TESIS-TM 092501

STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK GETARAN DAN ENERGI LISTRIK BANGKITAN DARI HIDRAULIK-MEKANIK-ELEKTRO MAGNETIC SHOCK ABSORBER AKIBAT VARIASI PEMBEBANAN LISTRIK

MOCHAMAD CHOIFIN
NRP. 2111 205 005

Dosen Pembimbing:
Dr. Eng.Harus Laksana Guntur S.T, M.Eng

PROGRAM MAGISTER
BIDANG KEAHLIAN DESAIN SISTEM MEKANIKAL
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2014

THESIS-TM 092501

EXPERIMENTAL STUDY OF VIBRATION CHARACTERISTICS AND RISE OF ELECTRICAL ENERGY FROM HYDRAULIC-ELECTRO-MAGNETIC-MECHANICAL SHOCK ABSORBER DUE TO VARIATIONS OF ELECTRICITY LOADING

MOCHAMAD CHOIFIN
NRP. 2111 205 005

Advisor:
Dr. Eng.Harus Laksana Guntur S.T, M.Eng

MASTER PROGRAMME
FIELD STUDY OF DESIGN OF MECHANICHAL SYSTEM
DEPARTEMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
SEPULUH NOPEMBER INSTITUTE OF TECHNOLOGY
SURABAYA SURABAYA
2014

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

Mochamad Choifin
NRP. 2111.205.005

Tanggal Ujian : 23 Juli 2014
Periode Wisuda : September 2014

Disetujui oleh :

1. **Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, ST., M.Eng** .....**(Pembimbing)**
   (NIP. 197505111999031001)

2. **Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D** .....**(Penguji I)**
   (NIP. 195106051978031002)

3. **Dr. Eng. Unggul Wasiwitono, ST., M.Eng.Sc.** ..... **(Penguji II)**
   (NIP. 197805102001121001)

4. **Dr. Wiwiek Hendrowati, ST. MT.** .....**(Penguji III)**
   (NIP. 197004121997032003)

Direktur Program Pascasarjana,

Prof. Dr. Ir. Adi Soeprijanto, MT.
NIP. 196404051990021001

STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK GETARAN DAN ENERGI LISTRIK BANGKITAN DARI HIDRAULIK-MEKANIK-ELEKTRO MAGNETIC SHOCK ABSORBER AKIBAT VARIASI PEMBEBANAN LISTRIK

Nama Mahasiswa : Mochamad Choifin
NRP : 2111 205 005
Dosen Pembimbing : Dr.Eng.Harus Laksana Guntur,ST. M.Eng

ABSTRAK

Sebagian besar energi dari sebuah *engine* kendaraan terbuang dalam bentuk energi panas dan getaran. Pada kendaraan, getaran terbesar terjadi pada sistem suspensinya. Pengembangan mekanisme penangkap/pemulihan energi getaran menjadi energi listrik telah banyak dilakukan. Salah satunya adalah *Regenerative Shock Absorber* (RSA) yaitu dengan memanfaatkan energi getaran terbuang pada suspensi dan mengubahnya menjadi energi listrik.

Pada penelitian ini, dilakukan studi eksperimental karakteristik getaran dan energi listrik bangkitan dari hidraulik-mekanik-elektro shock absorber akibat variasi pembebanan listrik dengan eksitasi impuls dan periodik pada tingkat frekuensi dan amplitudo yang bervariasi. Pengukuran energi bangkitan dilakukan dengan menggunakan *suspension test rig* Laboratorium sistem dinamis dan vibrasi Jurusan Mesin ITS. Mekanisme yang akan digunakan adalah dengan memasang *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) ini pada alat uji tersebut. yang kemudian diberi massa uji dan frekuensi eksitasi yang bervariasi.

Dari penelitian ini didapatkan nilai konstanta redaman HEMSA tanpa pembebanan sebesar 768.15 Ns/m, sedangkan nilai konstanta redaman HEMSA pembebanan Resistor 83.4, 125, dan 250 Ohm berturut-turut sebesar 1139.5 Ns/m, 1063.5Ns/m, dan 958.8Ns/m dan untuk pembebanan akumulator. Pada saat terisi 0% sebesar 881.4 N.s/m, Pada saat terisi 55% sebesar 997.8Ns/m, Pada saat beban 100% sebesar 1022.5Ns/m. Energi bangkitan yang diahasilkan HEMSA untuk frekuensi 1,4Hz pada 83.4 ohm = 0,34 watt; 125 ohm= 0,32 watt; 250 ohm=0,30 watt; untuk frekuensi 1,7Hz pada 83.4 ohm = 0,65 watt; 125 ohm= 0,63 watt; 250 ohm=0,58 watt; untuk frekuensi 2,2Hz pada 83.4 ohm = 3.99 watt; 125 ohm= 3.19 watt; 250 ohm=2.99 watt.

Kata kunci: *Regenerative Shock Absorber, Karakteristik Getaran, Energi Bangkitan,Sistem Suspensi.*

EXPERIMENTAL STUDY OF VIBRATION CHARACTERISTICS AND RISE OF ELECTRICAL ENERGY FROM HYDRAULIC-ELECTRO-MAGNETIC-MECHANICAL SHOCK ABSORBER DUE TO VARIATIONS OF ELECTRICITY LOADING

By : Mochamad Choifin
Student Identity Number : 2111 205 005
Supervisor : Dr.Eng.Harus Laksana Guntur,ST. M.Eng

ABSTRACT

Most of the energy of a vehicle engine is wasted in the form of heat energy and vibration. In vehicles, the largest vibration occurs in the suspension system. Development mechanism catcher / vibration energy recovery into electrical energy has been widely applied. One is Regenerative Shock Absorber (RSA) is to use the vibration energy is wasted on the suspension and turn it into electrical energy.

In this study, conducted experimental study of vibration characteristics and electrical energy generation from mechanical-electro-hydraulic shock absorber electrical load variations due to periodic excitation impulses and on the level of frequency and amplitude were varied. Measurement of energy generation is done by using a suspension test rig, and vibration of dynamic systems Laboratory Department of Engineering of ITS. The mechanism that will be used is to install Electro Mechanic Hydraulic Shock Absorber (HEMSA) is on the test equipment. were then given a test mass and the excitation frequency is varied.

From this study, get a constant vibration characteristic value of damping HEMSA without the imposition is 768.15 Ns / m, while the value of the damping constant of HEMSA loading with Resistor 83.4, 125, and 250 Ohm, respectively for 1139.5 Ns / m, 1063.5Ns / m, and 958.8Ns / m and for loading the accumulator. At the time charged 0% at 881.4 Ns / m, the time occupied 55% of 997.8Ns / m, when the load of 100% is 1022.5Ns / m. Energy generation is from HEMSA for 1,4Hz frequency at 83.4 ohms = 0.34 watts; 125 ohms = 0.32 watts; 250 ohms = 0.30 watts; for frequency 1,7Hz at 83.4 ohms = 0.65 watts; 125 ohms = 0.63 watts; 250 ohms = 0.58 watts; for frequency 2,2Hz at 83.4 ohms = 3.99 watts; 125 ohms = 3.19 watts; 250 ohms = 2.99 watts.

Keywords: Regenerative Shock Absorber, Vibration Characteristics, Energy Generation, Suspension Systems.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur selalu kami ucapkan kehadirat Allah SWT. Semoga sholawat dan salam selalu terlimpahkan kepada Rasulullah SAW, keluarga dan para sahabatnya. Sehingga Tesis dengan judul **" STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK GETARAN DAN ENERGI LISTRIK BANGKITAN DARI HIDRAULIK-MEKANIK-ELEKTRO MAGNETIC SHOCK ABSORBER AKIBAT VARIASI PEMBEBANAN LISTRIK"** ini dapat terselesaikan.

Penelitian ini dapat berlangsung dan selesai adalah berkat bantuan, bimbingan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, saya menyampaikan penghormatan dan rasa terima kasih kepada :

1. Bapak Sanali, Ibu Susiati dan keluarga yang selalu mendoakan dan merestui, tak ada yang bisa saya persembahkan selain kebanggaan atas anakmu ini.Adik dan Nenekku, serta seluruh keluarga besarku yang telah memberikan bantuan baik secara moral maupun materi sehingga penulisan penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.
2. Papa mertua Drs. Agus Basuki, MM dan Mamaku Kusunarti yang telah memberikan pemahaman kepada penulis apa artinya sebuah kehidupan.
3. Bapak Dr.Eng. Harus L. Guntur, ST., M.Eng selaku Dosen Pembimbing Tesis, yang telah banyak meluangkan waktu, pikirannya serta petuah-petuahnya untuk memberikan bimbingan, saran dan dorongan disaat penulis kehabisan ide untuk bertindak, sehingga penulisan penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik
4. Prof. Ir. Sutardi, M.Eng., Ph.D, Selaku Koordinator Program Pasca Sarjana Teknik Mesin ITS Surabaya
5. Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT, selaku Dosen Wali penulis yang selalu memberikan bimbingan arahan selama masa perkuliahan.
6. Bapak Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D, Bapak Dr. Eng. Unggul Wasiwitono, ST., M.Eng.Sc., Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati, ST., MT.,. Selaku Dosen penguji, yang telah memberikan masukan serta nasehat yang begitu berharga disaat sidang Tesis ini berlangsung.

7. Semua Dosen, Staf, dan Karyawan Pasca Sarjana di lingkungan Jurusan Teknik Mesin FTI-ITS Surabaya
8. Istriku tercinta **Anita Kartika Sari, ST, MT** terimakasih atas cinta dan supportnya.
9. Putriku yang lucu dan cantik **Anindita Ayu Pratista** I Love U
10. Rekan-rekan Laboratorium Desain dan Vibrasi LJ 2011 (Rendra, Ilham, Dito, Dodi, Harnal, Alfin, Amel) dan Rekan seperjuangan penelitian Henri Suryanto dan Teman-teman Teknik Mesin FTI-ITS atas segala kebersamaan dan waktu-waktu yang inspiratif.
11. Pihak-pihak yang turut membantu dan mendukung penyelesaian Penelitian ini ini.

Akhir kata, semoga Penelitian tesis ini dapat bermanfaat bagi dunia pendidikan, khususnya lingkungan Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Penulis menyadari bahwa penelitian ini jauh dari kesempurnaan, sehingga penulis dengan tangan terbuka menerima kritik dan saran yang membangun dari pembaca yang budiman guna perbaikan pada tugas-tugas yang akan penulis hadapi di masa yang akan datang.

Surabaya, Juli 2014

Penulis,

DAFTAR ISI

ABSTRAK ..... **i**

DAFTAR ISI ..... **ii**

DAFTAR GAMBAR ..... **vi**

DAFTAR TABEL ..... **x**

BAB I PENDAHULUAN **1**

1.1 Latar Belakang 1

1.2 Perumusan Masalah 3

1.3 Tujuan Penelitian 3

1.4 Batasan Masalah 4

1.5 Manfaat Penelitian 4

1.6 Sistematika Penulisan 4

BAB II TINJAUAN PUSTAKA **7**

2.1 Tinjauan terdahulu 7

2.1.1 The Power-Generating Shock Absorber (PGSA)oleh Ronald B. Goldner (Lexington, MA), Peter Zerigian (Arlington, MA) 7

2.1.2 Regenerative Shock Absorber Massachusets Insititute of Technology 7

2.1.3 Active electromagnetic suspension system oleh BartL.J.Gysen dkk 8

2.1.4 Regenerative Shock Absorber oleh Prof.Lei Zuo dkk 8

2.1.5 RegenerativeShock Absorber oleh Marcos Arziti 10

2.1.6 Hydraulic Electromagnetic Energy-Regenerative Shock Absorber oleh Zhigang Fang 11

2.1.7 Development and Analysis of a RegenerativeShock Absorber for Vehicle Suspension oleh Harus Laksana Guntur, dkk. ITS, Surabaya 12

2.2 Mekanika Getaran 13

2.2.1 Pengertian Getaran 13

2.2.2 Getaran Bebas 13

2.2.3 Getaran Paksa 13

2.2.4 Getaran Harmonik 13

2.2.5 Sistem Derajat Kebebasan (Degree of freedom)..... 15

2.2.6 Logarithmict decrement 16
2.2.7 Konstanta Redaman 17
2.2.8 Motion Base 18
2.2.9 Mekanisme pada HEMSA 19
2.3 Motor Generator 23
2.3.1 Alternator sebagai Generator 23
2.3.2 Prinsip Kerja Motor Generator 24
2.4 Pengaruh Percepatan Kendaraan Terhadap Manusia 27
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 29
3.1 Diagram Alir Penelitian 29
3.1.1 Studi Literatur dan survei alat uji 31
3.1.2 Tahap Persiapan 31
3.1.3 Pengujian Nilai konstanta pegas 31
3.1.4 Pengujian nilai koefisien redaman *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) 33
3.1.5 Pengujian HEMSA dengan beban impulsif dan periodik 45
3.3.5.1 Pengujian HEMSA dengan beban impulsif dan harmonik akibat pembebanan resistor 48
3.3.5.2 Pengujian HEMSA dengan beban impulsif dan harmonik akibat pembebanan akumulator 0%,55% dan 100% 52
3.2 Peralatan yang digunakan 56
3.2.1 *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) 56
3.2.2 Suspension test rig 57
3.2.3 Oscilloscope 58
3.2.4 Aki (Akumulator) 58
3.2.5 Resistor (Lampu) 59
3.2.6 Jangka Sorong 60
3.2.7 Stopwatch 60
3.2.8 Akselerometer 61
3.2.8 Multimeter 61
BAB IV HASIL PENGUJIAN 63
4.1 Perhitungan Konstanta Pegas 63
4.1.1 Prinsip kerja 63
4.1.2 Perhitungan Konstanta Pegas 64

4.2 Penentuan Konstanta Redaman 66
4.2.1 Penentuan Konstanta Redaman HEMSA tanpa pembebanan..... 67
4.2.1.1 Konstanta Redaman Hemsa (*Hydraulic viscous damping*).....67
4.2.1.2 Konstanta Redaman Hemsa(Viscous + Friction Damping)……..70
4.2.1.3 Konstanta Redaman HEMSA (*viscous+friction+electric damping*)…….72
4.2.1.4 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA……74
4.2.2 Penentuan Konstanta Redaman HEMSA dengan Pembebanan.....76
4.2.2.1 Penentuan Konstanta Redaman HEMSA dengan Pembebanan Resistor (Lampu)……76
4.2.2.1.1 Konstanta Redaman HEMSA pada saat Pembebanan 83.4 Ohm….. ……76
4.2.2.1.2 Konstanta Redaman HEMSA dengan pada saat pembebanan 125 Ohm 78
4.2.2.1.3 Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 250 Ohm ……..79
4.2.2.1.4 Perbandingan Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 83.4, 125, dan 250 Ohm ……..……..81
4.2.2.1.5 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA ……...…..…84
4.2.2.2 Penentuan Konstanta Redaman HEMSA dengan Pembebanan Akumulator (Aki)……..86
4.2.2.2.1 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator 0% *charged* (≥0Ah)……86
4.2.2.2.2 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator 55%*charged* (±2,5Ah) 88
4.2.2.2.3 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator 100%*charged* (≤5Ah) .90
4.2.2.2.4 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA……92
4.3. Pengujian Karakteristik HEMSA..... 94
4.3.1 Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA akibat Eksitasi Impuls dan Periodik 96
4.3.1.1 Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA akibat Eksitasi Impuls dan Periodik Pembebanan Resistor (Lampu)..... 96
4.3.1.1.1 Eksitasi Impuls 96
4.3.1.1.2 Eksitasi Periodik .....
4.3.1.2 Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA akibat Eksitasi Impuls dan Periodik Pembebanan Akumulator (Aki)..... 100
4.3.1.2.1 Eksitasi Impuls 100
4.3.1.2.2 Eksitasi Periodik 101

