka Sorong

3.3.5 Akselerometer

Akselerometer adalah sebuah transduser yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, ataupun untuk mengukur percepatan akibat gravitasi bumi. *Accelerometer* 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. Pada penelitian ini akselerometer dipasang pada peralatan uji eksitasi milik laboratorium Jurusan Teknik Mesin-ITS dengan Merk *OMEGA tipe ACC 103*.



Gambar 3. 19 Accelerometer sensor

3.3.6 Stopwatch

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



Gambar 3. 20 Stopwatch

3.3 Rencana Kegiatan Penelitian

Untuk mengerjakan tugas akhir ini, peneliti menyusun jadwal dan target penelitian yang tergambar pada gambar dibawah ini :

No.	Kegiatan	Bulan																							
		Juli				Agustus				September				Oktober				Nopember				Desember			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1	Studi literatur	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■								
2	Observasi	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■												
3	Pembuatan alat																								
4	Penulisan laporan																	■	■	■	■				
5	Sidang Proposal																								
6	Sidang TA																							■	

Gambar 3. 21 Jadwal penelitian yang direncanakan

BAB IV HASIL PENGUJIAN DAN ANALISA

4.1 Penentuan konstanta pegas

4.1.1 Metode pengujian

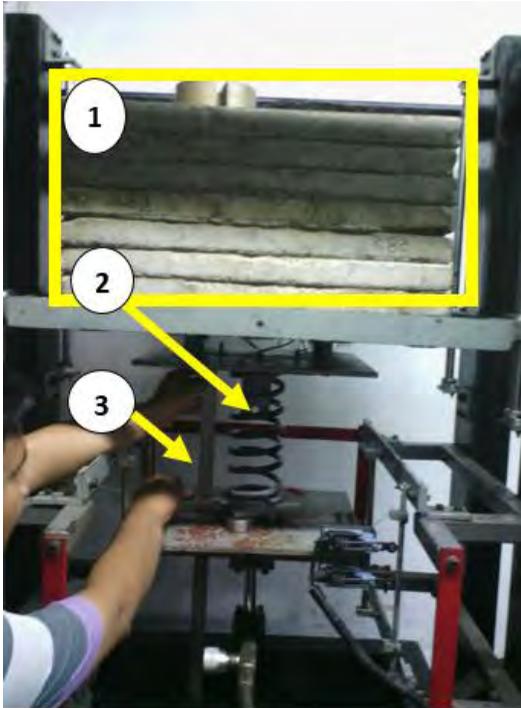
Untuk mengetahui nilai konstanta dari pegas yang digunakan pada pengujian mekanisme suspensi, pengujian dilakukan pada alat suspension test rig milik laboratorium desain. Prinsip kerjanya yaitu dengan memberikan variasi beban massa di atasnya. Sehingga dari pemberian beban tersebut didapatkan jarak defleksi pegas (Δx). Dalam pengambilan pengujian dari konstanta pegas dilakukan dengan memberikan 7 variasi beban sebanyak 15 kali.



Gambar 4. 1Mekanisme Pengujian Pegas (*Spring*)

Peralatan yang digunakan

1. Pegas
2. Beban massa (200 kg – 300 kg)
3. Penggaris
4. *Suspension tes rig* (sebagai landasan dan tempat pegas saat pengujian)



Gambar 4. 2 Pengujian Spring (1. Massa (kg) 2. Pegas 3. Penggaris)

Pengujian nilai konstanta pegas yang digunakan dalam mekanisme suspensi HEMSA adalah dengan mencari nilai defleksi (ΔX) pegas. Variasi beban yang digunakan untuk mencari defleksi pegas saat pembebanan diberikan 7 variasi beban massa, yaitu antara 217.9 kg sampai 277.9 kg. Dari jarak

defleksi pegas yang diketahui maka nantinya didapatkan nilai konstanta pegas pada masing-masing pembebanan, dimana massa adalah sebagai gaya berat ($W = F$).

4.1.2 Hasil pengujian nilai K (konstanta pegas)

Proses pengambilan data tersebut dilakukan sebanyak 15 kali dengan menggunakan 7 beban yang bervariasi dan berikut adalah data hasil pengujian konstanta pegas dapat dilihat pada tabel 4.1. di bawah ini.

Tabel 4. 1 Pengujian Konstanta Pegas

No.	Massa(kg)	W(N)	$\Delta W(N)$	X(m)	$\Delta X(m)$	K(N/m)
1	0	0	0	0.31	0	0
2	217.9	-2137.6	-2137.6	0.260	-0.05	42752
3	227.9	-2235.7	-98.1	0.258	-0.052	42994
4	237.9	-2333.8	-98.1	0.257	-0.053	44034
5	247.9	-2431.9	-98.1	0.255	-0.055	44216
6	257.9	-2530.0	-98.1	0.253	-0.057	44386
7	267.9	-2628.1	-98.1	0.251	-0.059	44544
8	277.9	-2726.2	-98.1	0.250	-0.06	45437
9	277.9	2726.2	0.0	0.250	0.060	45437
10	267.9	2628.1	98.1	0.251	0.059	44544
11	257.9	2530.0	98.1	0.252	0.058	43621
12	247.9	2431.9	98.1	0.255	0.055	44216
13	237.9	2333.8	98.1	0.258	0.052	44881
14	227.9	2235.7	98.1	0.260	0.050	44714
15	217.9	2137.6	98.1	0.262	0.048	44533
Rata-rata						44308

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

Dengan menggunakan rumus Hukum Hooke :

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

Dari data percobaan yang telah dilakukan untuk mengetahui konstanta pegas dapat dihitung pada contoh perhitungan dibawah ini :

Contoh perhitungan untuk mendapatkan nilai dari table 4.1.

1. Perubahan Gaya Beban

$$F = W$$

$$W = (217.9 \times 9.81)N - 0 = 2137.6 \text{ N}$$

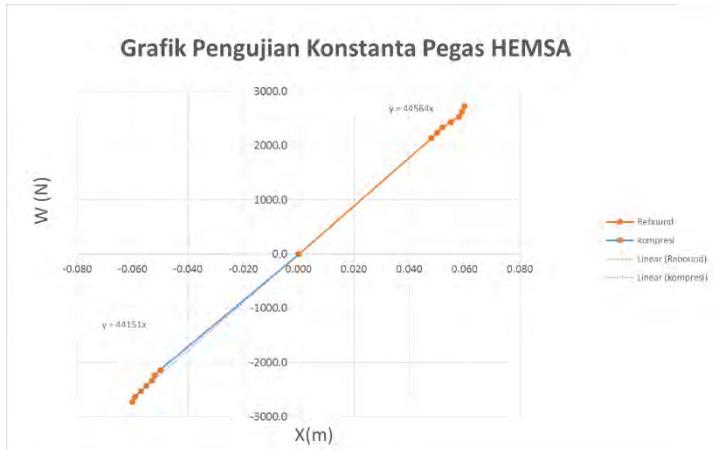
2. Perubahan Panjang Pegas (ΔX)

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

Jadi,

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

Dari perhitungan dengan melakukan variasi pembebanan pegas diatas , variasi pembebanan tersebut dilakukan secara terbalik untuk mengetahui defleksi kompresi dan rebound dari pegas. Gambar grafik kompresi dan rebound dari pegas tersebut dapat dilihat pada gambar 4.3.



Gambar 4. 3 Grafik Perhitungan Nilai Konstanta Pegas

Dari grafik dan tabel diatas dapat kita lihat bahwa dengan beban sebesar $(217.9 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2) = 2137.6 \text{ N}$ didapatkan perubahan panjang sebesar 0.05 m, sedangkan pada beban sebesar $(277.9 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2) = 812.76 \text{ N}$ didapatkan perubahan panjang sebesar 0.06 m.

Dari gambar 4.3 dan tabel 4.1 diatas dapat disimpulkan 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 4.3 bahwa garis hampir terlihat lurus atau mendekati linier.

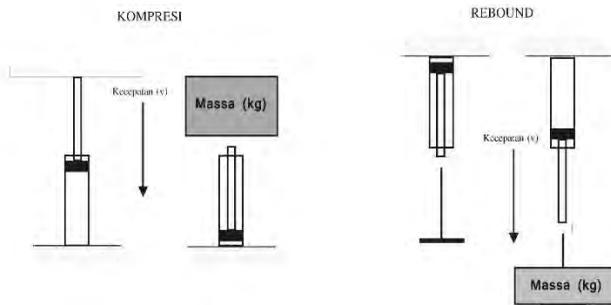
Sehingga pemilihan nilai konstanta pegas HEMSA pada pengujian mekanisme suspensi yang dilakukan di laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi serta dipilih berdasarkan dimensi pegas yang tersedia dan dapat dipasang dengan Absorber hasil rancangan (HEMSA). Sehingga dapat diuji pada tes rig suspension (simulasi 1/4 kendaraan). Jadi dari

pengujian nilai konstanta pegas didapat nilai K sebesar **44357.5** N/m dan nilai tersebut dipakai dalam perhitungan mekanisme suspensi kendaraan pengujian.

4.2 Perhitungan nilai koefisien redaman

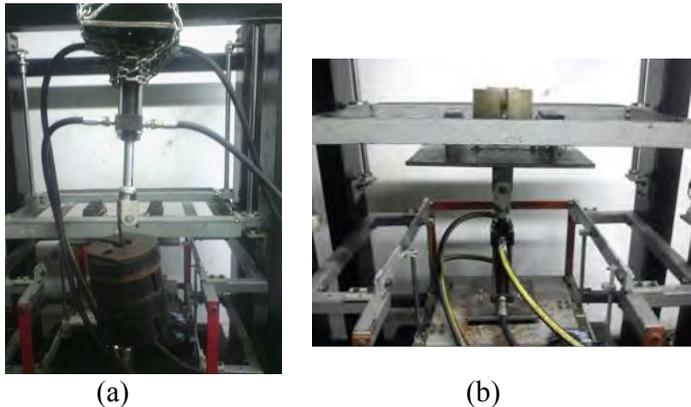
4.2.1 Metode pengujian statis

Pengujian untuk mengetahui nilai redaman dilakukan dengan memberikan variasi pembebanan. Pada percobaan ini dilakukan 3 variasi pembebanan dengan 3 kali pengujian. Pada pengujian ini hanya dilakukan untuk mengetahui kecepatan turun absorber saat kompresi dan rebound. Metode pembebanan pada percobaan tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini:



Gambar 4. 4 Mekanisme Pengujian statis nilai redaman *compression* dan *rebound*

Pada pengujian nilai redaman pada HEMSA dilakukan dengan 3 variasi beban lampu pada generator yaitu dengan lampu yang dipasang secara seri 1×10 Watt (250 ohm), 2×10 Watt (125 Ohm), 3×10 Watt (83 Ohm). Sehingga dari pengujian statis nilai c_d didapatkan 3 nilai redaman dengan masing-masing pembebanan listrik tersebut.



Gambar 4. 5 Foto saat Pengujian statis nilai redaman
(a) *rebound* dan (b) *compression*

4.2.2 Pengujian nilai redaman HEMSA tanpa pembebanan listrik

4.2.1.1. Hasil dan Data nilai redaman total tanpa beban

Pengujian untuk mencari nilai redaman dari HEMSA dengan tanpa pembebanan dilakukan dengan memberikan gaya penekanan untuk kompresi dan gaya tarikan untuk rebound. Variasi beban tersebut diberikan 3 jenis massa pembebanan pada masing-masing pengujian serta dilakukan pengulangan sebanyak 3 kali. Kemudian masing-masing dari nilai redaman

tersebut didapatkan nilai c kompresi dan c rebound sehingga didapatkan nilai redaman total tanpa pembebanan listrik (C_d).

Dari data hasil pengujian pada Tabel 4.2 dan Tabel 4.3 didapatkan nilai kecepatan pembebanan dan nilai redaman kompresi dan rebound dari HEMSA tanpa pembebanan listrik. Perhitungan dari nilai redaman tersebut dilakukan sebagai berikut:

Contoh perhitungan mencari nilai redaman

1. Gaya

$$\begin{aligned} F &= m \cdot g \\ &= 28.45 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 \\ &= 279.095 \text{ N} \end{aligned}$$

2. Kecepatan eksitasi:

$$\begin{aligned} \text{Veks} &= \frac{\text{Stroke}}{\text{Time}} \\ &= \frac{0.1 \text{ m}}{1.25 \text{ sec}} = 0.08 \text{ m/s} \end{aligned}$$

3. Koefisien redaman:

$$\begin{aligned} C_d &= \frac{F}{\text{Veks}} \\ &= \frac{279.09 \text{ N}}{0.08 \text{ m/s}} = 3489 \text{ N.s/m} \end{aligned}$$

Perhitungan diatas digunakan untuk menghitung nilai redaman pada seluruh data yang didapatkan dari pengujian. Hasil

perhitungan nilai redaman tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 2 Data hasil pengujian nilai redaman kompresi total tanpa pembebanan

Massa (kg)	Gaya (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)
28.45	279.095	1.25	0.1
28.45	279.095	1.34	0.1
28.45	279.095	1.3	0.1
33.45	328.145	1.03	0.1
33.45	328.145	1	0.1
33.45	328.145	1.05	0.1
38.45	377.195	0.96	0.1
38.45	377.195	0.83	0.1
38.45	377.195	0.84	0.1

Tabel 4. 3 Data hasil pengujian nilai redaman rebound total tanpa pembebanan

Massa + holder (kg)	Gaya (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)
30	294.300	1.87	0.1
30	294.300	1.78	0.1
30	294.300	1.67	0.1
35	343.350	1.45	0.1
35	343.350	1.55	0.1
35	343.350	1.44	0.1
40	392.400	1.25	0.1
40	392.400	1.27	0.1
40	392.400	1.19	0.1

1. Nilai redaman kompresi total tanpa pembebanan listrik

Tabel 4. 4 Perhitungan nilai redaman kompresi total tanpa pembebanan (massa 28.45 kg)

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	279.095	0.08	3489
2	279.095	0.07	3740
3	279.095	0.08	3628
Rata-rata	279.095	0.08	3619

Tabel 4. 5 Perhitungan nilai redaman kompresi total tanpa pembebanan (massa 33.45 kg)

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	328.145	0.097	3380
2	328.145	0.100	3281
3	328.145	0.095	3446
Rata-rata	328.145	0.097	3369

Tabel 4. 6 Perhitungan nilai redaman kompresi total tanpa pembebanan (massa 38.45 kg)

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	377.195	0.104	3621
2	377.195	0.120	3131
3	377.195	0.119	3168
Rata-rata	377.195	0.115	3307

Dari tabel diatas didapatkan nilai redaman kompresi rata-rata yaitu sebesar :

$$C_{\text{compression}} = \frac{3619+3369+3307}{3} = \mathbf{3432 \text{ N.s/m}}$$

2. Nilai redaman rebound total tanpa pembebanan listrik
Tabel 4. 7 Perhitungan nilai redaman Rebound total tanpa pembebanan (massa 30 kg)

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	294.300	0.053	5503
2	294.300	0.056	5239
3	294.300	0.060	4915
Rata-rata	294.300	0.057	5219

Tabel 4. 8 Perhitungan nilai redaman Rebound total tanpa pembebanan (massa 35 kg)

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	343.350	0.069	4979
	343.350	0.065	5322
3	343.350	0.069	4944
Rata-rata	343.350	0.068	5082

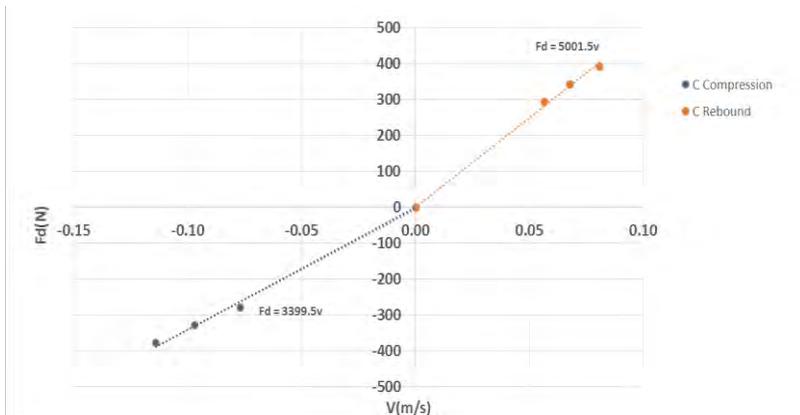
Tabel 4. 9 Perhitungan nilai redaman Rebound total tanpa pembebanan (massa 40 kg)

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	392.400	0.080	4905
2	392.400	0.079	4983
3	392.400	0.084	4670
Rata-rata	392.400	0.081	4853

Dari tabel diatas didapatkan nilai redaman rebound rata-rata yaitu sebesar :

$$C_{\text{rebound}} = \frac{5219+5082+4853}{3} = \mathbf{5051 \text{ N.s/m}}$$

Dari perhitungan nilai redaman dengan cara menghitung kecepatan rata-rata pada masing – masing gaya pembebanan didapatkan grafik hubungan gaya redaman terhadap kecepatan eksitasi beban massa. Grafik tersebut dapat ditunjukkan pada gambar 4.5 di bawah ini.



Gambar 4. 6 Grafik nilai redaman total tanpa pembebanan listrik

Dari grafik diatas terlihat nilai koefisien redaman untuk gaya rebound terjadi perbedaan dengan koefisien redaman untuk gaya kompresi. Sehingga untuk mencari koefisien redaman total diambil nilai koefisien redaman rata-rata dari rebound dan kompresi.

Pada gambar grafik diatas nilai redaman total tanpa pembebanan listrik menunjukkan hubungan antara gaya

redaman(F_d) dengan kecepatan (v), dimana gaya redaman(F_d) berbanding lurus dengan kecepatan(v), yaitu semakin besar gaya yang diberikan semakin besar kecepatannya. Hal ini terbukti pada rumus $F_d = c \cdot v$ dimana nilai c adalah gradien atau konstanta kemiringan garis linier grafik hasil pengujian nilai redaman. Dari grafik diatas dapat diketahui pada garis linier untuk nilai c_{kompresi} yaitu sebesar 3399.5 N.s/m sedangkan untuk nilai c_{rebound} sebesar 5001.5 N.s/m. Sehingga nilai redaman total (C_d) diperoleh dari rata-rata nilai redaman kompresi dan rebound, yaitu sebesar **4200.5** N.s/m.

4.2.1.2. Hasil dan data nilai redaman Hydraulic (Viscous damping)

1. Nilai redaman **kompresi** *viscous*

Tabel 4. 10 Data hasil pengujian nilai redaman kompresi viscous

Massa (kg)	Massa + holder (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)
	0	0	0	0
0	28.45	279.095	0.72	0.1
0	28.45	279.095	0.6	0.1
0	28.45	279.095	0.64	0.1
5	33.45	328.145	0.43	0.1
5	33.45	328.145	0.47	0.1
5	33.45	328.145	0.52	0.1
10	38.45	377.195	0.36	0.1
10	38.45	377.195	0.4	0.1
10	38.45	377.195	0.36	0.1

Tabel 4. 11 Perhitungan nilai redaman kompresi viscous (massa 28.45 kg)

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	279.095	0.139	2009
2	279.095	0.167	1675
3	279.095	0.156	1786
Rata-rata	279.095	0.154	1823

Tabel 4. 12 Perhitungan nilai redaman kompresi viscous (massa 33.45 kg)

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	328.145	0.233	1411
2	328.145	0.213	1542
3	328.145	0.192	1706
Rata-rata	328.145	0.213	1553

Tabel 4. 13 Perhitungan nilai redaman kompresi viscous (massa 38.45 kg)

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	377.195	0.278	1358
2	377.195	0.250	1509
3	377.195	0.278	1358
Rata-rata	377.195	0.269	1408

Dari tabel diatas didapatkan nilai redaman rebound rata-rata yaitu sebesar :

$$C_{\text{compression}} = \frac{1823+1553+1408}{3} = \mathbf{1595 \text{ N.s/m}}$$

2. Nilai redaman **rebond** *viscous*

Tabel 4. 14 Data hasil pengujian nilai redaman rebond viscous

Massa (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)
30	294.300	0.9	0.1
30	294.300	0.88	0.1
30	294.300	0.77	0.1
35	343.350	0.55	0.1
35	343.350	0.57	0.1
35	343.350	0.52	0.1
40	392.400	0.48	0.1
40	392.400	0.4	0.1
40	392.400	0.33	0.1

Tabel 4. 15 Perhitungan nilai redaman rebond massa 30 kg

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	294.300	0.111	2649
2	294.300	0.114	2590
3	294.300	0.130	2266
Rata-rata	294.300	0.118	2502

Tabel 4. 16 Perhitungan nilai redaman rebond massa 35 kg

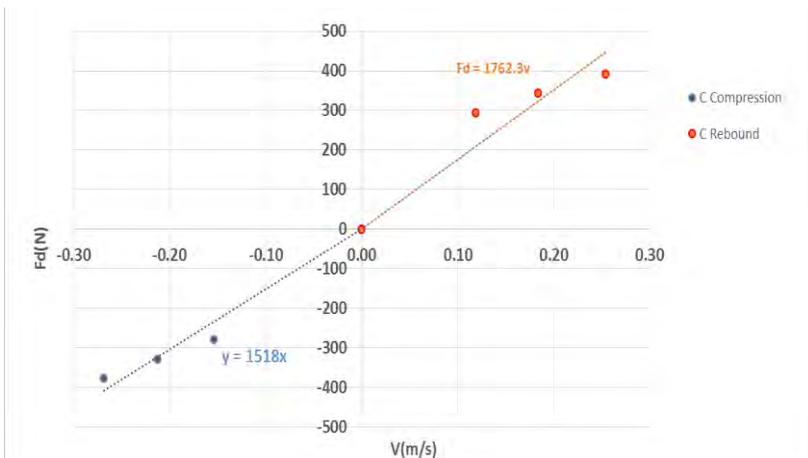
Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	343.350	0.182	1888
2	343.350	0.175	1957
3	343.350	0.192	1785
Rata-rata	343.350	0.183	1877

Tabel 4. 17 Perhitungan nilai redaman rebound massa 40 kg

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	392.400	0.208	1884
2	392.400	0.250	1570
3	392.400	0.303	1295
Rata-rata	392.400	0.254	1583

Dari tabel diatas didapatkan nilai redaman rebound rata-rata yaitu sebesar :

$$C_{\text{rebound}} = \frac{2502+1877+1583}{3} = 1987 \text{ N.s/m}$$



Gambar 4. 6 Grafik nilai redaman *viscous* HEMSA

Pada gambar 4.6 grafik diatas nilai redaman total tanpa pembebanan listrik menunjukkan hubungan antara gaya redaman (F_d) dengan kecepatan (v), dimana gaya redaman(F_d) berbanding lurus dengan kecepatan(v), yaitu semakin besar gaya yang diberikan semakin besar kecepatannya. Hal ini terbukti pada rumus $F_d = c.v$ dimana nilai c adalah gradien atau konstanta kemiringan garis linier grafik hasil pengujian nilai redaman. Dari grafik diatas dapat diketahui pada garis linier untuk nilai $c_{kompresi}$ yaitu sebesar 1518 N.s/m sedangkan untuk nilai $c_{rebound}$ sebesar 1762.3 N.s/m. Sehingga nilai redaman total (C_d) diperoleh dari rata-rata nilai redaman kompresi dan rebound,yaitu sebesar 1640.15 N.s/m.