4.3.2 Pengujian Energi Bangkitan HEMSA 103
4.3.3 Performa *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* 105
4.3.3.1 Effisinsi Pembebanan resistor dan akumulator 105
4.3.3.1.1 Nilai effisiensi yang dihasilkan dari HEMSA untuk variasi pembebanan resistor (lampu), pada masing-masing frekuensi 105
4.3.3.1.2 Nilai effisiensi yang dihasilkan dari HEMSA untuk variasi pembebanan akumulator (aki), pada masing-masing frekuensi 107
4.3.4 Force Transmissibility HEMSA 109
4.3.4.1 Force Transmissibility HEMSA akibat Pembebanan Resistor Terhadap Performa Standar Kenyamanan ISO-2631 110
4.3.4.1.1 Standart kenyamanan penumpang pada frekwensi 1,4Hz pada pembebanan Resistor 112
4.3.4.1.2 Standart kenyamanan penumpang pada frekwensi 1,7Hz pada pembebanan Resistor 113
4.3.4.1.3 Standart kenyamanan penumpang pada frekwensi 2.2 Hz pada pembebanan Resistor 114
4.3.4.2 Force Transmissibility HEMSA akibat Pembebanan Akumulator Terhadap Performa Standar Kenyamanan ISO-2631 115
4.3.4.2.1 Standart kenyamanan penumpang pada frekwensi 1,4Hz pada pembebanan Akumulator 117
4.3.4.2.2 Standart kenyamanan penumpang pada frekwensi 1,7Hz pada pembebanan Akumulator 118
4.3.4.2.3 Standart kenyamanan penumpang pada frekwensi 2.2 Hz pada pembebanan Akumulator 119
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 121
5.1 Kesimpulan 121
5.2 Saran 120
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Persediaan minyak mentah di Indonesia dalam MMSTB (million metric stock tank barrel) – (data statistic Kementerian ESDM, 2008) 2
Gambar 2. 1 Power Generating shock Absorber (PGSA) 7
Gambar 2. 2 Regenerative shock absorber Hydraulicoleh Massachutes Institute of Technology 8
Gambar 2. 3 Active electromagnetic suspension system oleh Bart L.J.Gysen dkk 8
Gambar 2. 4 Linear Electromagnetic Absorber 9
Gambar 2. 5 Rotational Absorber dengan Prinsip Roda Gigi 10
Gambar 2. 6 Cara Kerja R.S.A. piezo electric 11
Gambar 2. 7 Hydraulic electromagnetic shock absorber oleh Zhigang Fang dkk 11
Gambar 2. 8 Desain regenerative Shock Absorber 12
Gambar 2. 9 Eksitasi pada landasan 14
Gambar 2. 10 Free Body Diagram eksitasi pada base 14
Gambar 2. 11 *Displacement*dan *force* transmissibility vs frequency ratio 15
Gambar 2. 12 Single Degree of freedom (1DOF) dengan viscous damper 15
Gambar 2. 13 Sistem 1 DOF pada shockabsorber sepeda motordengan peredam dan analisa sistem eksperimennya 16
Gambar 2. 14 Grafik pengaruh gaya redaman terhadap perpindahan dan kecepatan 17
Gambar 2. 15 Eksitasi pada Base 18
Gambar 2. 16 Grafik force transmissibility 19
Gambar 2. 17 Konstruksi Mekanisme HEMSA 19
Gambar 2. 18 Skema mekanisme hydraulic pada RSA 20
Gambar 2 1 9 Penerapan hukum bernouli pada penampang 23
Gambar 2. 20 Alternator AC sepeda motor 24
Gambar 2. 21 Kaedah *flamming* tangan kiri 24
Gambar 2. 22 Prinsip kerja alternator 26
Gambar 2. 23 Metode penyearahan alternator 3 fasa 26
Gambar 2. 24 Grafik kriteria kenyamanan berkendara standar ISO 2631 27
Gambar 3. 1 FlowchartPenelitian 30
Gambar 3. 2 Pengujian nilai konstanta Pegas 31
Gambar 3. 3 *Flowchart* pengujian kekakuan pegas 32
Gambar 3. 4 Skema Pengujian Nilai koefisien Redaman Menggunakan Alat Uji 34
Gambar 3. 5 Skematik Penentuan Nilai Redaman *Viscouse Damping* 35
Gambar 3. 6 *Flowchart* penentuan nilai redaman *viscouse damping* 36
Gambar 3. 7 *Skematik* penentuan nilai redaman *friction damping* 37
Gambar 3. 8*Flowchart* penentuan nilai redaman *viscouse damping +mechanical damping* 38
Gambar 3. 9 Skematik penentuan nilai redaman electrical damping tanpa beban 39

Gambar 3. 10 F Flowchart penentuan niai redaman viscouse damping +mechanical damping + electrical damping tanpa beban 40
Gambar 3. 11 Skematik penentuan nilai redaman viscouse damping +mechanical damping + electrical damping dengan beban Resistor 41
Gambar 3. 12 *Flowchart* penentuan nilai redaman viscouse damping +mechanical damping + electrical damping dengan beban Resistor 42
Gambar 3. 13Skematik penentuan nilai redaman viscouse damping +mechanical damping + electrical damping dengan beban Akumulator 43
Gambar 3. 14 *Flowchart* penentuan nilai redaman viscouse damping +mechanical damping + electrical damping dengan beban aki 44
Gambar 3. 15 Eksitasi impuls 45
Gambar 3. 16 Skematik Eksitasi Impuls 46
Gambar 3. 17 Eksitasi Harmonik 46
Gambar 3. 18 Skematik Eksitasi periodik 47
Gambar 3. 19 *Flowchart* pengambilan data pada HEMSA untuk eksitasi impuls pada pembebanan resistor 49
Gambar 3. 20 *Flowchart* pengambilan data pada HEMSA untuk eksitasi harmonik pada pembebanan resistor 51
Gambar 3. 21 *Flowchart* pengujian dengan eksitasi impuls pembebanan aki 53
Gambar 3. 22 *Flowchart* pengujian dengan eksitasi harmonik pembebanan aki 55
Gambar 3. 23 *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) 56
Gambar 3. 24 *Suspension test rig* 58
Gambar 3. 25 Oscilloscope 58
Gambar 3. 26 Aki 59
Gambar 3. 27 Skema Rangkaian Seri 59
Gambar 3. 28 Skema Rangkaian Paralel 60
Gambar 3. 29 Jangka Sorong 60
Gambar 3. 30 Stopwatch 60
Gambar 3. 31 Akselerometer 61
Gambar 3. 32 Multimeter 61
Gambar 4. 1 (a). Beban Massa Variasi(b). Pegas (c). Suspension test rig 63
Gambar 4. 2 Grafik Pengujian Konstanta Pegas HEMSA 65
Gambar 4. 3 (a) pengujian kompresi, (b) pengujian rebound 67
Gambar 4. 4 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan viscous damping 69
Gambar 4. 5 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan viscous+friction damping. 71
Gambar 4. 6 Grafik gaya redaman fungsi kecepatanviscous+friction+electric damping 73
Gambar 4. 7Distribusi Konstanta Redaman HEMSA 75
Gambar 4. 8Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat pembebanan 83.4 Ohm 77
Gambar 4.9 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm 79
Gambar 4. 10 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat pembeban 250 Ohm 81
Gambar 4. 11 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada variasi pembebanan 82

Gambar 4. 12 (a) FBD Generator DC (J6) dan (b) FBD sistem elektrik 83
Gambar 4. 13 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA pada variasi pembebanan 85
Gambar 4. 14 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 0% 87
Gambar 4. 15 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 55% 89
Gambar 4. 16 Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 100% 91
Gambar 4. 17 Perbandingan Distribusi Konstanta Redaman HEMSA pada saat kondisi tanpa beban serta pembebanan akumulator dalam ketiga kondisi 93
Gambar 4. 18 Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA 95
Gambar 4. 19 Grafik respon *sprung mass* pengujian impuls 96
Gambar 4. 20 Grafik respon *sprung mass* pengujian periodik frekwensi 1,4Hz dengan pembebanan Resistor 97
Gambar 4. 21 Grafik respon *sprung mass*eksitasi pengujian periodik frekuensi 1,7Hz dengan pembebanan resistor 98
Gambar 4. 22Grafik respon sprung masseksitasi pengujian periodik frekwensi 2,2 Hz dengan pembebanan resistor 99
Gambar 4. 23 Grafik respon sprung mass pengujian impuls 100
Gambar 4. 24 Grafik respon sprung mass eksitasi periodik 1,4Hz dengan pembebanan akumulator 101
Gambar 4. 25 Grafik respon sprung mass eksitasi periodik 1,7Hz dengan pembebanan akumulator 102
Gambar 4. 26 Grafik respon sprung mass eksitasi periodik 2.2Hz dengan pembebanan akumulator 103
Gambar 4. 27 Diagram batang energi bangkitan HEMSA ekstitasi periodik 1,4Hz, 1,7Hz, 2,2Hz 104
Gambar 4. 28Grafik effisiensi perfoma HEMSA pembebanan Resistor 107
Gambar 4. 29 Grafik effisiensi perfoma HEMSA pembebanan akumulator 109
Gambar 4. 30 Grafik Force Transmibility vs Freq. ratio ζ0.23. ζ0,25. ζ0,27 110
Gambar 4. 31 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,4 Hz. (merah) 83.4 Ohm, (biru) 125 Ohm, (kuning)250Ohm 112
Gambar 4. 32 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,7 Hz. (merah) 83.4 Ohm, (biru) 125 Ohm, (kuning)250Ohm 113
Gambar 4. 33 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 2,2 Hz. (merah) 83.4 Ohm, (biru) 125 Ohm, (kuning)250 Ohm 114
Gambar 4. 34 Grafik displacement transimibility (Td) versus frequency ratio ζ0.21. ζ0,23. ζ0,24 116
Gambar 4. 35 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akumulatorbat eksitasi periodik 1,4 Hz. (merah) accu 0% charged (biru) accu 55%charged (hitam) accu 100% charged 117

Gambar 4. 36 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akumulatorbat eksitasi periodik 1,7 Hz. (merah) accu 0% charged (biru) accu 55%charged (hitam) accu 100% charged.....118
Gambar 4. 37 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akumulatorbat eksitasi periodik 2.2 Hz. (merah) accu 0% charged (biru) accu 55%charged (hitam) accu 100% charged.....119

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Data konsumsi fossil fuel dunia 1
Tabel 4. 1 Data hasil pengujian konstanta pegas 69
Tabel 4. 2 Konstanta Redaman Viscouse Damping (Compression) 68
Tabel 4. 3 Konstanta Redaman Viscouse Damping (Rebound) 68
Tabel 4. 4 Uji Konstanta Redaman Viscous+Friction Damping (Compression) 70
Tabel 4. 5 Uji Konstanta Redaman Viscous+Friction Damping (Rebound) 71
Tabel 4. 6 Uji Konstanta Redaman Viscous+Friction+Electric Damping (Compression) 72
Tabel 4. 7 Uji Konstanta Redaman Viscous+Friction+Electric Damping(Rebound) 73
Tabel 4. 8 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA 74
Tabel 4. 9 Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 83.4 Ohm (Compression) ... 76
Tabel 4. 10 Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 83.4 Ohm (Rebound) 77
Tabel 4. 11 Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm (Compression) .. 78
Tabel 4. 12 Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm (Rebound) 78
Tabel 4. 13 Konstanta Redaman HEMSA pada saat beban 250 Ohm (Compression) 80
Tabel 4. 14 Konstanta Redaman HEMSA pada saat beban 250 Ohm (Rebound) 80
Tabel 4. 15 Perbandingan Gaya Redaman Untuk Masing-Masing Pembebanan Rresistor (Lampu) 82
Tabel 4. 16 Nilai Konstanta Redaman HEMSA pada saat beban 83.4 Ohm 84
Tabel 4. 17 Nilai Konstanta Redaman HEMSA pada saat beban 125 Ohm 84
Tabel 4. 18 Nilai Konstanta Redaman HEMSA pada saat beban 250 Ohm 84
Tabel 4. 19 Perbandingan Gaya Redaman Untuk Masing-Masing Pembebanan Resistor 85
Tabel 4. 20 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator 0% charged (Compression) 86
Tabel 4. 21 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator 0% charged (Rebound) 87
Tabel 4. 22 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator 55% charged (Compression) 88
Tabel 4. 23 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator 55%charged (Rebound) 88
Tabel 4. 24 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator 100% charged (Compression) 90
Tabel 4. 25 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100% (Rebound) 91
Tabel 4. 26 Nilai Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 0% 92
Tabel 4. 27 Nilai Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 55% 92
Tabel 4. 28 Nilai Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100%. 93
Tabel 4. 29 Energi bangkitan eksitasi periodik 104
Tabel 4. 30 Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban 83.4 Ohm 105
Tabel 4. 31 Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban 125 Ohm 106
Tabel 4. 32 Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban 250 Ohm 106

Tabel 4. 33Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban terisi 0% 107
Tabel 4. 34 Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban terisi 55%.....108
Tabel 4. 35 Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban terisi 100%.....108
Tabel 4. 36 Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat beban 83.4 Ohm.....110
Tabel 4. 37 Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat beban 125 Ohm…….....110
Tabel 4. 38 Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat beban 250 Ohm 110
Tabel 4. 39 Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 0%.... .115
Tabel 4. 40 Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 55% 115
Tabel 4. 41 Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 100%.....115

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

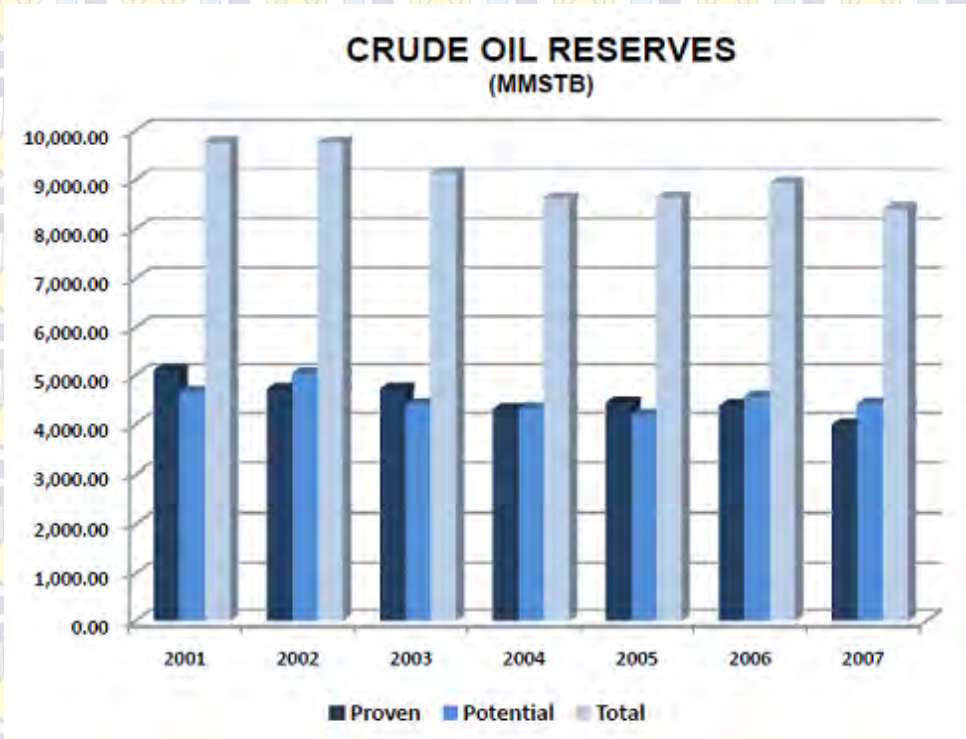
Pada saat ini kebutuhan energi dari *fossil fuel* cenderung mengalami peningkatan pada tiap tahunnya. Hal ini berdasarkan data dari IEA World Energy Statistics and Balances pada periode 1960 – 2007 (sebagian kecil dapat dilihat pada tabel 1.1). Pada tabel tersebut dapat disimpulkan bahwa sebagian besar masyarakat di dunia masih bergantung pada penggunaan energy yang berasal dari *fossil fuel*. *Fossil fuel* merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui, sedangkan kebutuhan terhadap bahan bakar tersebut masih cenderung meningkat, sehingga hal ini berpotensi menurunkan persediaan *fossil fuel* seiring bertambahnya waktu.