4.2.1.3. Hasil dan data nilai redaman Viscous dan Mechanic (hydraulic Mechanical damping)

1. Nilai redaman **kompresi** *viscous* dan *mechanic*

Tabel 4. 18 Data hasil pengujian nilai redaman kompresi viscous dan mechanic

Massa (kg)	Massa + holder (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)
	0	0	0	0
0	28.45	279.095	0.93	0.1
0	28.45	279.095	0.96	0.1
0	28.45	279.095	0.8	0.1
5	33.45	328.145	0.62	0.1
5	33.45	328.145	0.6	0.1
5	33.45	328.145	0.61	0.1
10	38.45	377.195	0.49	0.1
10	38.45	377.195	0.48	0.1
10	38.45	377.195	0.63	0.1

Tabel 4. 19 Perhitungan nilai redaman kompresi viscous dan mechanic (massa 28.45 kg)

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	279.095	0.108	2596
2	279.095	0.104	2679
3	279.095	0.125	2233
Rata-rata	279.095	0.112	2503

Tabel 4. 20 Perhitungan nilai redaman kompresi viscous dan mechanic (massa 33.45 kg)

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	328.145	0.161	2034
2	328.145	0.167	1969
3	328.145	0.164	2002
Rata-rata	328.145	0.164	2002

Tabel 4. 21 Perhitungan nilai redaman kompresi viscous dan mechanic (massa 38.45 kg)

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	377.195	0.204	1848
2	377.195	0.208	1811
3	377.195	0.159	2376
Rata-rata	377.195	0.190	2012

Dari tabel diatas didapatkan nilai redaman kompresi rata-rata yaitu sebesar :

$$C_{\text{compression}} = \frac{2503+2002+2012}{3} = \mathbf{2172 \text{ N.s/m}}$$

2. Nilai redaman **rebound** *viscous* dan *mechanic*

Tabel 4. 22 Data hasil pengujian nilai redaman rebound viscous dan mechanic

Massa (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)
30	294.300	1.11	0.1
30	294.300	1.15	0.1
30	294.300	1.08	0.1
35	343.350	0.87	0.1
35	343.350	0.77	0.1
35	343.350	0.67	0.1
40	392.400	0.51	0.1
40	392.400	0.52	0.1
40	392.400	0.33	0.1

Tabel 4. 23 Perhitungan nilai redaman rebound *viscous* dan *mechanic* (massa 30 kg)

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	294.300	0.090	3267
2	294.300	0.087	3384
3	294.300	0.093	3178
Rata-rata	294.300	0.090	3277

Tabel 4. 24 Perhitungan nilai redaman rebound viscous dan mechanic (massa 35 kg)

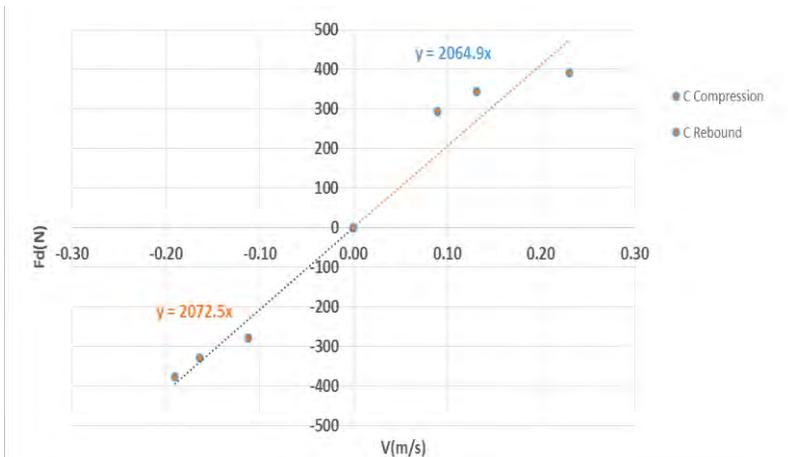
Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	343.350	0.115	2987
2	343.350	0.130	2644
3	343.350	0.149	2300
Rata-rata	343.350	0.131	2644

Tabel 4. 25 Perhitungan nilai redaman rebound viscous dan mechanic (massa 40 kg)

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	392.400	0.19608	2001
2	392.400	0.19231	2040
3	392.400	0.30303	1295
Rata-rata	392.400	0.230	1779

Dari tabel diatas didapatkan nilai redaman rebound rata-rata yaitu sebesar :

$$C_{\text{rebound}} = \frac{3277+2644+1779}{3} = \mathbf{2567 \text{ N.s/m}}$$



Gambar 4. 6 Grafik nilai redaman viscous+Mechanic HEMSA

Pada gambar 4.6 grafik diatas nilai redaman total tanpa pembebanan listrik menunjukkan hubungan antara gaya redaman (F_d) dengan kecepatan (v), dimana gaya redaman (F_d) berbanding lurus dengan kecepatan(v), yaitu semakin besar gaya yang diberikan semakin besar kecepataannya. Hal ini terbukti pada rumus $F_d = c.v$ dimana nilai c adalah gradien atau konstanta kemiringan garis linier grafik hasil pengujian nilai redaman. Dari grafik diatas dapat diketahui pada garis linier untuk nilai $c_{kompresi}$ yaitu sebesar 2072 N.s/m sedangkan untuk nilai $c_{rebound}$ sebesar 2064 N.s/m. Sehingga nilai redaman total (C_d) diperoleh dari rata-rata nilai redaman kompresi dan rebound,yaitu sebesar 2068 N.s/m.

4.2.3 Pengujian nilai redaman dengan pembebanan lampu

4.2.2.1. Pengujian nilai redaman HEMSA dengan pembebanan lampu 10 watt (250 ohm)

1. Nilai redaman **kompresi** dengan beban lampu 10 watt (250 ohm)

Tabel 4. 26 Data hasil pengujian nilai redaman kompresi 250 ohm

Massa (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)
28.45	279.095	1.49	0.1
28.45	279.095	1.45	0.1
28.45	279.095	1.45	0.1
33.45	328.145	1.2	0.1
33.45	328.145	1.2	0.1
33.45	328.145	1.14	0.1
38.45	377.195	0.97	0.1
38.45	377.195	0.92	0.1
38.45	377.195	0.87	0.1

Tabel 4. 27 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 30 kg
250 ohm

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	279.095	0.067	4159
2	279.095	0.069	4047
3	279.095	0.069	4047
Rata-rata	279.095	0.068	4084

Tabel 4. 28 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 35 kg
250 ohm

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	328.145	0.083	3938
2	328.145	0.083	3938
3	328.145	0.088	3741
Rata-rata	328.145	0.085	3872

Tabel 4. 29 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 40 kg
250 ohm

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	377.195	0.103	3659
2	377.195	0.109	3470
3	377.195	0.115	3282
Rata-rata	377.195	0.109	3470

$$C_{\text{compression250OHM}} = \frac{4084+3872+3470}{3} = \mathbf{3808.67 \text{ N.s/m}}$$

2. Nilai redaman **rebond** dengan beban lampu 10 watt (250 ohm)

Tabel 4. 30 Data hasil pengujian nilai redaman rebound 250 ohm

Massa (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)
	0	0	0
30	294.300	2.25	0.1
30	294.300	2.22	0.1
30	294.300	2.19	0.1
35	343.350	1.98	0.1
35	343.350	1.97	0.1
35	343.350	1.87	0.1
40	392.400	1.54	0.1
40	392.400	1.53	0.1
40	392.400	1.43	0.1

Tabel 4. 31 Perhitungan nilai redaman rebound massa 30 kg 250 ohm

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	294.300	0.04444	6622
2	294.300	0.04505	6533
3	294.300	0.04566	6445
Rata-rata	294.300	0.045	6533

Tabel 4. 32 Perhitungan nilai redaman rebound massa 35 kg
250 ohm

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	343.350	0.051	6798
2	343.350	0.051	6764
3	343.350	0.053	6421
Rata-rata	343.350	0.052	6661

Tabel 4. 33 Perhitungan nilai redaman rebound massa 40 kg
250 ohm

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	392.400	0.065	6043
2	392.400	0.065	6004
3	392.400	0.070	5611
Rata-rata	392.400	0.067	5886

$$C_{\text{rebound250 OHM}} = \frac{6533+6661+5886}{3} = \mathbf{6360 \text{ N.s/m}}$$

4.2.2.2. Pengujian nilai redaman HEMSA dengan pembebanan lampu 20 watt (125 ohm)

1. Nilai redaman **kompresi** dengan beban lampu 2x10 watt (125 ohm)

Tabel 4. 34 Data hasil pengujian nilai redaman kompresi 125 Ohm

Massa + holder (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)
0	0	0	0
28.45	279.095	1.41	0.1
28.45	279.095	1.38	0.1
28.45	279.095	1.42	0.1
33.45	328.145	1.25	0.1
33.45	328.145	1.15	0.1
33.45	328.145	1.23	0.1
38.45	377.195	1.2	0.1
38.45	377.195	1.1	0.1
38.45	377.195	1	0.1

Tabel 4. 35 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 28.45 kg 125 Ohm

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	279.095	0.071	3935
2	279.095	0.072	3852
3	279.095	0.070	3963
Rata-rata	279.095	0.071	3917

Tabel 4. 36 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 33.45 kg 125 Ohm

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	328.145	0.080	4102
2	328.145	0.087	3774
3	328.145	0.081	4036
Rata-rata	328.145	0.083	3971

Tabel 4. 37 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 38.45 kg 125 Ohm

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	377.195	0.083	4526
2	377.195	0.091	4149
3	377.195	0.100	3772
Rata-rata	377.195	0.091	4149

$$C_{\text{compression125OHM}} = \frac{3917+3971+4149}{3} = \mathbf{4012.34 \text{ N.s/m}}$$

2. Nilai redaman **rebond** dengan beban lampu 2x10 watt (125 Ohm)

Tabel 4. 38 Data hasil pengujian nilai redaman rebound 125 Ohm

Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)
	0	0	0	0
30	30	294.300	2.29	0.1
30	30	294.300	2.28	0.1
30	30	294.300	2.22	0.1
35	35	343.350	2.18	0.1
35	35	343.350	2.15	0.1
35	35	343.350	2.14	0.1
40	40	392.400	1.77	0.1
40	40	392.400	1.72	0.1
40	40	392.400	1.71	0.1

Tabel 4. 39 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 30 kg 125 Ohm

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	294.300	0.04367	6739
2	294.300	0.04386	6710
3	294.300	0.04505	6533
Rata-rata	294.300	0.044	6661