Tabel 1.1 Data konsumsi fossil fuel dunia

(IEA World Energy Statistics and Balances, BP Statistical Review, 2009)

Tahun						
2001	**2002**	**2003**	**2004**	**2005**	**2006**	**2007**
72,243.8 Billion/day	72,706.0 Billion/day	74,125.9 Billion/day	76,590.2 Billion/day	77,773.6 Billion/day	78,683.8 Billion/day	79,574.5 Billion/day

Pada skala nasional, data yang didapatkan dari statistic Kementerian ESDM tahun 2008 menunjukkan adanya kecenderungan penurunan ketersediaan *fossil fuel* di Indonesia dalam periode 7 tahun terakhir (ditunjukkan oleh gambar 1.1.). Kondisi tersebut mengakibatkan sebuah permasalahan berupa tidak seimbangnya jumlah permintaan terhadap *fossil fuel* dengan persediaan yang ada, sehingga dapat berdampak pada kelangkaan bahan bakar ataupun melonjaknya harga minyak bumi.



Gambar 1.1Persediaan minyak mentah di Indonesia dalam MMSTB (million metric stock tank barrel) – (data statistic Kementerian ESDM, 2008)

Berdasarkan data statistik Kementrian ESDM yang ada, maka dibutuhkan solusi dalam mengatasi permasalahan tersebut, antara lain berupa penggunaan energi alternatif, maupun berbagai upaya yang dapat meningkatkan efisiensi penggunaan energi.salah satu sumber energi alternatif yang dikembangkan dalam kendaraan adalah VEH (*Vibration Energy Harvesting*) yaitu alat pemanen energi yang memanfaatkan getaran kendaraan pada sistem suspensi. Salah satu alat yang dibuat yaitu *Regenerative Shock Absorber* (RSA), yang memanfaatkan gerak relatif antara sistem suspensi dengan bodi kendaraan untuk menghasilkan energi listrik.

Pada penelitian ini, penulis akan melakukan studi eksperimental karakteristik getaran dan energi listrik bangkitan dari hidraulik-mekanik-elektro shock absorber akibat variasi pembebanan listrik. Gerak translasi osilatif akan dikonversi menjadi gerak rotasi dengan menggunakan mekanisme *rack and pinion gear*. Kemudian gerak rotasi diteruskan oleh *gearbox* yang di dalamnya terdapat *bevel gear* dan menggunakan *one-way bearing* untuk membuat putaran searah yang dihubungkan ke generator. Dari penelitian ini akan didapatkan karakteristik getaran dan energy bangkitan dari prototype HEMSA. Data-data hasil percobaan tersebut kemudian dianalisa sehingga didapatkan kesimpulan dari hasil penelitian

1.2 Perumusan Masalah

Dalam penelitian ini akan dibahas beberapa pokok permasalahan, antara lain:

1. Bagaimana karakteristik getaran dari *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* dengan rasio *cylinder hydraulic* 30mm:40mm dengan pembebanan Resistor (Lampu) dan Akumulator (Aki).
2. Bagaimana karakteristik energi bangkitan yang dihasilkan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* dengan rasio *cylinder hydraulic* 30mm:40mm dengan pembebanan Resistor (Lampu) dan Akumulator (Aki).
3. Bagaimana analisa karakteristik getaran dan energi bangkitan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* dengan rasio *cylinder hydraulic* 30mm:40mm dengan pembebanan Resistor (Lampu) dan Akumulator (Aki).
4. Bagaimana pengaruh karakteristik getaran *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* dengan rasio *cylinder hydraulic* 30mm:40mm dengan pembebanan Resistor (Lampu) dan Akumulator (Aki) terhadap respon kenyamanan yang terjadi.

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Mengetahui karateristik getaran pada *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* dengan rasio *cylinder hydraulic* 30mm:40mm dengan pembebanan Resistor (Lampu) dan Akumulator (Aki).
2. Mengetahui karakteristik energi bangkitan yang dihasilkan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* dengan rasio *cylinder hydraulic* 30mm:40mm dengan pembebanan Resistor (Lampu) dan Akumulator (Aki).
3. Menganalisa karakteristik getaran dan energi bangkitan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* dengan rasio *cylinder hydraulic* 30mm:40mm dengan pembebanan Resistor (Lampu) dan Akumulator (Aki).
4. Mampu menganalisa pengaruh karakteristik getaran *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* dengan rasio *cylinder hydraulic* 30mm:40mm dengan pembebanan Resistor (Lampu) dan Akumulator (Aki) terhadap respon kenyamanan yang terjadi.

1.4 Batasan Masalah

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

1. Pengujian regerative shock absorber dilakukan dengan *quarter model* (¼ dari masa kendaraan).
2. Eksitasi yang digunakan adalah alat uji suspensi, yaitu suspensi *suspension test rig*.
3. Pada perhitungan ini arus dan voltage yang digunakan adalah pembacaan multimeter/Osciloscope
4. Pengujian ini hanya menggunakan satu derajat kebebasan, ada saat pengujian *shock absorber* tidak menggunakan roda.
5. Generator yang digunakan adalah alternator sepeda motor Jupiter MX.
6. Disturbance & Noise yang terjadi diabaikan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat penelitian ini antara lain:

1. Sebagai penghasil energi alternatif yang bisa dipasang pada kendaraan.
2. Mampu memberikan kontribusi sebagai energi alternatif di indonesia agar dapat menghemat bahan bakar fosil.
3. Terciptanya sebuah teknologi baru dalam penerapan SistemKonversi Energi Otomotif yang digunakan untuk berbagai keperluan di Indonesia.
4. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai acuan pengembangan *regenerative shock absorber* pada penelitian berikutnya.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan laporan dibagi dalam beberapa bab sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan

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

2. Bab II Tinjauan Pustaka

Bab ini 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

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

4. **Bab IV Analisa dan Pembahasan**

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

5. **Bab V Penutup dan Saran**

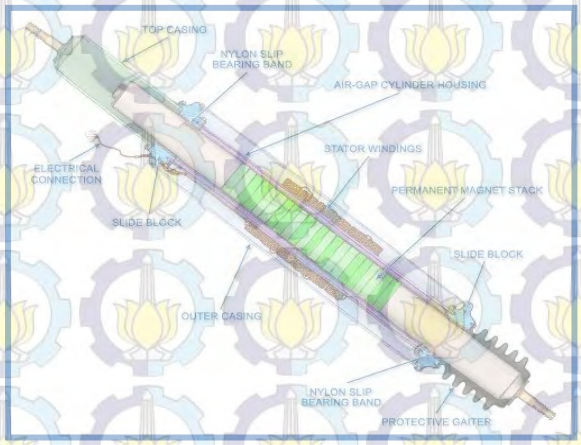
Bab ini berisi tentang kesimpulan dan saran penelitian yang didapatkan dari hasil pengujian yang dilakukan pada peralatan yang direncanakan.

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 yang ditemukan oleh Ronald B. Goldner dan Peter Zerigian. Penemuan alat tersebut sudah dipatenkan di Amerika Serikat dengan registrasi U.S. 6.952.060. Pada Shock absorber konvensional kendaraan yang mengubah energi kinetik menjadi energi panas yang dilakukan oleh *shock'soil*, sedangkan prinsip kerja dari Power Generating Shock Absorber(PGSA) adalah dengan merubah energi kinetik menjadi energi listrik dengan menggunakan Linear Motion Electromagnetic System (LMES).Pada LMES tersebut terdapat serangkaian tumpukanmagnet 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)

2.1.2 Regenerative Shock Absorber Massachusets Insititute of Technology

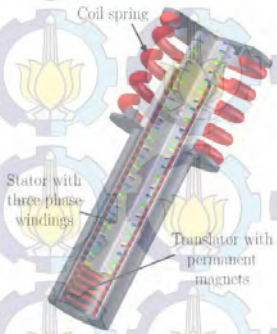
Pada tahun 2009, tim dari *Massachutes Institute of Technology* (MIT) telah menciptakan shock absorber yang mampu menghasilkan energi listrik ditunjukkan pada gambar 2.2. Prinsip kerja shock absorber ini adalah dengan menggunakan sistem hidrolik, dimana sistem hidrolik ini berfungsi memaksakan cairan 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 Massachutes Institute of Technology

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

Pada tahun 2010, tim dari *Eindhoven University of Technology* membuat suatu alat yaitu *active electromagnetic suspension system* yang ditunjukkan pada gambar 2.3. Tim ini bekerjasama dengan BMW dan SKF untuk membuat alat tersebut. Perinsip kerja dari alat ini sama halnya dengan prinsip kerja dari *linier electromagnetic absorber* yang menggunakan magnet dan kumparan yang bergerak translasi sehingga menghasilkan listrik. Suspensi ini termasuk dalam kategori suspense aktif. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, electromagnetic suspension ini dapat menghasilkan daya lebih kurang sebesar 2 KW dan tingkat kenyamanan dalam berkendara meningkat menjadi 60%.



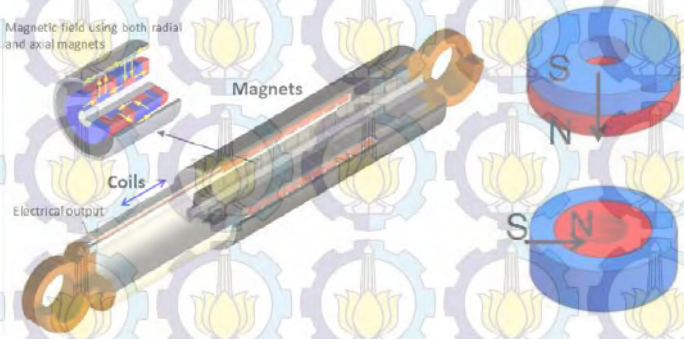
Gambar 2.3 *active electromagnetic suspension system* oleh Bart L.J.Gysen dkk

2.1.4 Regenerative Shock Absorber oleh Prof.Lei Zuo dkk

Pada tahun 2010, tim yang berasal dari Stoony Brook University terdiri atas Prof Lei Zuo dan Pei Sheng-Zang telah mendesain dan menguji temuan mereka tentang pemanen energi dari suspensi kendaraan.

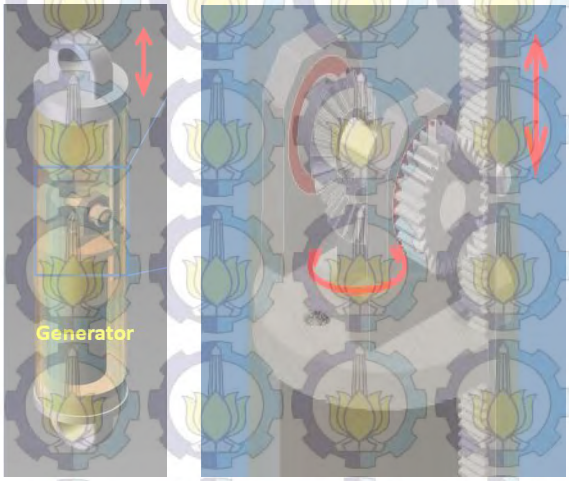
Mereka memanfaatkan getaran yang terjadi pada suspensi kendaraan untuk menghasilkan listrik. Terdapat dua metode yang digunakan, yaitu dengan *Linear Electromagnetic Absorber* dan *Rotational Absorber*.

Pada *Linear Electromagnetic Absorber*, prinsipnya adalah dengan menggunakan 2 tipe magnet yaitu *axial* dan *radial*. Magnet ini akan bergerak secara translasi mengikuti getaran yang terjadi pada kendaraan. Pada sisi yang lain, terdapat kumparan, yang bila terkena gerak translasi yang terjadi pada magnet akan menghasilkan energi listrik, sesuai dengan prinsip elektromagnetik. *Linear Electromagnetic Absorber* cocok digunakan untuk kendaraan-kendaraan besar dengan tingkat vibrasi yang tinggi, seperti truk,kendaraan off road,tank, dan lain sebagainya. *Linear elektromagnetic absorber* dapat dilihat pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4 *Linear Electromagnetic Absorber*

Sedangkan pada *Rotational Absorber*, prinsipnya adalah dengan mengubah gerak translasi yang terjadi pada getaran kendaraan menjadi gerak rotasi. Gerak rotasi ini selanjutnya akan digunakan untuk memutar generator dan menghasilkan listrik. Untuk mengubah gerak translasi menjadi gerak rotasi, digunakan roda gigi *rack* yang akan berpasangan dengan *spur gear*. Untuk mengubah putaran dari arah aksial menjadi radial, digunakan pasangan *bevel gears*. *Rotational Absorber* cocok digunakan pada kendaraan perkotaan, untuk desainnya bisa dilihat pada Gambar 2.5.

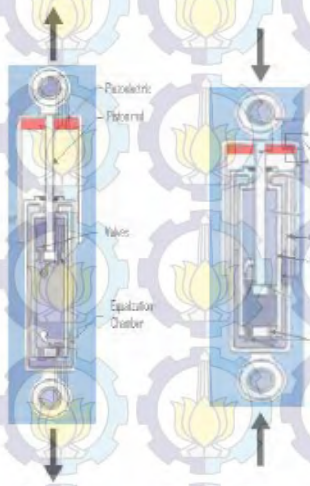


Gambar 2.5 *Rotational Absorber* dengan Prinsip Roda Gigi

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. Peningkatan efisiensi konsumsi bahan bakar sebesar 2-10%.

1.2.5 Regenerative Shock Absorber oleh Marcos Arziti

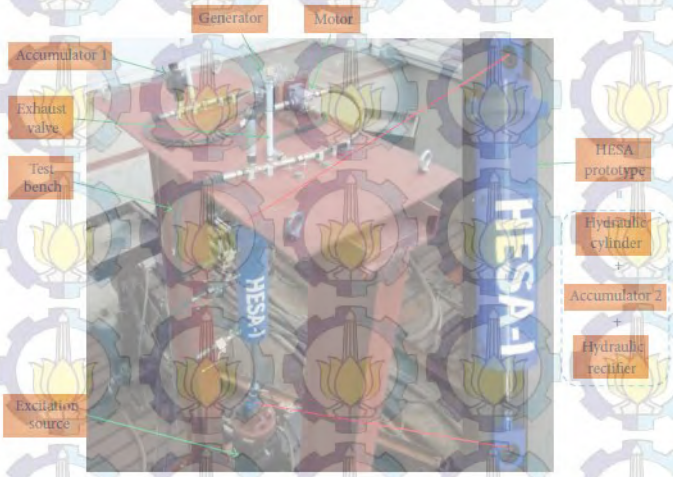
Pada tahun 2010, Marcos Arziti mengembangkan *regenerative shock absorber* yang berbasis piezoelektrik. Suspensi ini menggunakan piezo elektrik yang ditempatkan dibagian puncak dari piston sebagai pembangkit energinya. Pada saat suspensi dieksitasi oleh benjolan jalan, maka gerakan piston akan menyebabkan terjadinya kompresi diruang silinder. Selanjutnya kompresi ini akan memicu terjadinya regangan pada piezoelektrik yang berakibat munculnya beda potensial pada kedua sisi piezo. Sebaliknya pada saat terjadi ekspansi, piezoelektrik akan tertarik sehingga menyebabkan munculnya beda potensial pada kedua sisi piezo. Berikut ditampilkan gambar 2.6 cara kerja R.S.A piezoelektrik. Pada *Regenerative shock absorber* ini, tegangan listrik yang dihasilkan sebesar 0,0176 volt.



Gambar 2. *6* Cara kerja R.S.A piezo elektrik

2.1.6 Hydraulic Electromagnetic Energy-Regenerative Shock Absorber oleh Zhigang Fang dkk

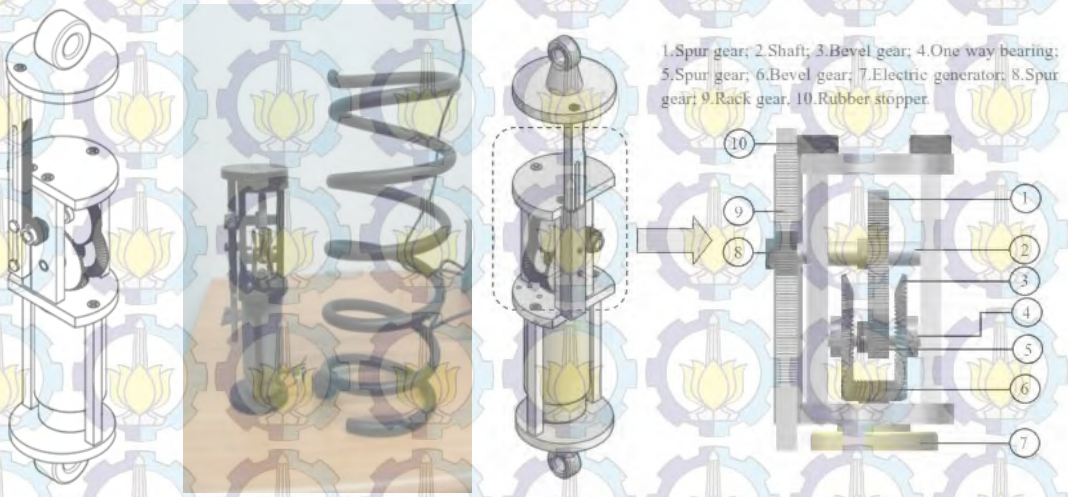
Pada tahun 2013,Zhigang fang dari Wuhan University of technology China, membuat *absorber* dari komponen hidrolik *aktuator* yang dihubungkan dengan hidrolik motor generator. Pada sistem HESA aliran fluida dari hidrolik disalurkan dan diatur oleh 4 buah katup *rectifier* yang berfungsi mengatur arah aliran fluida ketika terjadi *rebond* dan *compression.* Berdasarkan hasil pengujian energi yang dihasilkan dari *regenerative shock absorber* ini mencapai 193 watt. Mengenai ilustrasi alat HESA dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.7 *Hydraulic electromagnetic shock absorber* oleh Zhigang Fang dkk

2.1.7 Development and Analysis of a RegenerativeShock Absorber for Vehicle Suspension oleh Harus Laksana Guntur, dkk. ITS, Surabaya

Pada tahun 2013, Harus Laksana Guntur, Wiwiek Hendrowati dan Rahman Roy Lubis dalam jurnalnya melakukan pengembangan dan analisa *prototype* RSA seperti pada gambar 2.8.PrototipedariRSAterdiri darisistemtransmisi gigi, *one way bearing*dansebuah generatorelektromagnetik. 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 Ohm) sebesar 2552 Ns/m. Untuk *transmisibility 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 2.8 Desain regenerative Shock Absorber

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 berosilasi 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

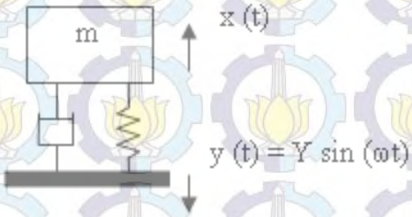
Getaran paksa adalah getaran yang terjadi karena rangsangan gaya luar,jika rangsangan tersebut berosilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi rangsangan. Jika frekuensi rangsangan sama dengan salah satu frekuensi natural sistem, maka akan didapatkan keadaan resonansi dan osilasi yang besar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

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

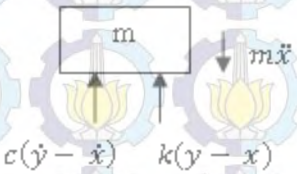
Bila suatu sistem dipengaruhi oleh eksitasi harmonik, maka respon getaranyaakan berlangsung pada frekuensi yang sama dengan frekuensi eksitasi. Sumber-sumber eksitasi harmonic bisa berasal dari gaya-gaya pada peralatan mesin torak atau gerak mesin itu sendiri. Mula-mula akan diperhatikan sistem dengan 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



Gambar 2.9 Eksitasi pada landasan



Gambar 2.10 Free Body Diagram eksitasi pada base

Steady state response dari massa adalah, *xp(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 $\propto = tan^{-1}\left[-\frac{c\,\omega}{k}\right]$ 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* :

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

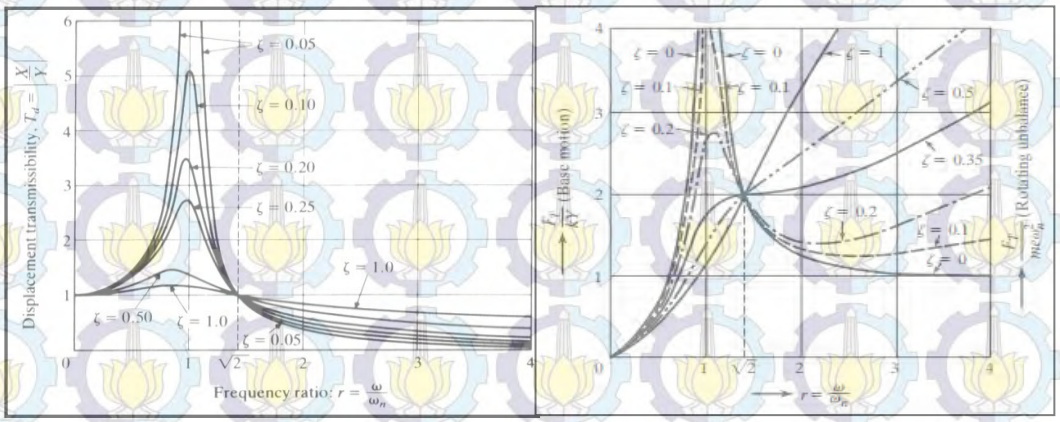
Dan :

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

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

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

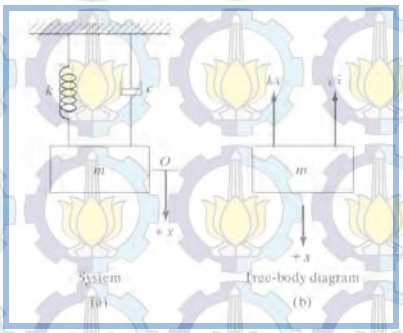
Keterkaitan antara *damping ratio*, *frequency ratio* dan *displacement transmissibility* dan *force transmissibility* ditunjukkan pada grafik dibawah ini(gambar 2.11) :



Gambar 2.11 *displacement transmissibility vs frequency ratio*

2.2.5 Sistem Derajat Kebebasan (*Degree of freedom*)

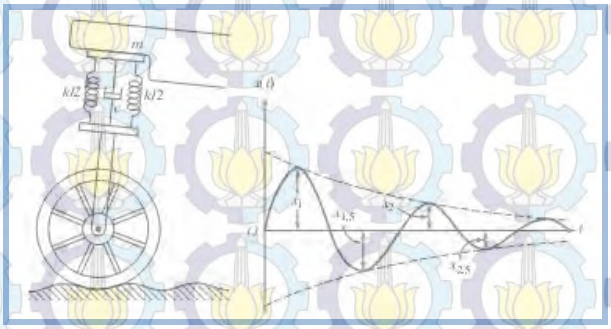
Jumlah koordinat bebas yang dibutuhkan untuk menggambarkan gerak suatu sistem disebut derajat kebebasan atau *degree of freedom(DOF)*.Jadi suatu partikel bebas yang mengalami gerak umum dalam ruangan akan memiliki tiga derajat kebebasan (sumbu x,sumbu y dan sumbu z). Sedangkan benda kaku akan mempunyai 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 2.12 *single Degree of freedom (1DOF) dengan viscous damper*

2.2.6 Logarithmict decrement

Logarithmict decrement merupakan tampilan dari pengurangan amplitude pada getaran bebas teredam. Dengan mengetahui seberapa besar *logaritmic decreament* (δ) pada sistem tersebut, maka besarnya konstanta redaaman pada sistem juga dapat diketahui pula :



Gambar 2.13 Sistem 1 DOF pada shockabsorber sepeda motor dengan peredam dan analisa sistem eksperimennya

diketahui dengan *t* sebagai waktu pada saat puncak pertama dan kedua, menunjukkan perpindahan puncak yang dimaksud sebagain $x_1$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 decreament dan menjadi :

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

Dimana : ζ = damping ratio

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

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 dhitung dengan persamaan berikut:

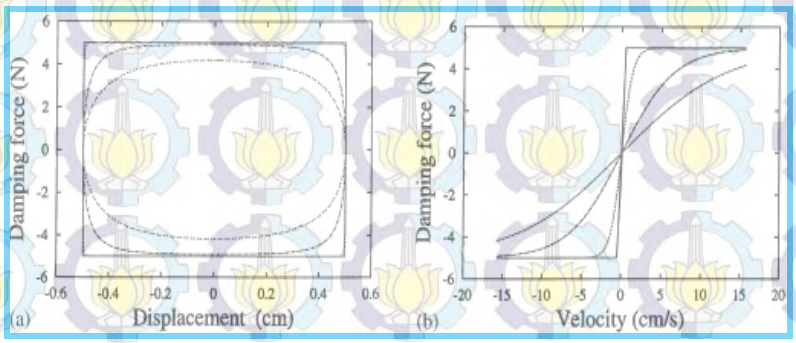
$$c = \zeta\, 2\sqrt{km}$$

Keterangan

C : kontanta redaman (Ns/m)

C_c : *Critical damping*

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



Gambar 2.14 Grafik pengaruh gaya redaman terhadap perpindahan dan kecepatan

Pada redaman sistem dapat dicari dengan menggunakan persamaan gerak berikut :

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

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

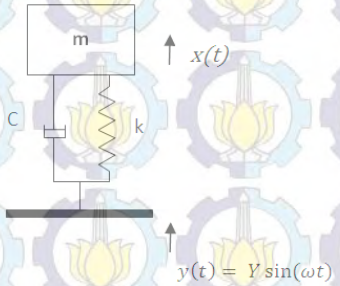
Maka persamaan menjadi :

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

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

2.2.8 Motion Base

Terkadang suatu *base* (landasan) dari suatu system suspensi mengalami suatu getaran harmonic, sebagaimana ditunjukkan pada gambar 2.14 :



Gambar 2.15 Eksitasi pada Base

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 :

$$x_p(t) = Xsin(\omega t - \emptyset)$$

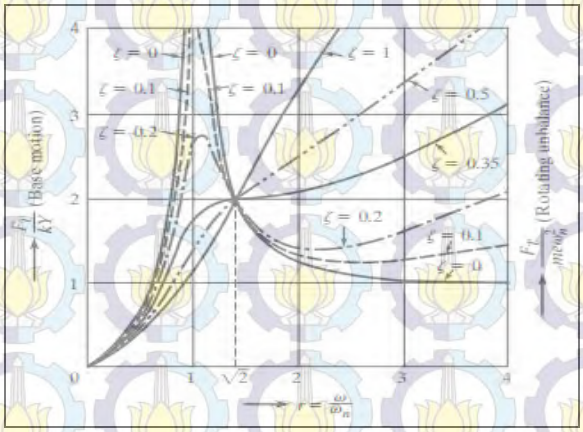
Dimana :

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

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

$$\frac{F_T}{kY} = r^2 \left[\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2} \right]^{1/2} \quad \text{... (2.6)}$$

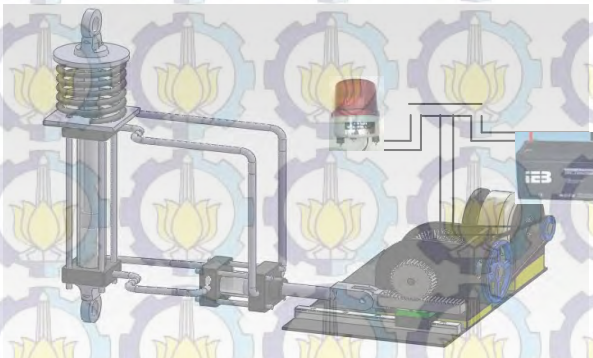
Keterkaitan antara *damping ratio*, *frequency ratio*,*displacement transmissibility*, dan *force transmissibility* ditunjukkan pada grafik dibawah ini:



Gambar 2.16 Grafik force transmissibility

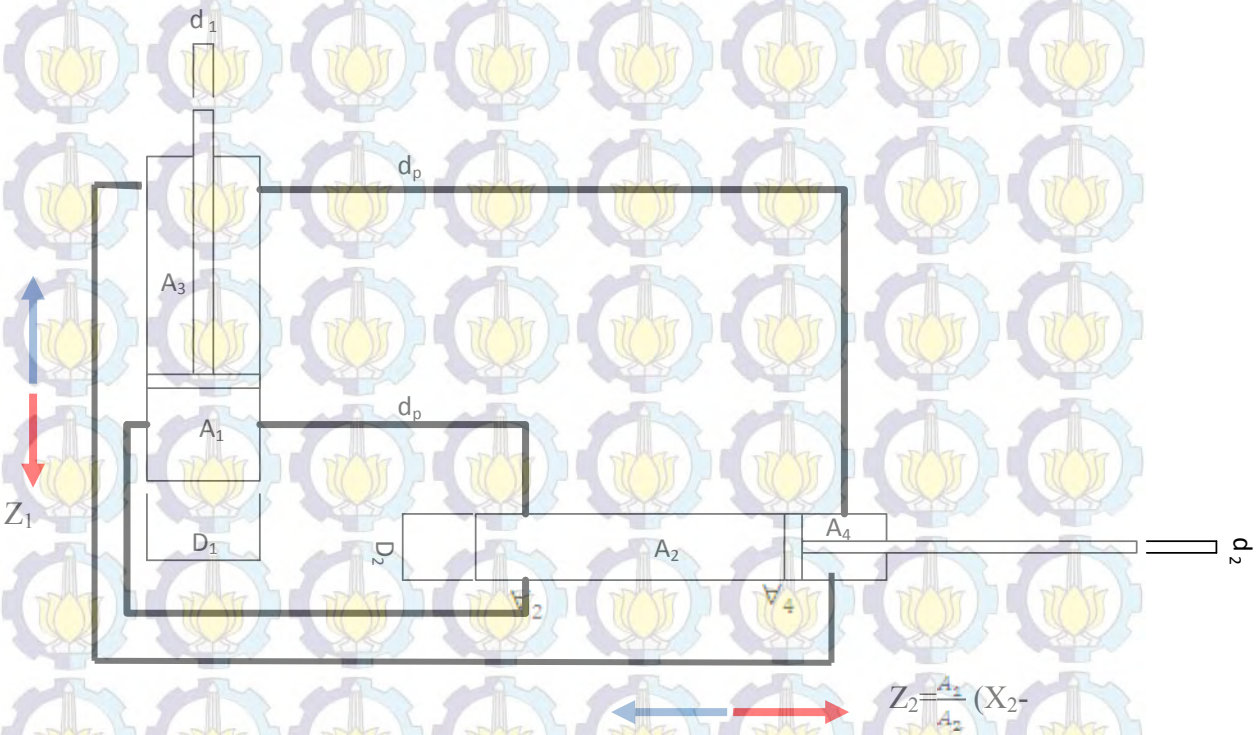
2.2.9 Mekanisme Pada HEMSA

Prinsip kerja pada alat *regenerative shock absorber* hasil rancangan penelitian iniadalah dengan memanfaatkan gerakan naik turun suspensi kendaaran,dalam hal ini fluida dari absorber ditransfer melalui sebuah *hydraulic actuator*, kerja dari actuator ini sama seperti gerakan piston hidrolis,yaitu gerakan translasi akibat aliran fluida. Gerakan translasi dari actuator kemudian dirubah menjadi gerakan rotasi,pemindahan daya tersebut kemudian ditransmisikan oleh *gearbox* dengan rasio tertentu. Putaran *gearbox* kemudian dihubungkan ke sebuah generator untuk merubah energy mekanik menjadi energy listrik. Sistem tersebut dapat diilustrasikan pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.17 konstruksi *Mekanisme HEMSA*

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



Gambar 2. 1 Skema mekanisme hydraulic pada RSA

Panjang langkah untuk *compression&rebound*, dapat didekati dengan persamaan sebagai berikut:

1. *Compression*

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

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

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

$$Z_{c2} = \frac{A_1}{A_2} \ x \ (X_2 - X_1)$$

2. *Rebound*

$$\forall_{rebound\ 1} = \forall_{rebound\ 2}$$

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

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

$$Z_{r2} = \frac{\frac{1}{4}\pi \ (D_1{}^2 - d_1{}^2)}{\frac{1}{4}\pi \ (D_2{}^2 - d_2{}^2)} \ x \ (X_2 - X_1)$$

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

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

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

$$A_1 x \ v_1 = A_p \ x \ v_p$$

$$v_p = \frac{A_2}{A_p} x \ v_2$$

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

$$A_p x \ v_p = A_2 \ x \ v_2$$

$$v_2 = \frac{A_p}{A_2} x \ v_p$$

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

$$v_p = v_{rack} = v_{pinion}$$

$$v_{pinion} = \frac{\pi \ x \ d_{pinion} \ x \ n_{pinion}}{12}$$

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

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

Sehingga, $$rv = \frac{d_{bevel\,1}}{d_{bevel\,2}} = \frac{n_{bevel\,2}}{n_{bevel\,1}}$$

Dari rumus diatas akan didapatkan putaran pada poros *bevel gear 2* yang satu poros dengan *pulley input*, sehingga dengan menggunakan rasio pada *pulley*1 dan *pulley*2 yang dihubungkan dengan*belt*, akan didapat putaran untuk memutar generator yang satu poros dengan *pulley* 2, rumusnya adalah sebagai berikut:

$$rv = \frac{d_{pulley\,1}}{d_{pulley\,2}} = \frac{n_{pulley\,2}}{n_{pulley\,1}}$$

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

a. Hukum Pascal

Sistem hidrolik menggunakan prinsip Pascal (1653) yang menyatakan bahwa tekanan yang bekerja pada setiap bagian gas atau fluida pada ruang tertutup akan merambat kebagian lain dalam ruangan tertutup ini dengan kekuatan yang sama, secara matematis dinyatakan:

$$P = \frac{F}{A}$$

Keterangan:

P = Tekanan (Pa)

F = Gaya yang bekerja (N)

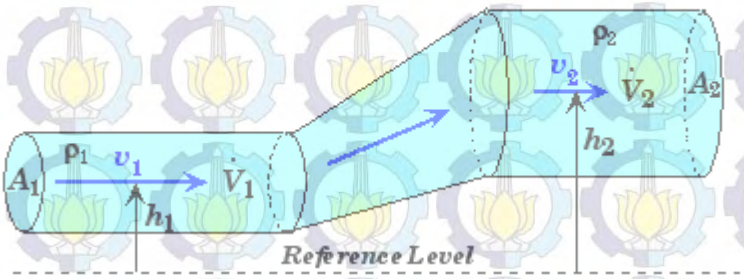
A = Luas penampang yang menerima tekanan (m^2)

b. Hukum Bernoulli

Hukum Bernouli menyatakan bahwa tekanan dari fluida yang bergerak seperti udara berkurang ketika fluida tersebut bergerak lebih cepat. Hukum Bernoulli ditemukan oleh Daniel Bernoulli, seorang matematikawan swiss yang menemukannya pada tahun 1700. Bernoulli menggunakan dasar

matematika untuk merumuskan hukumnya. Berikut ialah rumus dasar dari hukum Bernoulli:

$$P_1 + \frac{1}{2}\rho_1 v_1^2 + \rho_1 g\, h_1 = P_2 + \frac{1}{2}\rho_2 v_2^2 + \rho_2 g\, h_2$$



Gambar 2.2 Penerapan hukum bernouli pada penampang

dengan losses yang diperhitungkan maka persamaan di atas menjadi:

$$\frac{P_1}{\rho} + \alpha\frac{V_1^2}{2} + gh_1 = \frac{P_2}{\rho} + \alpha\frac{V_2^2}{2} + gh_2 + h_T$$

Keterangan:

P = Tekanan (Pa)

V = Kecepatan (m/s)

ρ = Massa jenis fluida (kg/m^3)

h = Ketinggian (m)

g = Percepatan gravitasi (m/s^2)

h_T = Head loss total.

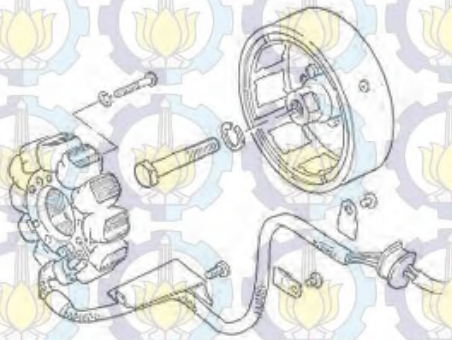
2.3 Motor Generator

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 gas,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.

2.3.1 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.

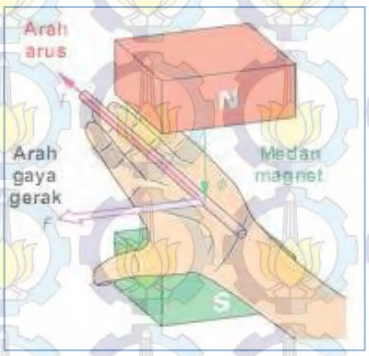
Konstruksi dari Alternator tersebut terdiri dari magnet permanen(rotor) dan kumparan kawat tembaga(stator).Alternator dengan magnet permanen biasanya dipasang pada sepeda motor, dimana magnet terpasang pada poros *flywheel* dan kumparan kawat tembaga terpasang pada tutup mesin.Sehingga yang berputar 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



Gambar 2.20 Alternator AC sepeda motor

2.3.2 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 2.21 Kaedah *flamming* tangan kiri

Besarnya gaya Lorentz dapat dihitung dengan persamaan dibawah ini:

$F = B.I.l.z$

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 membangkitan enargi yang bersumber dari energy 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 dynamo 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.

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

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

Dimana :

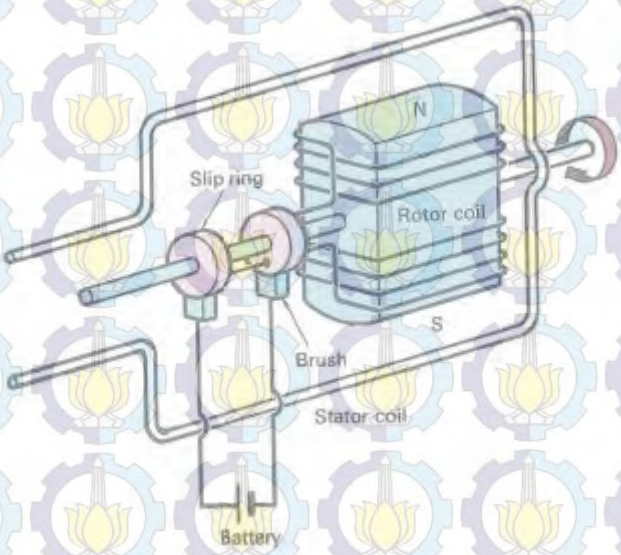
N = jumlah lilitan

B = kuat mean magnet(T)

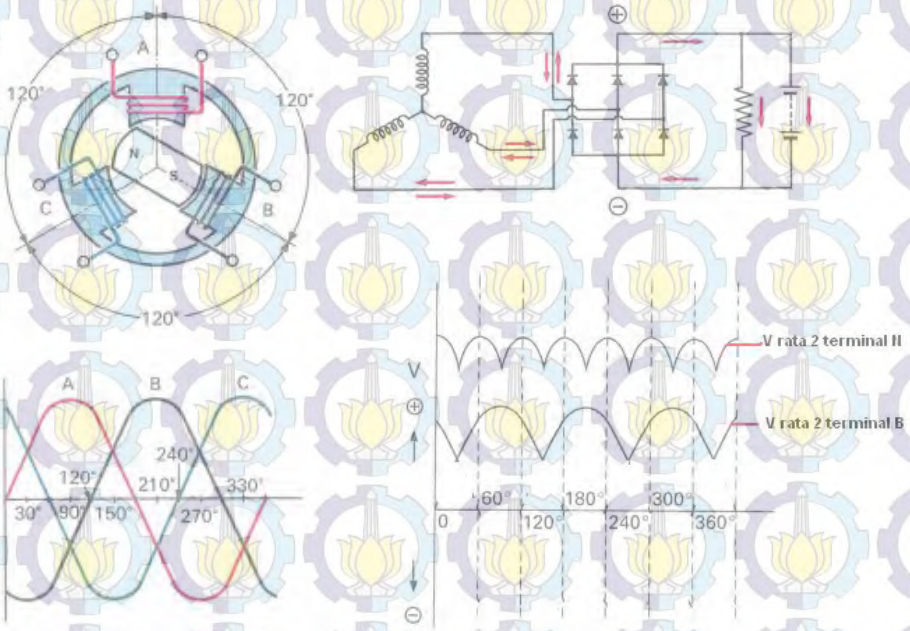
A = luas kumparan (m^2)

w = kecepatan sudut (rad/s)

Umumnya alternator mempunyai 3 kumparan medan, setiap kumparan medan tersebut dipasang dengan jarak 120° atau biasa dikenal dengan alternator 3 fasa. Susunan tersebut menghasilkan tegangan listrik yang lebih merata dibandingkan dengan alternator satu fasa. Terdapat dua metode penyambungan kumparan medan yaitu sambungan delta dan sambungan bintang (Y) yang lebih sering digunakan. Metode penyearahan yang digunakan pada alternator 3 fasa dapat dilihat pada gambar 2.15



Gambar 2.22 Prinsip kerja alternator



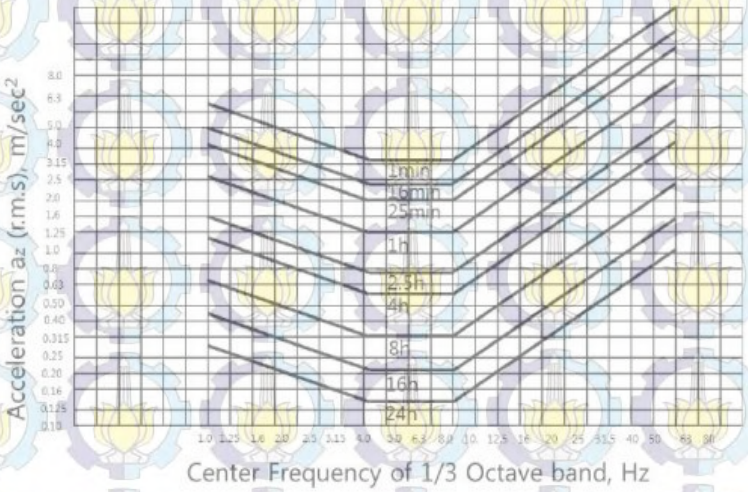
Gambar 2.23 Metode penyearahan alternator 3 fasa

Tegangan dan arus bolak-balik (AC) yang dihasilkan oleh generator umumnya mempunyai frekuensi diantara 50 Hz – 60 Hz. Besar tegangan listrik yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh kecepatan putar rotor dan besar arus listrik yang diberikan ke kumparan rotor untuk menghasilkan medan magnet. Untuk menjaga agar tegangan yang dihasilkan alternator tetap konstan maka pada alternator biasanya dilengkapi dengan alat pengatur tegangan (*Voltage Regulator*).

2.4 Pengaruh Percepatan Kendaraan Terhadap Manusia

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

Untuk kriteria kenyamanan berdasarkan besar percepatan menurut standart ISO 2631, ditampilkan dalam grafik pada gambar 2.3di bawah ini.