Tabel 4. 40 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 35 kg
125 Ohm

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	343.350	0.046	7485
2	343.350	0.047	7382
3	343.350	0.047	7348
Rata-rata	343.350	0.046	7405

Tabel 4. 41 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 40 kg
125 Ohm

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	392.400	0.056	6945
2	392.400	0.058	6749
3	392.400	0.058	6710
Rata-rata	392.400	0.058	6802

$$C_{\text{rebound 125OHM}} = \frac{6661+7405+6802}{3} = \mathbf{6956 \text{ N.s/m}}$$

4.2.2.3. Pengujian nilai redaman HEMSA dengan pembebanan lampu 3x10 watt (83 Ohm)

1. Nilai redaman **kompresi** dengan beban lampu 3x10 watt (83 Ohm)

Tabel 4. 42 Data hasil pengujian nilai redaman kompresi 83 Ohm

Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)
	0	0	0	0
0	28.45	279.095	1.58	0.1
0	28.45	279.095	1.58	0.1
0	28.45	279.095	1.42	0.1
5	33.45	328.145	1.26	0.1
5	33.45	328.145	1.23	0.1
5	33.45	328.145	1.25	0.1
10	38.45	377.195	0.96	0.1
10	38.45	377.195	1.09	0.1
10	38.45	377.195	1.1	0.1

Tabel 4. 43 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 28.45 kg 83 Ohm

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	279.095	0.063	4410
2	279.095	0.063	4410
3	279.095	0.070	3963
Rata-rata	279.095	0.066	4261

Tabel 4. 44 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 33.45 kg 83 Ohm

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	328.145	0.079	4135
2	328.145	0.081	4036
3	328.145	0.080	4102
Rata-rata	328.145	0.080	4091

Tabel 4. 45 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 38.45 kg 83 Ohm

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	377.195	0.104	3621
2	377.195	0.092	4111
3	377.195	0.091	4149
Rata-rata	377.195	0.096	3961

$$C_{\text{Compression83OHM}} = \frac{4261+4091+3961}{3} = 4104.34 \text{ N.s/m}$$

2. Nilai redaman **rebound** dengan beban lampu 3x10 watt (83 Ohm)

Tabel 4. 46 Data hasil pengujian nilai redaman rebound 83 Ohm

Massa (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)
	0	0	0
30	294.300	2.32	0.1
30	294.300	2.31	0.1
30	294.300	2.41	0.1
35	343.350	2.23	0.1
35	343.350	2.19	0.1
35	343.350	2.2	0.1
40	392.400	1.61	0.1
40	392.400	1.72	0.1
40	392.400	1.67	0.1

Tabel 4. 47 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 30 kg 83 Ohm

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	294.300	0.04310	6828
2	294.300	0.04329	6798
3	294.300	0.04149	7093
Rata-rata	294.300	0.043	6906

Tabel 4. 48 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 35 kg
83 Ohm

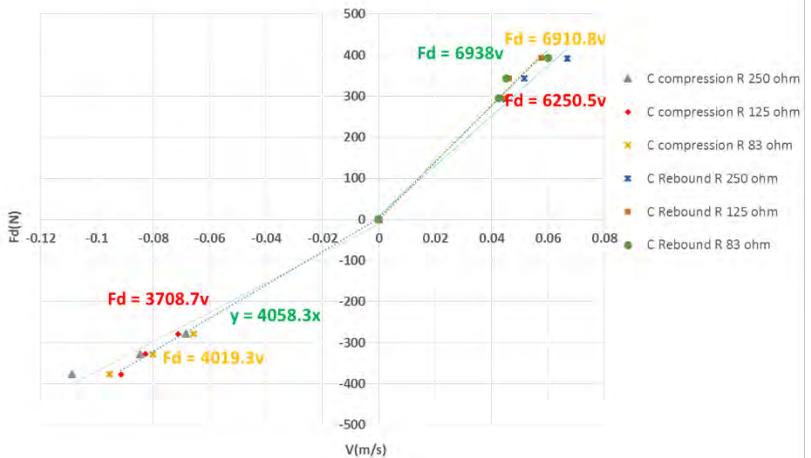
Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	343.350	0.045	7657
2	343.350	0.046	7519
3	343.350	0.045	7554
Rata-rata	343.350	0.045	7577

Tabel 4. 49 Perhitungan nilai redaman kompresi massa 40 kg
83 Ohm

Pengujian	Gaya(N)	Kecepatan(V)	C(N.s/m)
1	392.400	0.062	6318
2	392.400	0.058	6749
3	392.400	0.060	6553
Rata-rata	392.400	0.060	6540

$$C_{\text{rebound83OHM}} = \frac{6906 + 7577 + 6540}{3} = 7007.67 \text{ N.s/m}$$

Sehingga dari data tabel hasil pengujian statis diatas pada masing-masing pembebanan, yaitu 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm dapat diketahui nilai koefisien redaman dan dapat dilihat pada gambar 4.6 grafik berikut.



Gambar 4. 6 Grafik nilai redaman dengan pembebanan listrik 250 Ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm

Dari grafik diatas terlihat nilai koefisien redaman untuk gaya *rebound* terjadi perbedaan dengan koefisien redaman untuk gaya kompresinya. Sehingga untuk mencari koefisien redaman diambil nilai koefisien redaman rata-rata dari rebound dan kompresi. Dimana nilai koefisien redaman pada saat kompresi lebih kecil dibandingkan dengan saat rebound.

Pada gambar grafik diatas nilai redaman total tanpa pembebanan listrik menunjukkan hubungan antara gaya redaman(F_d) dengan kecepatan (v), dimana gaya redaman(F_d) berbanding lurus dengan kecepatan(v), yaitu semakin besar gaya yang diberikan semakin besar kecepatannya. Hal ini terbukti pada rumus $F_d = c.v$ dimana nilai c adalah gradien atau konstanta kemiringan garis linier grafik hasil pengujian nilai redaman. Dari grafik diatas dapat diketahui pada garis linier

untuk hambatan 250 Ohm nilai c_{kompresi} yaitu sebesar 3708.7 N.s/m sedangkan untuk nilai c_{rebound} sebesar 6250.5 N.s/m, pada saat diberikan hambatan 125 Ohm nilai c_{kompresi} yaitu sebesar 4019.5 N.s/m sedangkan untuk nilai c_{rebound} sebesar 6910.8 N.s/m sedangkan saat diberikan hambatan 83 Ohm nilai c_{kompresi} yaitu sebesar 4058.3 N.s/m sedangkan untuk nilai c_{rebound} sebesar 6938 N.s/m. Dari ketiga kondisi pembebanan yang disebutkan, diketahui juga bahwa semakin besar hambatan yang diberikan maka semakin besar pula koefisien redaman yang dihasilkan. Sehingga nilai redaman pada saat 3 variasi pembebanan, yaitu pada hambatan 250 Ohm sebesar 5484.5 Ns/m, pada hambatan 125 Ohm sebesar 5478 Ns/m dan pada hambatan 83 Ohm sebesar 4980 Ns/m.

4.2.2.4. Hasil dan data distribusi nilai redaman komponen HEMSA saat pembebanan generator 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm

Dari perhitungan nilai redaman dari HEMSA tanpa pembebanan listrik dapat diketahui masing-masing nilai redaman pada komponen HEMSA, yaitu pada komponen hidrolis atau *Viscous damping*, komponen Transmisi atau *Gear transmission damping* dan komponen generator atau *Electrical damping*. Perhitungan nilai redaman dari setiap komponen tersebut dapat dicari dengan perhitungan sebagai berikut:

1. *viscous damping* (C_v)
2. *gear transmission damping* (C_m)

$$C_m = C_{vm} - C_v$$

(Dimana nilai C_{vm} dan C_v diperoleh dari data hasil pengujian)

3. *electrical damping* (C_g)

$$C_g = C_d - C_{vm}$$

(dimana nilai C_d adalah nilai redaman total HEMSA tanpa beban)

Dari perhitungan nilai redaman pada komponen tersebut dapat digambarkan distribusi nilai redaman pada tabel dibawah ini.

Tabel 4. 50 Perhitungan distribusi nilai redaman komponen HEMSA

Nilai Redaman Komponen HEMSA	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
<i>Viscous damping</i>	1987	1595	1791
<i>Viscous+Gear</i>			
<i>Transmission damping</i>	2567	2172	2369.5
<i>Gear transmission damping</i>	580	577	578.5
<i>Electrical damping+PulleyBelt</i>	2484	1260	1872
<i>Total damping coefficient no load</i>	5051	3432	4241.5

Contoh perhitungan :

1. Mencari *Gear transmission damping* (C_m)

Jika diperoleh nilai $C_v = 1791 \text{ N.s/m}$

$C_{vm} = 2369.5 \text{ N.s/m}$

Maka , $C_m = C_{vm} - C_v$

$= 2359.5 - 1791$

$= 578.5 \text{ N.s/m}$

2. Mencari *Electrical damping* (C_g)

Jika diperoleh nilai $C_d(\text{total damping}) = 4241.5 \text{ N.s/m}$

$C_{vm} = 2369.5 \text{ N.s/m}$

Maka , $C_m = C_d - C_{vm}$

$= 4241.5 - 2369.5$

$= 1872 \text{ N.s/m}$

Dari hasil perhitungan nilai redaman pada pembebanan generator yaitu dengan variasi beban 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm didapatkan nilai redaman total dan distribusi nilai gaya redaman pada masing-masing pembebanan tersebut. sehingga dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4. 51 Perhitungan distribusi nilai redaman komponen HEMSA beban 250 ohm

Nilai Redaman Komponen HEMSA	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	1987	1595	1791
Viscous+Gear Transmission damping	2567	2172	2369.5
Gear transmission damping	580	577	578.5
Electrical damping+PulleyBelt	3684	1537	2610.5
Total damping coefficient 250 ohm	6251	3709	4980

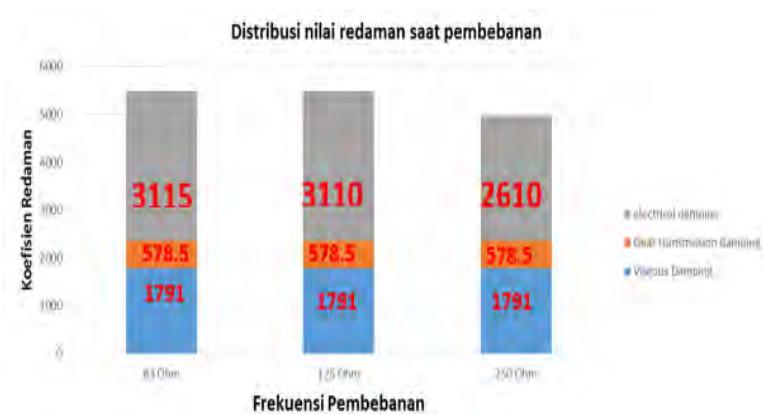
Tabel 4. 52 Perhitungan distribusi nilai redaman komponen HEMSA beban 125 Ohm

Nilai Redaman Komponen HEMSA	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	1987	1595	1791
Viscous+Gear Transmission damping	2567	2172	2369.5
Gear transmission damping	580	577	578.5
Electrical damping+PulleyBelt	4371	1847	3109
Total damping coefficient 125 Ohm	6938	4019	5478.5