Gambar 2.4 Grafik kriteria kenyamanan berkendara standar ISO 2631

BAB III
METODOLOGI PENELITIAN

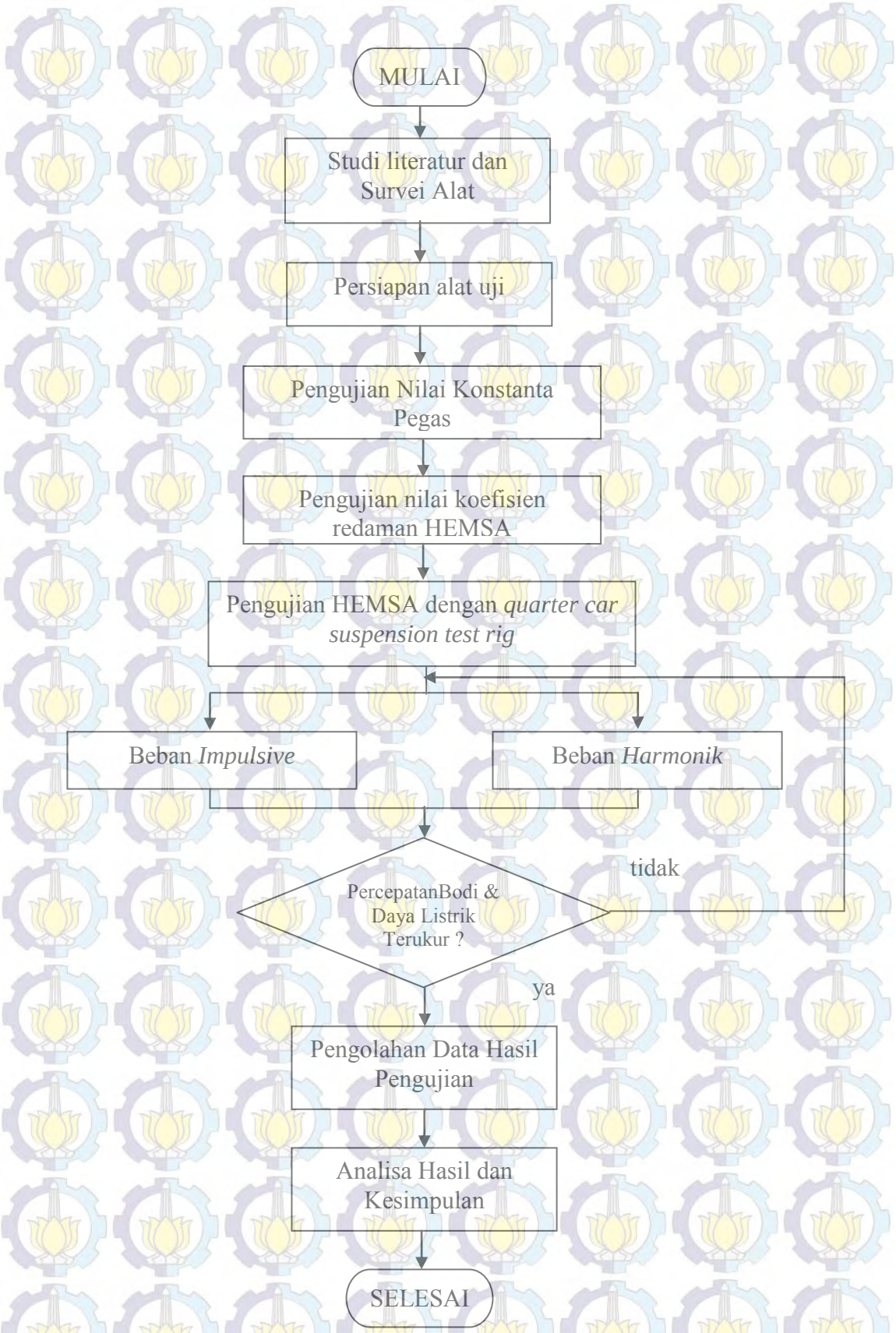
Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai langkah – langkah yang dilakukan dalam melakukan penelitian. Penelitian ini dilakukan dengan mengikuti langkah – langkah penelitian yang ditunjukkan dalam beberapa gambar flowchart berikut ini :

3.1 Diagram Alir Penelitian

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

1. Studi Literatur
2. Tahap survei alat
3. Pengujian Nilai Konstanta Pegas
4. Pengujian nilai koefisien redaman HEMSA
5. Pengujian mekanisme alat
6. Pengolahan data hasil pengujian

Flowchart tahapan percobaan tersebut dapat dilihat pada gambar dibawah ini :



Gambar. 3. 1. *Flowchart* penelitian

3.1.1 Study literatur dan Survei Alat Uji

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

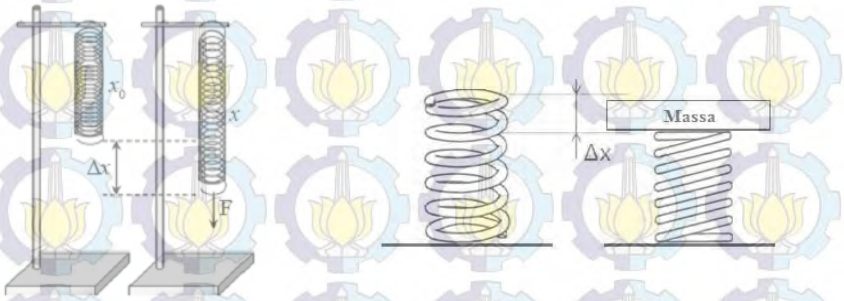
Tahap survei alat ini berfungsi untuk menentukan dimensi, massa uji, *exciter* yang akan digunakan pada pengujian. Alat uji yang digunakan adalah *suspension test rig* yang tersedia di Lab. Design Teknik Mesin ITS.

3.1.2 Tahap Persiapan

Tahap persiapan pengujian yaitu berupa penyiapan alat uji, pemasangan *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA) pada alat uji,*set up* alat uji untuk setiap jenis pengujian. Saat diuji dinamis, variabel tetapnya adalah massa kendaraan, konstanta pegas, viskositas oli *hydraulic*. Sedangkan variable yang dirubah adalah variasi nilai beban lampu yaitu 83 ohm, 125 ohm, dan 250 ohm dan akumulator terisi 0%, 55% dan 100% .

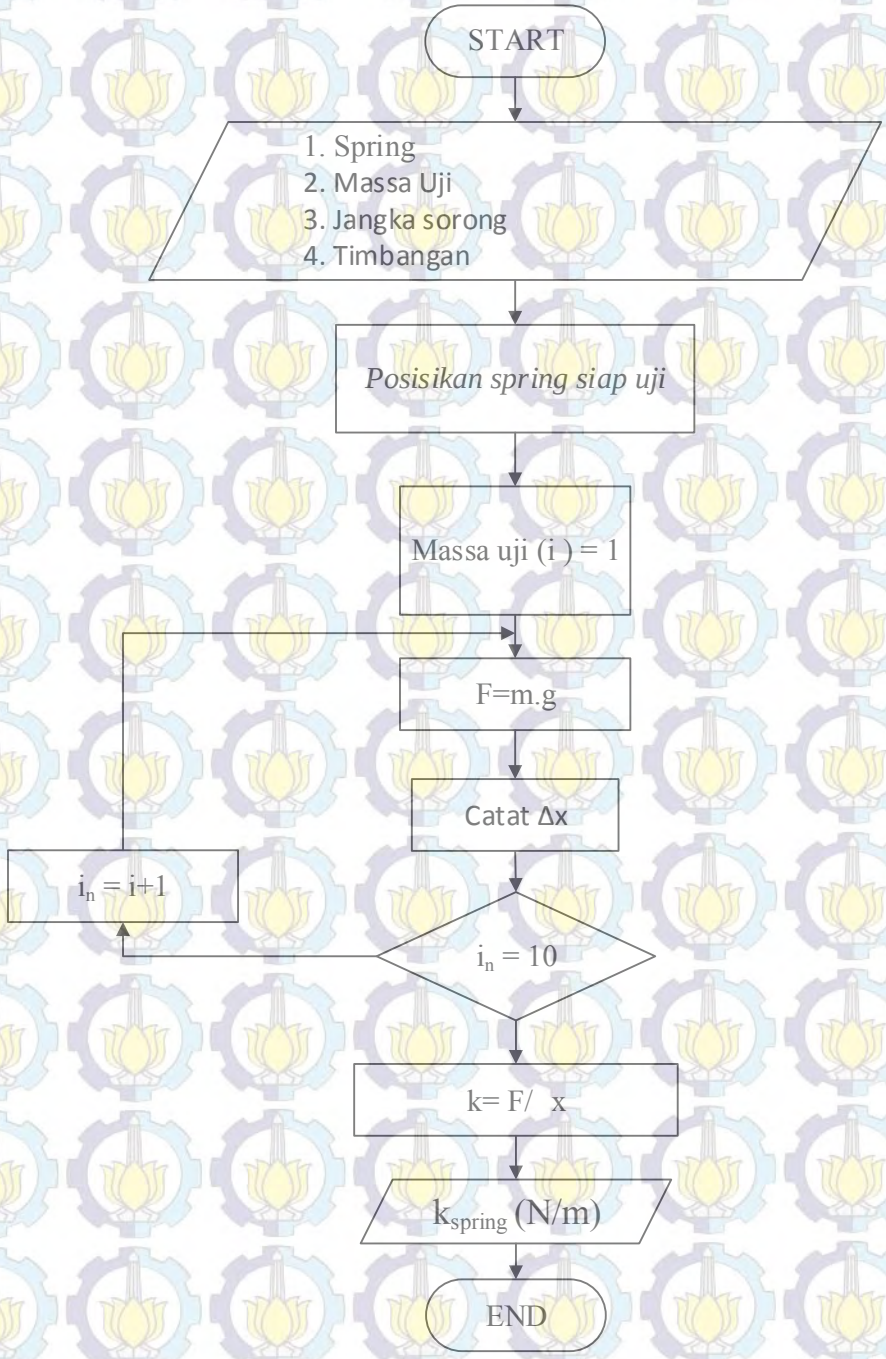
3.1.3 Pengujian Nilai konstanta pegas

Pengujian nilai konstanta pegas 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 . Δx.



Gambar 3. 2 Pengujian nilai konstanta Pegas

Berikut ini adalah *flowchart* pengujian nilai konstanta pegas:



Gambar 3. 3 *Flowchart* pengujian kekakuan pegas

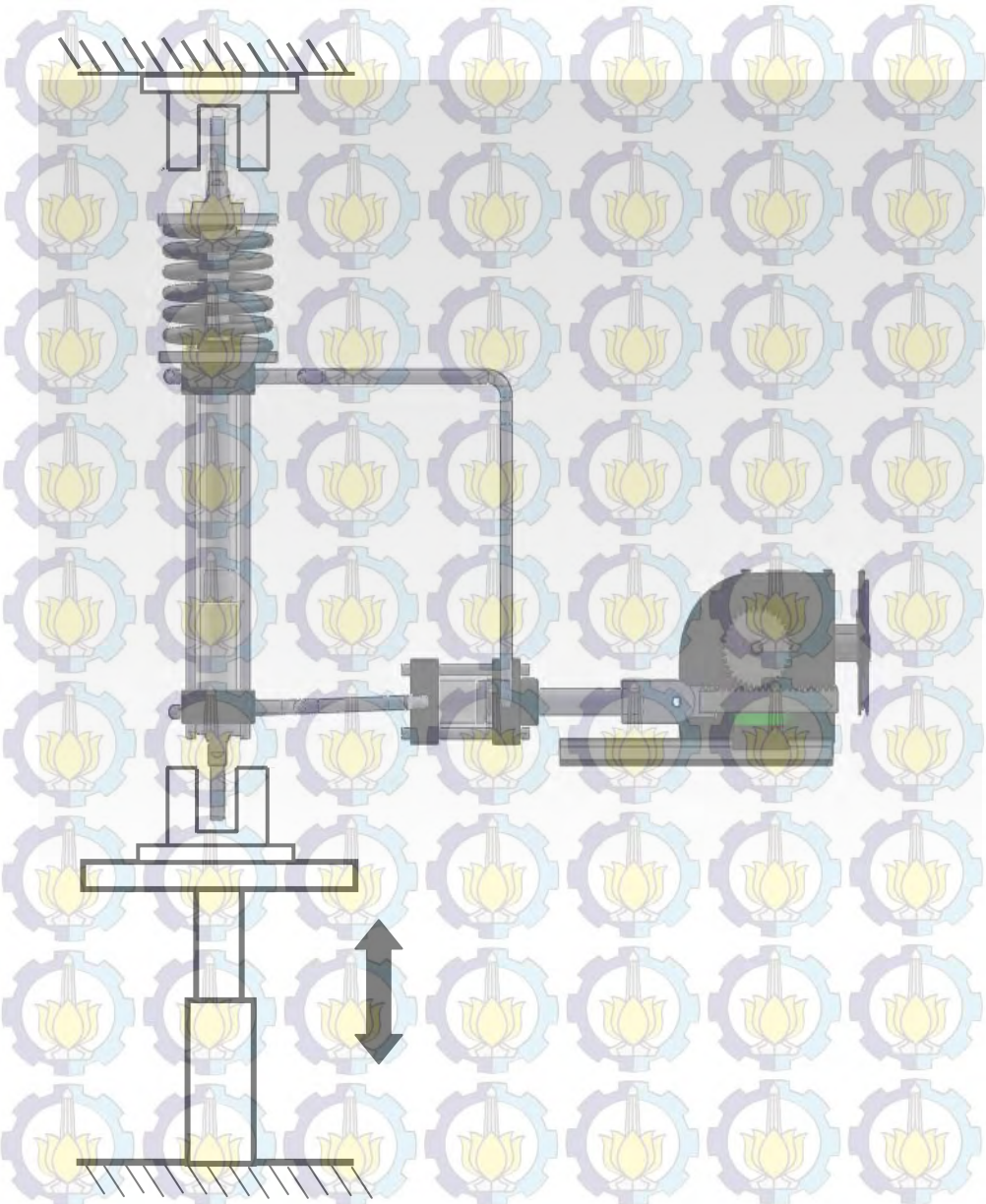
3.1.4 Pengujian nilai koefisien redaman *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA)

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

Pada kasus ini, pengujian gaya redaman dilakuakan dengan cara memberikan massa uji yang bervariasi pada *quarter car suspension testrig*, massa uji tersebut sebagai gaya redaman yang akan mendorong hidrolik dari posisi *full stroke* (titik mati atas) sampai titik mati bawah. Pada kondisi awal *rodHydraulic* dikondisikan pada titik mati atas,

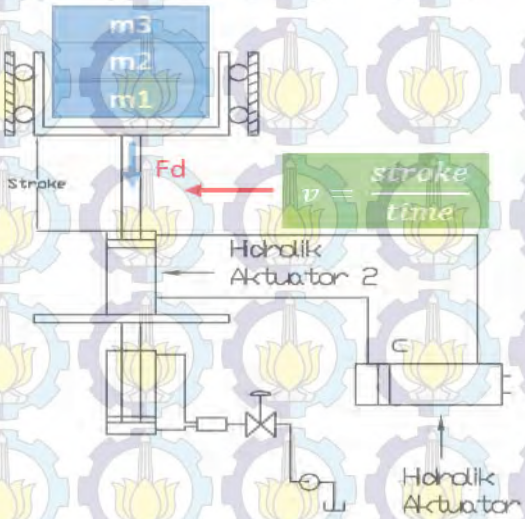
Jarak titik atas ke titik mati bawah diukur dan dicatat waktu tempuhnya kemudian dikonversi sehingga didapatkan kecepatan, pengujian ini dilakuakn pada berbagai variasi dari massa uji dan pembebanan.

Skema pengujian Nilai redaman *Hidraulik Elektro Mekanik Shock Absorber* ditunjukkan pada Gambar 3.4 dibawah ini.