Tabel 4. 53 Perhitungan distribusi nilai redaman komponen HEMSA beban 83 Ohm

Nilai Redaman Komponen HEMSA	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	1987	1595	1791
Viscous+Gear Transmission damping	2567	2172	2369.5
Gear transmission damping	580	577	578.5
Electrical damping+PulleyBelt	4344	1886	3115
Total damping coefficient 83 Ohm	6911	4058	5484.5

Pada tabel distribusi nilai redaman diatas pada pembebanan 250 ohm memiliki nilai redaman total sebesar 4980 N.s/m, pada pembebanan 125 Ohm memiliki nilai gaya redaman total sebesar 5478.5 N.s/m dan pada pembebanan 83 Ohm nilai gaya redaman sebesar 5478 N.s/m. Dengan demikian pada pembebanan 250 ohm memiliki nilai gaya redaman terkecil dan pada pembebanan 83 Ohm memiliki nilai gaya redaman yang paling besar. Sehingga dari koefisien gaya redaman tersebut didapatkan pengaruh nilai distribusi redaman pada masing-masing pembebanan yang dapat ditunjukkan pada gambar 4.6, gambar 4.7 dan gambar 4.8 grafik diagram berikut



Gambar 4. 7 Distribusi nilai redaman komponen HEMSA

Pada gambar 4.7 diagram diatas dapat dilihat bahwa pada saat pembebanan 250 ohm, 12 Ohm dan 83 Ohm distribusi nilai redaman terbesar yaitu pada electrical damping pada viscous damping sebesar 1791 N.s/m Sedangkan pada komponen gear transmisi(*Gear Transmission damping*) sebesar 578.5 N.s/m. Pada *Electrical damping* terdapat pengaruh besarnya hambatan terhadap nilai redamannya, yaitu terjadi penurunan nilai redaman pada generator, seiring dengan bertambahnya nilai resistansi(hambatan beban) terjadi penurunan nilai *electrical damping*, yaitu pada nilai R 250 Ohm memiliki electrical damping sebesar 2610 N.s/m, R 125 Ohm sebesar 3110 N.s/m dan R 83 Ohm sebesar 3115 N.s/m.

Perbedaan nilai *electrical damping* ini dipengaruhi oleh Torsi electric (T_e) dari generator itu sendiri pada teori generator. Pada setiap penambahan nilai tahanan listrik maka akan menyebabkan kuat arus yang dihasilkan generator semakin kecil. Kuat arus yang mengecil akan menyebabkan nilai torsi elektrik (redaman elektrik) juga mengecil. Hal ini dapat dilihat dari persamaan torsi elektrik pada fbd mekanik generator, dimana $T_e = 2.N.B.l.a.I$. Dengan mengecilnya nilai

redaman elektrik (torsi elektrik) tentu mengurangi koefisien redaman RSA sehingga nilai rms percepatan massa sprungnya semakin besar. Dimana nilai $I = \frac{V}{R}$, V merupakan nilai tegangan sedangkan R adalah Hambatan Generator, sehingga $T_e = 2.N.B.l.a. \frac{V}{R}$.

4.3 Pengujian dinamis mekanisme suspensi kendaraan

4.3.1 Metode Pengujian dinamis

Pada tahap ini, pengujian dilakukan di lab desain Mesin ITS, tujuan dilakukan pengujian ini adalah untuk membandingkan performa dari HEMSA yaitu dengan membandingkan respon dari *sprung mass* dan *unsprung mass*. Mekanisme pengujian yang digunakan adalah $\frac{1}{4}$ dari kendaraan mobil. Pada sistem kali ini massa beton digambarkan sebagai *sprung mass* yaitu massa pada kendaraan, sedangkan pada plat bawah (sumber eksitasi) digunakan sebagai *unsprung mass* yaitu roda kendaraan. Pengujian mekanisme suspensi tersebut diuji dengan suspension test rig yang berada di laboratorium vibrasi dan sistem dinamis, gambar dari alat pengujian tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini.

input pada pengujian respon massa berupa eksitasi harmonik dan impuls dengan variasi frekuensi eksitasi yaitu 1,4 Hz, 1,7 Hz dan 2 Hz. Massa uji yang digunakan 250 kg massa $\frac{1}{4}$ kendaraan perkotaan. Dan dari hasil pengujian nilai redaman komponen hidrolik double port dari HEMSA, kemudian dihitung damping ratio pada masing-masing beban 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm dengan rumus :

$$\zeta = \frac{c}{c_c} = \frac{c}{2\sqrt{km}} \text{ dengan range } \zeta (0.75 ; 0.82)$$

Amplitudo eksitasi yang digunakan pada pengujian karakteristik Harmonik dan Impuls adalah 2 cm. Pengujian dari HEMSA untuk eksitasi Harmonik dan eksitasi impuls dilakukan pada beban resistor (R) 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm dengan massa uji 250 kg (massa $\frac{1}{4}$ kendaraan perkotaan); frekuensi 1.4 Hz, 1.7 Hz dan 2 Hz. Gambar pengujian dinamis dari

mekanisme suspensi HEMSA dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



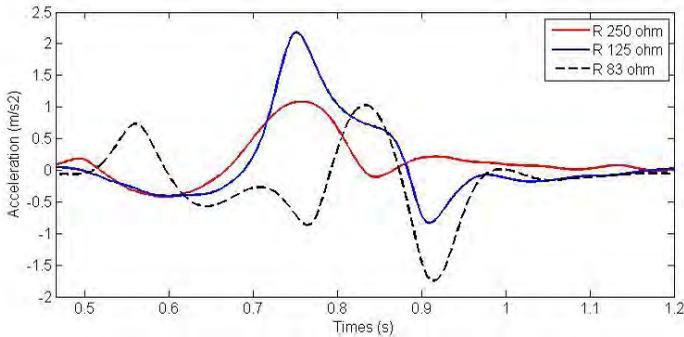
Gambar 4. 8 Gambar pengujian mekanisme suspensi Hemsas

Keterangan gambar 4.8 :

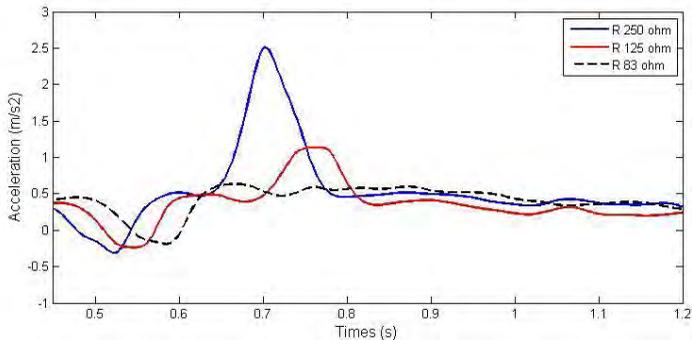
1. Pemasangan HEMSA pada Suspension Test Rig;
2. Massa pengujian (250 kg)
3. Sistem Trasmisi dan Generator HEMSA
4. Pemasangan Lampu sebagai beban
5. *Accelero sensor* pada *sprung mass*
6. *Accelero sensor* pada *base exciter*
7. Rectifier (rangkainan penyearah AC ke DC)
8. Limit switch (pengatur amplitudo eksitasi)
9. *Control Panel*

Langkah pengujian dinamis pada *suspension tes rig*, diawali dengan memasang HEMSA pada test rig kemudian meletakkan beton 250 kg. setelah HEMSA terpasang dengan baik kemudian mengatur *limit switch* untuk menentukan amplitudo eksitasi sebesar 2 cm. Pada pengujian dinamis mekanisme suspensi HEMSA dilakukan pada frekuensi 1,4 Hz; 1,7 Hz dan 2 Hz yaitu dengan mengatur valve pengontrol (DCV) pada *Power pack* dari *suspension test rig*.

4.3.2 Eksitasi impuls



Gambar 4. 9 Hasil pengujian respon *sprung mass* eksitasi impuls saat pembebanan 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm



Gambar 4. 10 Hasil pengujian respon *base* eksitasi impuls saat pembebanan 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm

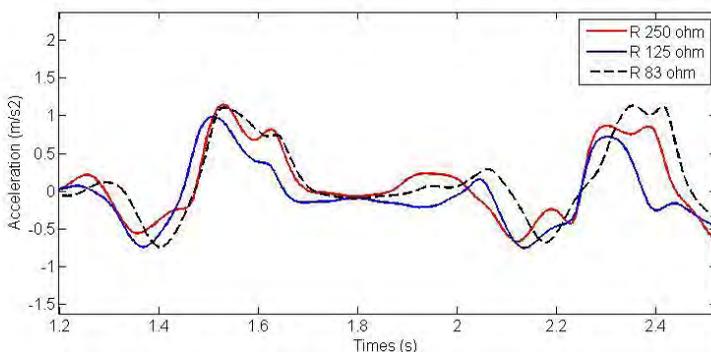
Dari gambar 4.9 grafik hasil pengujian impuls diatas dapat diketahui bahwa terjadi perbedaan transien respon pada *sprung mass*. Jika dibandingkan pada masing-masing pembebanan, pada saat 250 Ohm memiliki transien respon yang lebih pendek, yaitu dimulai pada detik ke 0.6 dan kemudian *steady state*(stabil) sampai pada detik 0.9, sedangkan pada pembebanan 125 Ohm menerima respon percepatan yang paling besar(tinggi puncak gelombang) jika dibandingkan

dengan 250 Ohm dan 83 Ohm yaitu pada puncak 2.3 m/s², namun jika dilihat dari transien respon hampir sama dengan pada saat pembebanan 250 Ohm yaitu berhenti stabil pada waktu 0.9 detik. Namun berbeda dengan pembebanan 83 Ohm yang memiliki transien respon lebih panjang dan memiliki puncak respon percepatan pada titik 1 m/s² dan respon terjadi pada waktu 0.5 sampai berhenti stabil pada detik ke 1.05.

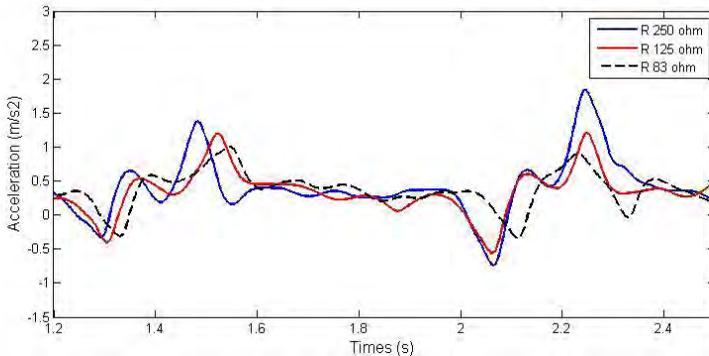
Jika dilihat dari respon *sprung mass* percepatan R.M.S. yang diterima, pada pembebanan 250 Ohm menerima percepatan sebesar 1.07 m/s², pada pembebanan 125 Ohm sebesar 1.26 m/s² sedangkan pada pembebanan 83 Ohm sebesar 1.13 m/s². Sehingga dapat diketahui dikenai eksitasi impuls respon percepatan terkecil pada pembebanan 250 Ohm dan respon percepatan terbesar pada pembebanan 125 Ohm.