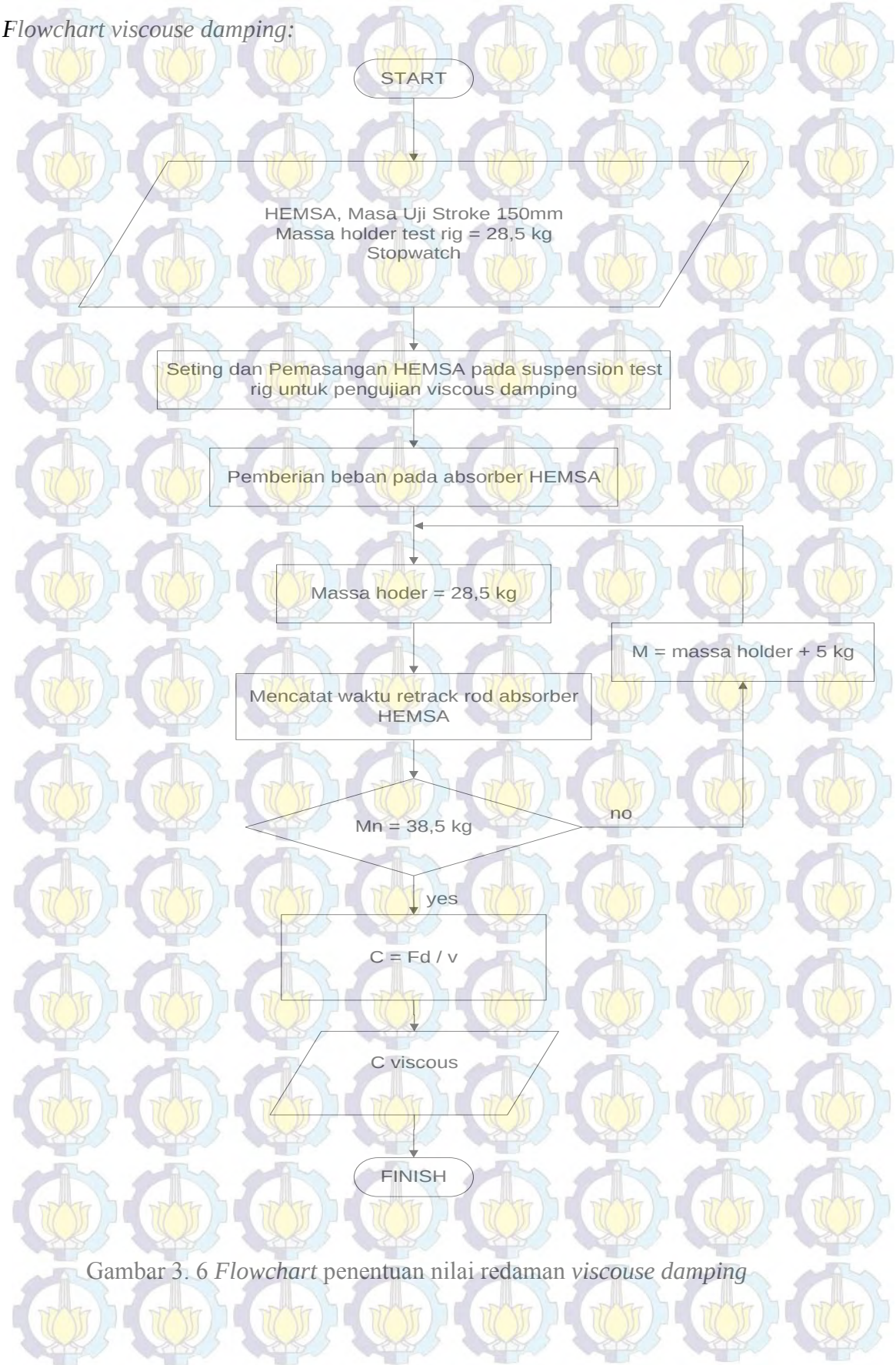
Gambar 3.4 Skema Pengujian Nilai koefisien Redaman Menggunakan Alat Uji

1. *Flowchart*& Skematik penentuan nilai redaman *viscouse damping* adalah sebagai berikut:



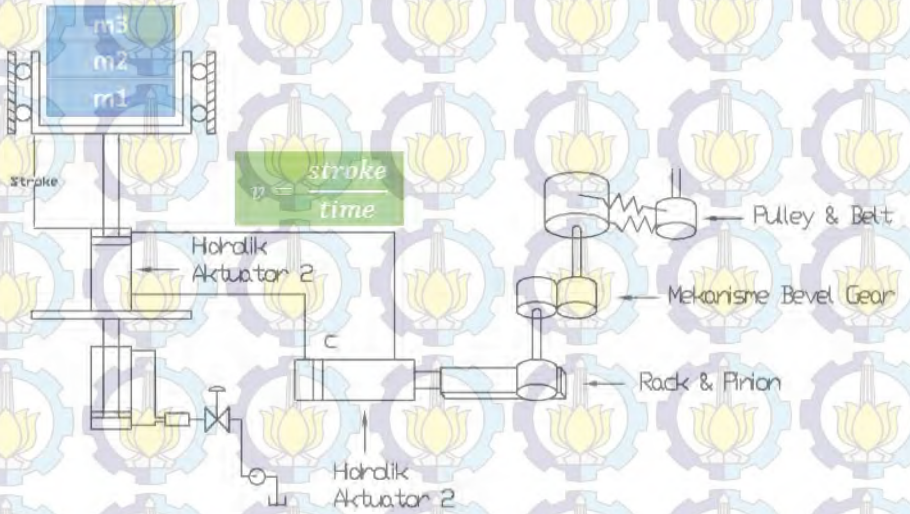
Gambar 3. 5Skematik Penentuan Nilai Redaman *Viscouse Damping*

Flowchart viscouse damping:



Gambar 3. 6 *Flowchart* penentuan nilai redaman *viscouse damping*

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

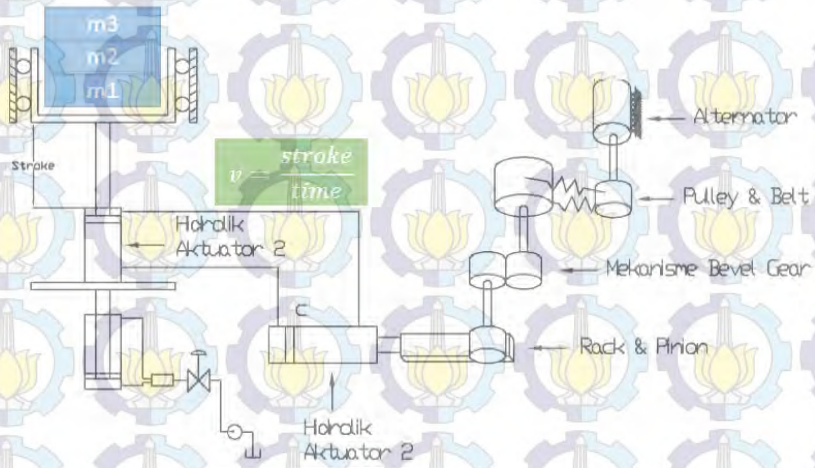


Gambar 3. 7*Skematik* penentuan nilai redaman *friction damping*

Flowchartnya *friction damping* :

Gambar 3. 8*Flowchart* penentuan nilai redaman *viscouse damping +friction damping*

3. *Flowchart*& skematik penentuan nilai redaman *viscouse damping* +*mechanical damping* + *electrical damping* tanpa beban



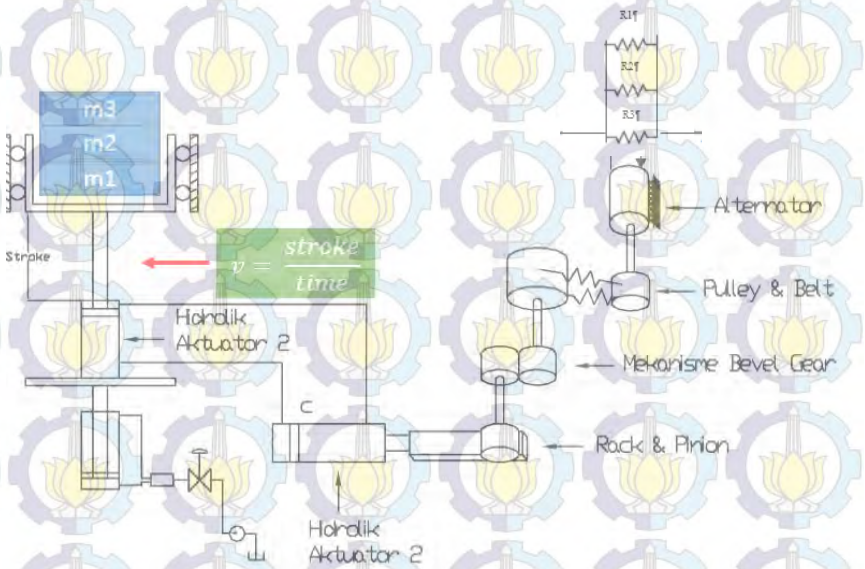
Gambar 3. 9Skematik penentuan nilai redaman electrical damping tanpa beban

Perhitungan nilai gaya redaman pada *electrical damping* tanpa pembebanan adalah dengan menghubungkan Hydraulic Aktuator 1, Hydraulic Aktuator 2, rack & pinion, mekanisme *bevel gear*,*pulley & belt* dengan memfariasikan beberapa beban agar didapat nilai grafik $C_{viscouse+friction+ED\ tanpa\ beban} = f(m1,m2,m3)$, sehingga $C_{ed\ tanpa\ beban} = C_{viscouse+friction+ed\ tanpa\ beban} - C_{viscouse} - C_{friction}$

Flowchart Electrical Damping tanpa Beban :

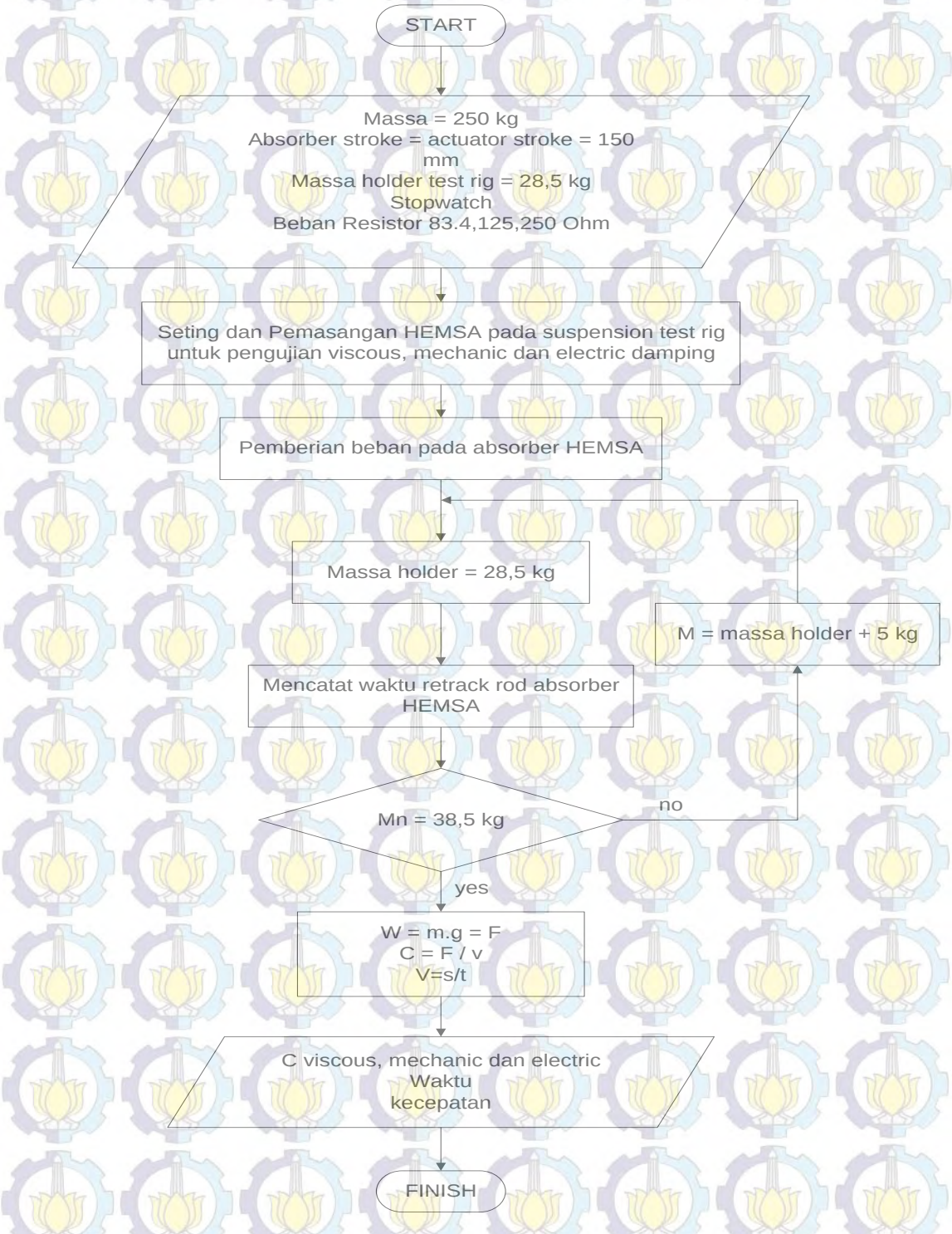
Gambar 3. 10Flowchart penentuan niai redaman viscouse damping +mechanical damping + electrical damping tanpa beban

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



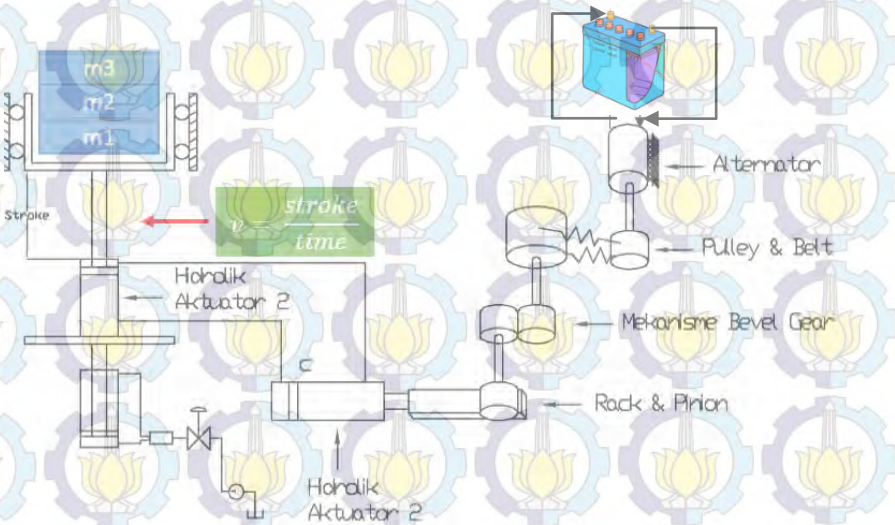
Gambar 3. 11Skematik penentuan nilai redaman viscouse damping +mechanical damping + electrical damping dengan beban Resistor

Flochart Electrical Damping dengan Beban resistor :



Gambar 3. 12*Flowchart* penentuan nilai redaman viscouse damping +mechanical damping + electrical damping dengan beban Resistor

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



Gambar 3. 13Skematik penentuan nilai redaman viscouse damping +mechanical damping + electrical damping dengan beban Akumulator

Flochart Electrical Damping dengan Beban akumulator:

Gambar 3. 14*Flowchart* penentuan nilai redaman viscouse damping +mechanical damping + electrical damping dengan beban aki

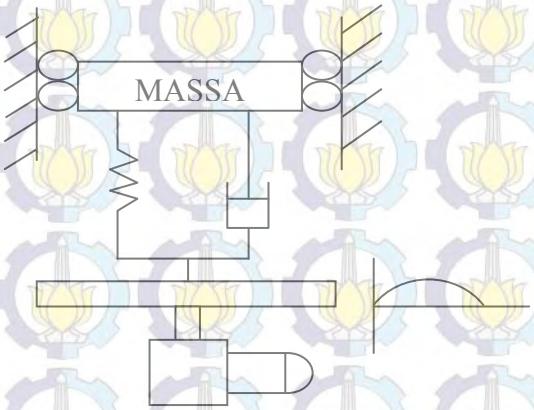
3.1.5 Pengujian HEMSA dengan beban impulsif dan periodik