4.3.3 Pengujian Eksitasi Periodik

4.3.3.1. Frekuensi eksitasi 1.4 Hz massa 250 kg



Gambar 4. 11 Hasil pengujian respon *sprung mass* eksitasi periodik saat pembebanan 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm pada $f = 1.4$ Hz

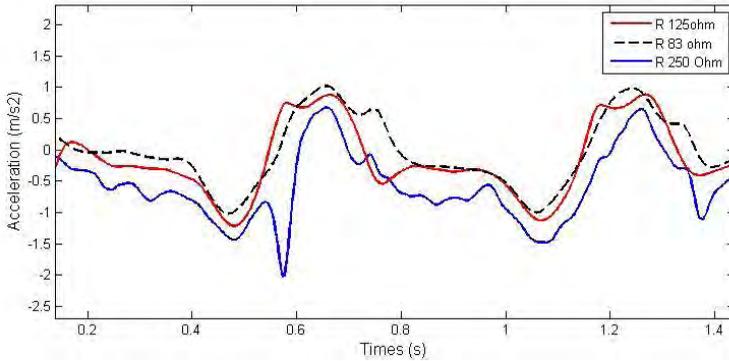


Gambar 4. 12 Hasil pengujian respon *base* eksitasi periodik saat pembebanan 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm pada $f = 1.4 \text{ Hz}$

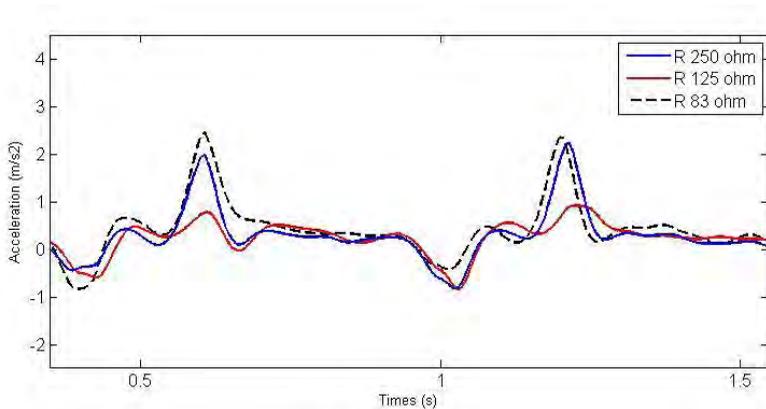
Dari hasil grafik gambar 4.11 diatas dapat dilakukan analisa, bahwa pengujian pada HEMSA dengan kecepatan eksitasi yang diberikan sebesar 8.8 rad/s pada pembebanan listrik 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm. dari data tersebut dapat dilihat bahwa kecepatan *sprung mass* pada masing-masing pembebanan relatif sama atau berhimpit.

Pada pengujian tersebut RMS percepatan input pada gambar 4.12 respon base saat R 250 Ohm sebesar 2.117 m/s^2 , saat R 125 Ohm 1.705 m/s^2 sedangkan saat R 750 sebesar 1.223 m/s^2 . Akan tetapi jika ditinjau dari percepatan R.M.S yang dihasilkan, percepatan yang diterima ditunjukkan oleh HEMSA 250 Ohm sebesar 1.020 m/s^2 , HEMSA 125 Ohm sebesar 0.815 m/s^2 dan HEMSA 83 Ohm sebesar 0.909 m/s^2 . Sehingga dari nilai RMS percepatan yang didapatkan tersebut HEMSA 250 ohm menerima percepatan yang paling besar sedangkan yang paling rendah ditunjukkan pada HEMSA 125 Ohm.

4.3.3.2. Frekuensi eksitasi 1,7 Hz massa 250 kg



Gambar 4. 13 Hasil pengujian respon *sprung mass* eksitasi periodik saat pembebanan 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm pada $f = 1.7$ Hz



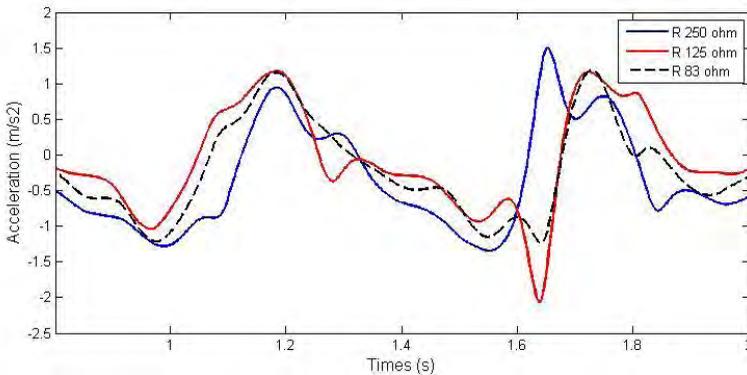
Gambar 4. 14 Hasil pengujian respon *base* eksitasi periodik saat pembebanan 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm pada $f = 1.7$ Hz

Dari hasil grafik gambar 4.13 diatas dapat dilakukan analisa bahwa pengujian pada HEMSA dengan kecepatan eksitasi yang diberikan sebesar 10.69 rad/s pada pembebanan listrik 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm. Dari data tersebut dapat

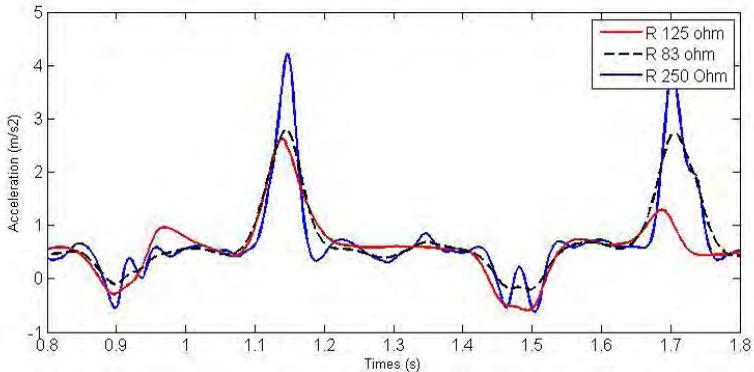
dilihat bahwa kecepatan yang *sprung mass* pada masing-masing pembebanan relatif sama atau berhimpit pada HEMSA 125 Ohm dan 83 Ohm. Sedangkan HEMSA 250 ohm menerima kecepatan yang paling rendah.

Pada pengujian tersebut RMS percepatan input pada gambar 4.14 respon base saat R 250 Ohm sebesar 2.084 m/s^2 , saat R 125 Ohm 1.744 m/s^2 sedangkan saat R 750 sebesar 2.270 m/s^2 . Akan tetapi dilihat dari grafik respon *sprung mass* yang dihasilkan, percepatan R.M.S yang diterima ditunjukkan oleh HEMSA 250 Ohm sebesar 0.934 m/s^2 , HEMSA 125 Ohm sebesar 0.941 m/s^2 dan HEMSA 83 Ohm sebesar 0.960 m/s^2 . dari nilai RMS percepatan yang didapatkan tersebut HEMSA 250 ohm menerima percepatan yang paling rendah sedangkan yang paling tinggi ditunjukkan pada HEMSA 83 Ohm.

4.3.3.3. Frekuensi eksitasi 2 Hz massa 250 kg



Gambar 4. 15 Hasil pengujian respon *sprung mass* eksitasi periodik saat pembebanan 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm pada $f = 2 \text{ Hz}$



Gambar 4. 16 Hasil pengujian respon *base* eksitasi periodik saat pembebanan 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm pada $f = 2$ Hz

Dari hasil grafik gambar 4.15 diatas dapat dilakukan analisa bahwa pengujian pada HEMSA dengan kecepatan eksitasi yang diberikan sebesar 12.57 rad/s pada pembebanan listrik 250 ohm, 125 Ohm dan 83 Ohm. Dari data tersebut dapat dilihat bahwa kecepatan dari *sprung mass* pada masing-masing pembebanan relatif sama atau berhimpit, yaitu pada HEMSA 125 Ohm dan 83 Ohm. Sedangkan HEMSA 250 ohm menerima kecepatan yang paling rendah.

Pada pengujian tersebut RMS percepatan input pada gambar 4.16 respon base saat R 250 Ohm sebesar 1.655 m/s^2 , saat R 125 Ohm 1.877 m/s^2 sedangkan saat R 750 sebesar 1.983 m/s^2 . Akan tetapi ditinjau dari grafik respon *sprung mass* yang dihasilkan, percepatan yang diterima ditunjukkan oleh R 250 Ohm sebesar 1.885 m/s^2 , R 125 Ohm sebesar 1.373 m/s^2 dan R 83 Ohm sebesar 0.890 m/s^2 . dari nilai R.M.S. percepatan yang didapatkan tersebut HEMSA saat R 250 ohm menerima percepatan yang paling tinggi sedangkan yang paling rendah ditunjukkan pada HEMSA saat R 83 Ohm.

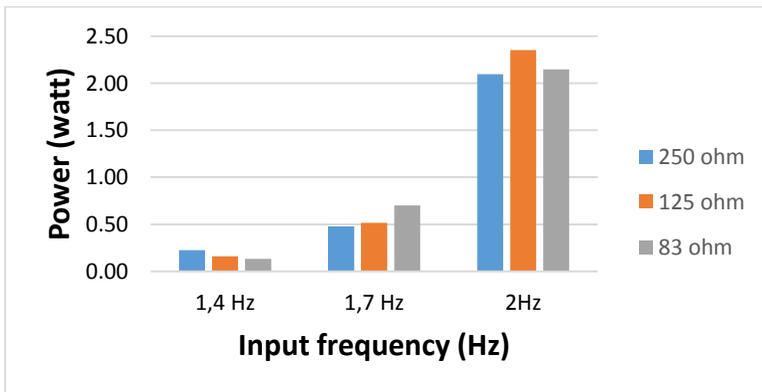
4.3.4 Energi Bangkitan dari HEMSA

Dari pengujian eksitasi harmonik, didapatkan hasil pengujian potensi energi bangkitan yang dihasilkan pada masing-masing kecepatan eksitasi. Dengan demikian dapat dilihat pada tabel 4.54 dan gambar 4.13 grafik energi bangkitan dari HEMSA berikut.

Tabel 4. 54 hasil pengujian energi bangkitan HEMSA

Pembebanan	Daya Bangkitan (watt)		
	1,4 Hz	1,7 Hz	2Hz
250 ohm	0.22	0.48	2.10
125 Ohm	0.16	0.52	2.35
83 Ohm	0.13	0.70	2.15

Sehingga dari tabel diatas dapat ditampilkan dalam bentuk diagram batang gambar 4.17 dibawah ini.



Gambar 4. 17 Energi bangkitan dari HEMSA

Dari potensi energi bangkitan yang ditampilkan pada grafik diatas, dapat diketahui bahwa terjadi tren kenaikan pada

daya energi yang dibangkitkan, semakin tinggi frekuensi eksitasi maka energi yang dibangkitkan juga semakin besar. Namun jika diamati pada masing-masing variasi pembebanan, pada frekuensi 1,4 Hz tren energi yang dibangkitkan semakin kecil seiring dengan bertambahnya beban listrik pada generator, yaitu 250 Ohm sebesar 0.22 watt, 125 Ohm sebesar 0.16 watt dan 83 Ohm sebesar 0.13 watt, namun perbedaan dari jumlah energi pada setiap pembebanan tidak terlalu signifikan. Sedangkan pada saat frekuensi eksitasi 1,7 Hz energi bangkitan yang dihasilkan pada masing-masing pembebanan mengalami kenaikan, dimana semakin tinggi pembebanan semakin besar pula energi yang dihasilkan yaitu pada 250 Ohm sebesar 0.48 watt, pada 125 Ohm 0.52 watt dan pada saat 83 Ohm sebesar 0.7 watt. Selain itu, pada saat 2 Hz yaitu pada frekuensi terbesar terjadi kenaikan dan penurunan tren energi bangkitan yang dihasilkan yaitu pada 250 Ohm sebesar 2.10 watt, pada 125 Ohm 2.35 watt dan pada 750 watt sebesar 2.15 watt.

Dengan demikian pada saat dilakukan variasi pada pembebanan generator tidak terjadi perbedaan yang signifikan dari energi bangkitan yang dihasilkan. Namun jika dibandingkan dengan variasi kecepatan eksitasi terjadi kenaikan tren yang signifikan. Sehingga pada saat frekuensi 2 Hz, energi bangkitan yang dihasilkan mencapai energi bangkitan rata-rata sebesar 2.2 watt. Hal ini dikarenakan daya inputan yang diberikan pada generator semakin besar, yaitu pada 1.4 Hz, 1.7 Hz dan 2 Hz.

Sedangkan untuk efisiensi dari HEMSA pada saat frekuensi tertentu, dapat dilihat pada tabel 4.55. Dengan dilakukannya beberapa pengujian pada HEMSA yaitu pengujian eksitasi periodik. Dapat kita bandingkan performa dari masing-masing alat tersebut dengan menghitung efisiensi

HEMSA di setiap variasi pembebanan dengan Resistor(Lampu), dengan membandingkan *power output* terhadap *power input*. *Power output* (P_o) merupakan energi bangkitan yang dihasilkan oleh HEMSA berupa energi listrik. *Power input* (P_i) adalah energi yang timbul akibat dari gaya redaman dikalikan kecepatan relatif sistem suspensi. $P_i = \int Fd \, dz$, dimana Fd adalah gaya redaman, dan \dot{z} adalah kecepatan relatif antara *base exciter* dengan *sprung mass*, yang didapatkan dari hasil pengujian dihitung kemudian dituangkan kedalam grafik. Berikut berturut-turut data hasil pengujian yang dihasilkan oleh HEMSA :

Tabel 4. 55 Effisiensi HEMSA

$\zeta = 0,84 \text{ R } 83 \text{ Ohm}$					
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)	η (%)
1.4	4980	0.056	7.81	0.22	2.8
1.7	4980	0.068	11.51	0.48	4.2
2	4980	0.08	15.9	2.1	13.2
$\zeta = 0,82 \text{ R } 125 \text{ Ohm}$					
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)	η (%)
1.4	5478.5	0.056	8.59	0.16	1.9
1.7	5478.5	0.068	12.67	0.52	4.1
2	5478.5	0.08	17.5	2.35	13.4
$\zeta = 0,75 \text{ R } 250 \text{ Ohm}$					
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)	η (%)
1.4	5484.5	0.056	8.60	0.13	1.5
1.7	5484.5	0.068	12.68	0.7	5.5
2	5484.5	0.08	17.6	2.15	12.3

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

Diketahui: $c = 5484.5 \text{ Ns/m}$

$$f = 1,4 \text{ Hz}$$

dari persamaan $P_i = \int F d \dot{z}$, bila diintegrasikan menjadi:

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

$$P_i = c \int \dot{z} d\dot{z}$$

Maka, persamaan menjadi:

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

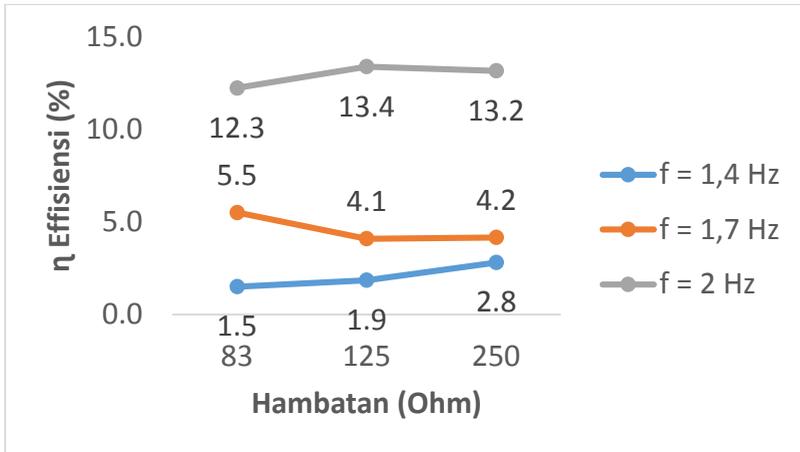
$$P_i = \frac{1}{2} 5484.5 (2 \times 0.02 \times 1,4)^2$$

$$P_i = 8.6 \text{ watt}$$

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

$$\eta = \frac{0,2}{7,11} \times 100\%$$

$$\eta = 2.8 \%$$



Gambar 4. 18 Grafik efisiensi performa HEMSA pembebanan Lampu(Resistor)

Dari gambar 4.18 dapat dilihat bahwa *trendline* efisiensi performa HEMSA dari masing – masing frekuensi, dimana pada saat frekuensi 1,4 Hz terjadi kenaikan efesiensi seiring dengan bertambahnya nilai hambatan, pada saat frekuensi 1,7 Hz terjadi penurunan nilai efesiensi sedangkan pada saat frekuensi 2 Hz terjadi kenaikan nilai efesiensi. Secara umum kinerja HEMSA mengalami kenaikan efesiensi seiring bertambahnya nilai hambatan beban. Pada saat frekuesni 1,4 hz efesiensi berada di antara 1,9 % - 2,8 %, pada 1,7 Hz efesiensi berada di antara 4,1 % - 5,5 %.dan pada saat frekuensi 2 Hz berada di antara 12,3 % - 13,4 %.

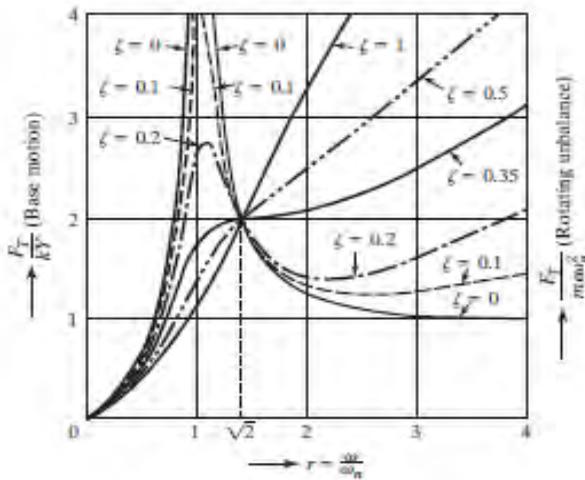
Rendahnya efesiensi yang dihasilkan oleh HEMSA kemungkinan dikarenakan banyaknya kehilangan-kehilangan pada tiap-tiap komponen HEMSA. Misalnya pada dalam

bentuk *Inersia Losses*, gesekan dan pembacaan alat ukur yang tidak akurat ataupun jenis fluida yang digunakan.

4.3.5 Pengujian Performa Mekanisme Suspensi HEMSA

a) Force Transmissibility (F_T)

Dengan dilakukannya beberapa pengujian pada HEMSA diantara pengujian eksitasi dan impuls. Dapat dibandingkan performa dari alat tersebut dengan menggunakan grafik *Force transmissibility* (F_T) terhadap *ratio frekuensi* (r), pada pengujian yang ditentukan frekuensi 1.4 hz, 1.7 hz dan 2 hz dengan massa 250 kg yang kemudian dibandingkan hasil dari grafik teoritis dan percobaan.



Gambar 4. 19 Grafik *Force Transmissibility vs Freq. Ratio*(teoritis)^[7]

Data dari hasil perhitungan teoritis dan percobaan tersebut dapat dilihat pada tabel berikut ;

Tabel 4. 56 Perhitungan Force Transmibility 83 ohm; $\zeta = 0.84$

Frekuensi eksitasi	r	w	wn	FT/kY teoritis	FT/kY pengujian
1.4	0.66	8.80	13.32	0.55	0.28
1.7	0.80	10.69	13.32	0.89	0.30
2	1.04	12.57	13.32	1.64	0.43

Tabel 4. 57 Perhitungan Displacement Transmibility 125 ohm;
 $\zeta = 0.82$

Frekuensi eksitasi	r	w	wn	FT/kY teoritis	FT/kY pengujian
1.4	0.66	8.80	13.32	0.54	0.31
1.7	0.80	10.69	13.32	0.89	0.25
2	1.04	12.57	13.32	1.63	0.33

Tabel 4. 58 Perhitungan Displacement Transmibility 250 ohm;
 $\zeta = 0.75$

Frekuensi eksitasi	r	w	wn	FT/kY teoritis	FT/kY pengujian
1.4	0.66	8.80	13.32	0.54	0.35
1.7	0.80	10.69	13.32	0.87	0.21
2	1.04	12.57	13.32	1.59	0.42

Data FT/kY dari percobaan didapatkan dari perbandingan percepatan *sprung mass* sedangkan FT/kY teoritis didapatkan dari perhitungan teoritis sebagai berikut ;

Contoh perhitungan FT/kY teoritis :

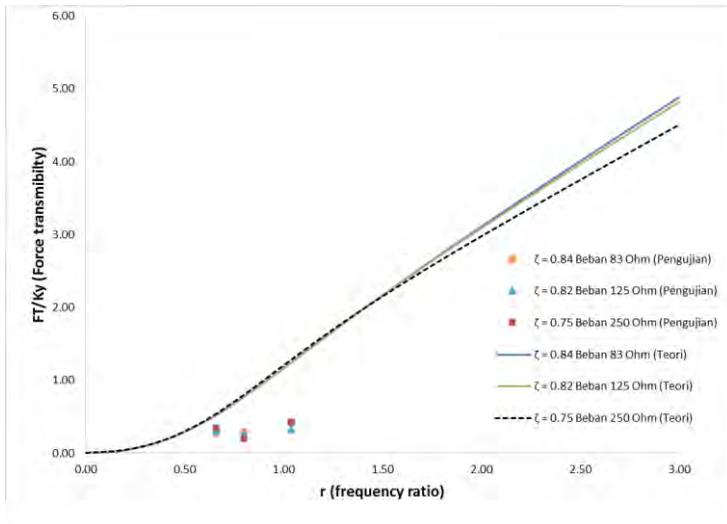
$$f = 1.4 \text{ hz}$$

$$r = 0.66$$

$$\zeta = 0.75$$

$$\begin{aligned} \frac{FT}{kY} &= \frac{m \cdot a}{kY} = r^2 \left[\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1 - r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2} \\ &= 0.66^2 \left[\frac{1 + (2 \times 0.75 \times 0.66)^2}{(1 - 0.66^2)^2 + (2 \times 0.75 \times 0.66)^2} \right]^{1/2} \\ &= 0.54 \end{aligned}$$

Maka dari tabel diatas maka dapat dipresentasikan dalam bentuk grafik sebagai berikut



Gambar 4. 20 Grafik Force Transmissibility vs Freq. ratio ζ 0.84 ζ 0.82 ζ 0.75

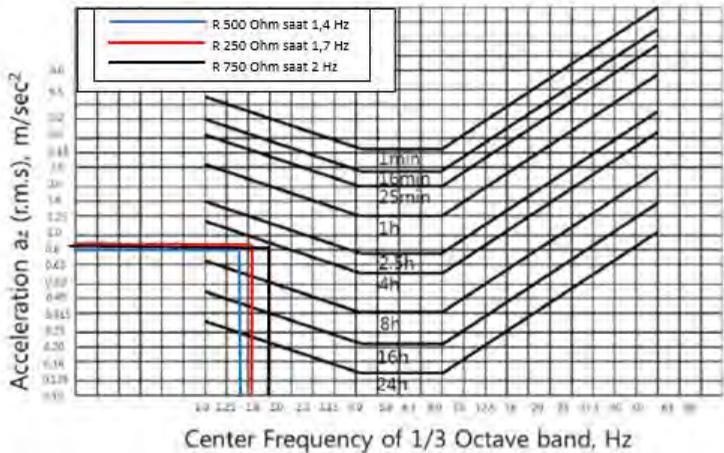
Pada gambar 4.19 grafik diatas menunjukkan hubungan antara *force transmissibility* (*Ft*) dengan *frequency ratio* (*r*). Dari 3 titik *Ratio frequency* (*r*) yaitu pada saat $r = 0.66$, $r = 0.8$ dan $r = 0.94$ kemudian dihubungkan dengan *force*

transmissibility 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 kenaikan kemudian penurunan. *Trendline* pada $\zeta = 0,84 R 83 \text{ Ohm}$ mengalami penurunan saat $r = 0,66$ menuju $r = 0,8$ kemudian naik kembali pada $r = 1,04$. Lalu $\zeta = 0,82 R 125 \text{ Ohm}$ mengalami kenaikan saat $r = 0,66$ dan $r = 0,8$. Namun pada $\zeta = 0,75 R 250 \text{ Ohm}$ mengalami kenaikan saat $r = 0,66$ dan $r = 0,8$ dan mengalami kenaikan pada saat $r = 1,04$. 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 adanya pembacaan nilai percepatan *sprung mass*. Hal ini dikarenakan nilai a (percepatan) mempengaruhi nilai FT(force transmissibility) percobaan, dimana percepatan ini diambil dari nilai Peak maksimal grafik percepatan, dari rumus $FT = m.a$. sedangkan untuk nilai K dan y tetap. Hal ini disebabkan mekanisme HEMSA mempunyai nilai konstanta redaman berbeda-beda, yang terdiri dari beberapa komponen yaitu *hydraulic, mechanic*, dan generator serta pengaruh variasi pembebanan dengan hambatan (R) dan keterbatasan alat ukur atau HEMSA tidak bekerja dengan maksimal.

b) Standar Kenyamanan Penumpang ISO 2631

Jika dibandingkan pada standar kenyamanan ISO 2631, pada masing-masing kecepatan eksitasi, nilai R.M.S percepatan terkecil adalah yang memiliki kenyamanan yang paling baik. Dikatakan paling baik karena pada grafik ISO 2631 didefinisikan pada frekuensi yang sama maka semakin kecil percepatannya, sehingga semakin lama dan semakin kuat penumpang dalam menerima getaran. Oleh karena itu dari grafik ISO 2631 dapat diketahui waktu ketahanan penumpang dalam menerima getarannya.



Gambar 4. 21 Grafik kenyamanan Standar ISO 2631

Dari pengujian dinamis respon *sprung mass* dapat diketahui daerah kenyamanan penumpang dalam menerima getaran pada frekuensi 1.4 Hz, 1.7 Hz dan 2 Hz pada masing – masing pembebanan. Pada saat kecepatan eksitasi 1.4 Hz diketahui bahwa pada pembebanan R 125 Ohm respon *sprung mass* adalah yang paling kecil $0.815 m/s^2$ sehingga diketahui dari grafik kenyamanan Standar ISO 2631 kemampuan

ketahanan penumpang dalam menerima getaran pada grafik diketahui berada pada selang waktu selama 6 jam. Sedangkan . Pada saat kecepatan eksitasi 1.7 Hz diketahui bahwa pada pembebanan R 250 Ohm respon sprung mass adalah yang paling kecil 0.934 m/s^2 sehingga diketahui dari grafik kenyamanan Standar ISO 2631 tentang kemampuan ketahanan penumpang dalam menerima getaran selama 5 jam. Dan pada saat kecepatan eksitasi 2 Hz diketahui bahwa pada pembebanan R 83 Ohm respon sprung mass adalah yang paling kecil 0.890 m/s^2 sehingga diketahui dari grafik kenyamanan Standar ISO 2631 ketahanan penumpang dalam menerima getaran selama 4,5 jam.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Dari pengujian yang dilakukan untuk mengetahui nilai redaman dari *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber*(HEMSA) hasil perancangan dapat disimpulkan sebagai berikut ;

1. Besar koefisien redaman (C_d) pada HEMSA adalah untuk tanpa pembebanan sebesar 4241.5 Ns/m, sedangkan pada saat 3 variasi pembebanan, yaitu pada hambatan 250 Ohm sebesar 5484.5 Ns/m, pada hambatan 125 Ohm sebesar 5478.5 Ns/m dan pada hambatan 83 Ohm sebesar 4980 Ns/m.
2. Konstanta pegas yang digunakan dalam mekanisme suspensi adalah 44357.5 N/m
3. Nilai koefisien redaman pada komponen HEMSA, yaitu pada *viscous damping* adalah 1791 N.s/m, pada *Gear Transmission damping* sebesar 578.5 N.s/m dan pada *electrical damping* sebesar 1872 N.s/m saat tanpa pembebanan, 2610.5 N.s/m saat pembebanan 250 Ohm, 3109 N.s/m saat pembebanan 125 Ohm dan 3115 N.s/m saat pembebanan 83 Ohm.
4. Dari data pengujian besarnya beban generator mempengaruhi nilai *electrical damping*, dengan bertambahnya nilai hambatan beban (R) nilai maka *electrical damping* dari HEMSA semakin bertambah besar, sehingga dapat mempengaruhi nilai redaman total dari HEMSA.
5. Energi bangkitan yang dihasilkan dari HEMSA pada saat kecepatan eksitasi 1,4 Hz sampai 2 Hz cenderung mengalami kenaikan pada masing-masing pembebanan generator dan memiliki efisiensi berkisar antara 1,9 % - 13,4 % .

6. Dari pengujian dinamis respon *sprung mass* dapat diketahui standar ISO 2631 kenyamanan penumpang dalam menerima getaran yang paling lama pada frekuensi 1.4 Hz adalah saat R 125 Ohm yaitu selama 6 Jam, 1.7 Hz saat R 250 Ohm yaitu selama 5 Jam dan 2 Hz saat R 83 Ohm selama 4,5 Jam.

5.2 Saran

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

1. Proses desain dan manufaktur alat harus disesuaikan dengan kebutuhan SPESIFIKASI ALAT UJI agar hasil yang diharapkan dalam penelitian dapat dilakukan pengujian sesuai perencanaan uji.
2. Pengujian mekanisme suspensi tidak dapat dijalan maksimal karena beberapa komponen pada alat uji *Suspension Tes Rig* perlu adanya perbaikan, agar tidak terjadi gangguan pada saat pengujian, misalnya katup-katup yang perlu diperbaiki agar tidak terjadi kebocoran dan mekanisme *sliding* massa pembebanan. sehingga dengan adanya mekanisme yang kokoh penentuan frekuensi eksitasi pengujian dapat diperbesar sampai > 2 Hz dan ketika mencapai variasi r diatas 1,41 saat pengujian respon massa lebih kuat untuk menopang beban yang berat (>200 kg).
3. Pada perancangan RSA ini, gear yang dipakai adalah rack pinion gear dan bevel gear, pada pembuatan HEMSA sendiri tidak menggunakan dimensi gear yang telah didesain. Supaya alat berfungsi sesuai perancangan maka digunakan komponen yang sesuai dengan hasil desain transmisi daya pada HEMSA (Perlu adanya redesign alat uji HEMSA pada sistem transmisi daya).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Angga Galih Perdana, ST, 2012, *Studi Ekperimental Energi Bangkitan Regenerative Shock Absorber Generasi III* :Surabaya. Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [2] Dito Renadi Hendarto, ST. dan Indra Rizky Panigoro, ST., *Rancang Bangun Gearbox VERS Generasi I dan Studi Eksperimental Energi Bangkitan VERS Generasi I dan Pengaruhnya Terhadap Performa Suspensi Mobil Isuzu Panther Bak Terbuka* : Surabaya:Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- [3] <URL : <http://www.utc.edu/Research/CETE/hybrid.php>
- [4] Kelly, S Graham 2000. *Fundamental of Mechanical Vibrations. McGraw-Hill International Editions.*: Ohio, USA.
- [5] <URL : <http://syahrulsalam29.host56.com/?p=234>
(Belajar otomotif online/ignition system)
- [6] Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D dan Dr. Ir. Bambang Sampurno, MT., *Teknologi Otomotif Edisi Kedua.Institut Teknologi Sepuluh Nopember*, Indonesia.
- [7] S. Rao, Singiresu. 2004 *Mechanical Vibration* : Singapore.Prentice Hall PTR
- [8] <http://www.patentgenius.com/patent/5369974.html>.
Suspension Tester and Method.
- [9] Sareza Hafis,ST. 2013.*Studi Eksperimental Perbandingan Karakteristik Antara Konvensional Shock Absorber Dengan Regenerative ShockAbsorber (RSA)* : Surabaya.Institut Teknologi Sepulhu Nopember
- [10] Wawan Hendrawan, ST. dan Satria Ugahari, ST.,*Rancang Bangun Gearbox VERS GenerasiIII Energi Bangkitan VERS Generasi II dan Pengaruhnya Terhadap*

Performa Suspensi Mobil Isuzu Panter Bak Terbuka.
Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya

- [11] Zhigang Fang, dkk. 2013. *Experimental Study of Damping and Energy Regeneration Characteristics of a Hydraulic Electromagnetic Shock Absorber*: Surabaya. Wuhan University of Technology
- [12] Zuo, Lei dkk. 2010. *Design And Characterization Of An Electromagnetic Energy Harvester For Vehicle Suspension*. New York State University :USA.

RIWAYAT HIDUP



Ilham Ardiansyah P. dilahirkan di Jombang, 19 Juni 1990. Merupakan putra kedua dari 3 bersaudara, pasangan Munawir, S.Pd.I dan Muhayaroh, S.E., Lulus dari MI Muhammadiyah 03 Jombang pada tahun 2002, kemudian melanjutkan studinya ke SMPN 2 Jombang dan lulus pada tahun 2005. Kemudian kembali melanjutkan ke SMA N 3 Jombang dan lulus pada tahun 2008.

Setelah menamatkan SMA, penulis melanjutkan studi ke sekolah vokasi di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya-ITS tepatnya pada jurusan Diploma 3 Teknik Permesinan Kapal kemudian lulus pada tahun 2011, setelah lulus dari kuliah vokasi Politeknik penulis meneruskan studi program sarjana(S-1) di Teknik Mesin ITS, kemudian fokus pada bidang studi DESAIN di Laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi. Pada bulan Juni 2014 Penulis menyelesaikan Tugas Akhir di Jurusan Teknik Mesin sebagai syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.

Penulis berharap pada penulisan tugas akhir ini dapat bermanfaat untuk pengembangan dan riset selanjutnya. Demikian informasi singkat mengenai data pribadi saya, kurang lebihnya dapat menghubungi penulis di : ilhamp99@gmail.com dan Phone Number (+62)856-3425-635 twitter:@ilham_ardi99