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

Uji mekanisme Regenerative *Shock Absorber* dilakukan dengan 2 metode dengan pembebanan lampu dan aki sebagai resistor, yaitu sebagai berikut :

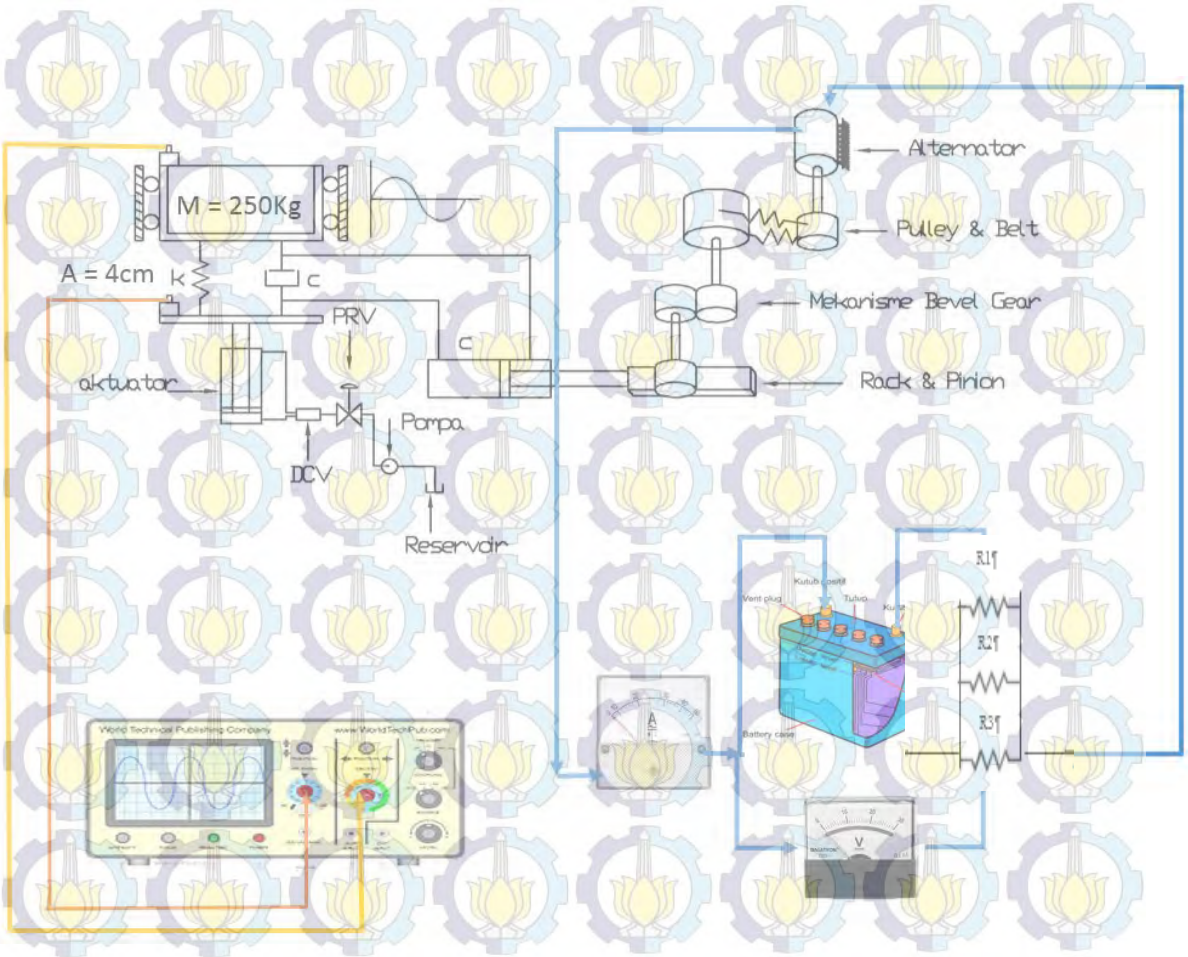
1. Eksitasi Impuls

Eksitasi impuls merupakan suatu gambaran profil jalan berupa bump. Pada pengujian ini, *system* diberikan eksitasi impuls berupa variasi pembebanan resistor dan akumulator



Gambar 3. 15 Eksitasi impuls

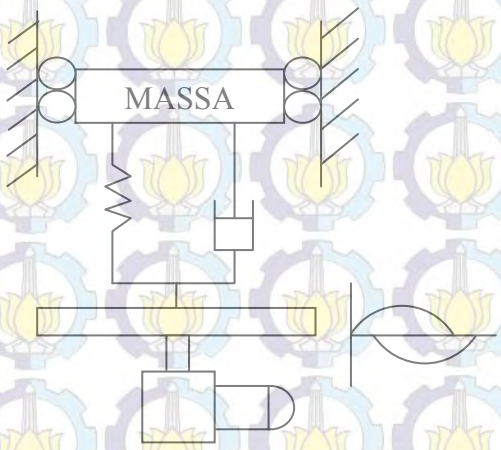
Pada pengujian eksitasi impuls, alat HEMSA dipasang pada *quarter car suspension test rig*. Pemasangannya sesuai dengan skematik diatas. alat ukur seperti accelerometer, diletakkan pada sprung mass dan unsprung mass yang dihubungkan ke *oscilloscope* yang digunakan untuk mengukur respon massa uji akibat eksitasi impuls. Selain itu dilakukan variasi pembebanan listrik yaitu dengan menambahkan masing-masing variasi pembebanan resistor 83, 125, dan 250 ohm dan akumulator terisi 0%, 55% dan 250% yang masing-masing dilihat baik respon massa ujinya dan energi bangkitannya terhadap eksitasi impuls



Gambar 3. 16 Skematik Eksitasi Impuls

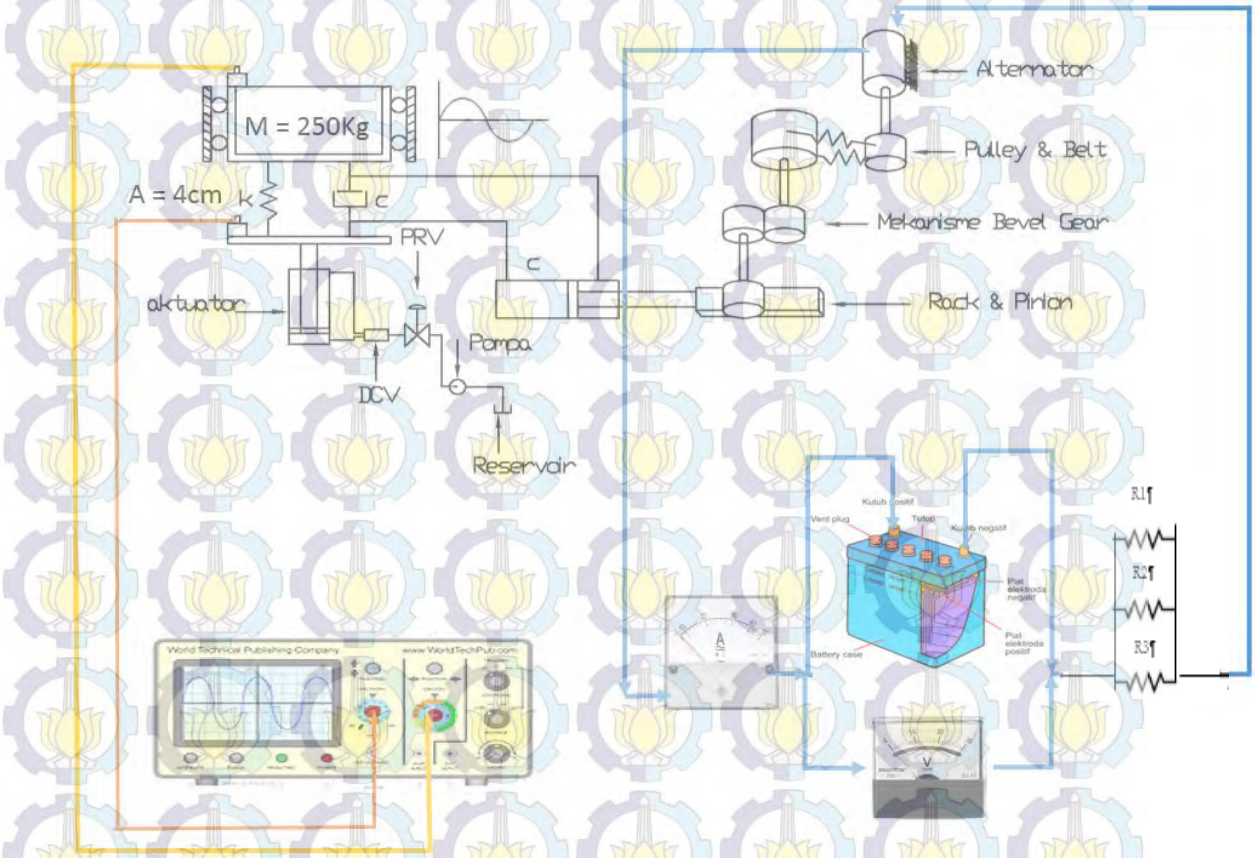
2. Eksitasi periodik

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



Gambar 3. 17 Eksitasi periodik

Pada pengujian eksitasi periodik, alat HEMSA dipasang pada *quarter car suspension test rig*. Pemasangannya sesuai dengan skematik diatas. alat ukur seperti accelerometer, diletakkan pada sprung mass dan unsprung mass yang dihubungkan ke *oscilloscope* yang digunakan untuk mengukur respon massa uji akibat eksitasi impuls. Selain itu dilakukan variasi pembebanan listrik yaitu dengan menambahkan masing-masing variasi pembebanan resistor 83, 125, dan 250 ohm dan akumulator terisi 0%, 55% dan 250% yang masing-masing dilihat baik respon massa ujinya dan energi bangkitannya terhadap eksitasi periodik



Gambar 3. 18Skematik Eksitasi periodik

3.1.5.1 Pengujian HEMSA dengan beban impulsif dan periodik akibat pembebanan resistor

a. Pengujian dengan Eksitasi impuls

Perlakuan uji yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Input pada pengujian tersebut berupa eksitasi impuls.
b. Massa uji yang digunakan didapat pada massa uji ¼ kendaraan (m) = 250Kg.
c. Amplitudo yang diuji adalah A = 2cm
d. Memvariasikan beban pengujian R = 83 ohm, 125 ohm, dan 250 ohm
e. Menganalisa respon massa uji (*sprung mass*) dan massa landasan (*unsprung mass*) pada akibat dari eksitasi yang diberikan.

Berikut flowchart percobaan eksitasi impuls ;

Gambar 3. 19*Flowchart* pengambilan data pada HEMSA untuk eksitasi impuls pada pembebanan resistor

2. **Pengujian dengan Eksitasi periodik**

Perlakuan uji yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Input pada pengujian tersebut berupa eksitasi periodik.
b. Massa uji yang digunakan didapat didapat pada massa uji ¼ kendaraan (m) = 250Kg.
c. Terdapat amplitudo pada pengujian yaitu A = 2 cm. Pada amplitudo tersebut terdapat frekuensi yang berbeda-beda yaitu f = 1,4Hz, f = $1{,}7Hz$, dan f = 2,2Hz
d. Memvariasikan beban pengujian R = 83 ohm, 125 ohm, dan 250 ohm
e. Mencatat arus induksi dan voltase bangkitan yang dihasilkan pada HEMSA.
f. Membuat grafik dan membandingkan pada tiap variasi frekuensi terhadap daya bangkitan dari tiap-tiap suspensi tersebut.
g. Menganalisa respon massa uji (*sprung mass*) dan massa landasan (*unsprung mass*) pada akibat dari eksitasi yang diberikan.

Berikut adalah *flowchart*nya:

Gambar 3. 20 *Flowchart* pengambilan data pada HEMSA untuk eksitasi periodik pada pembebanan resistor

3.1.5.2 Pengujian HEMSA dengan beban impulsif dan harmonik akibat pembebanan akumulator (≥0 Ah,±2,5Ah,≤5Ah)

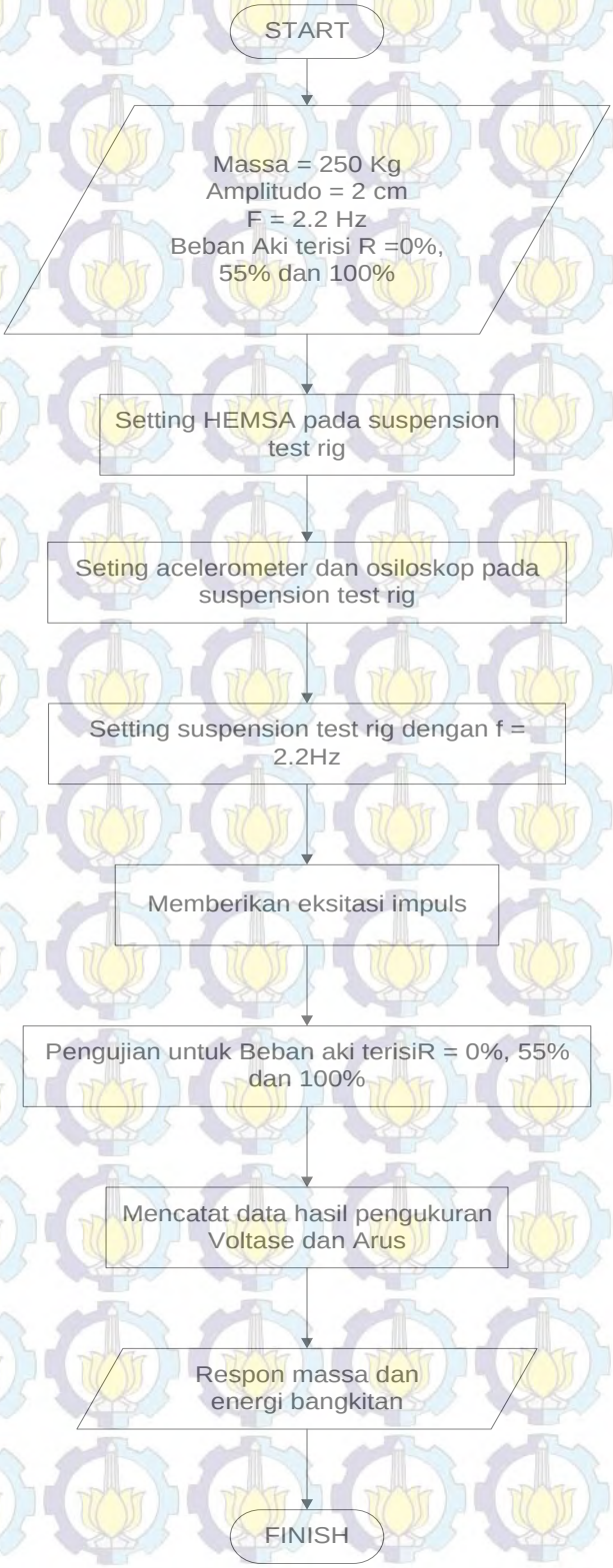
Eksitasi impuls.

1. Pengujian dengan Eksitasi impuls

Perlakuan uji yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Input pada pengujian tersebut berupa eksitasi impuls.
b. Massa uji yang digunakan adalah ¼ massa kendaraan (m) = 250 Kg
c. Amplitudo yang diuji adalah A = 2 cm
d. Memvariasikan beban pengujian Akumulator = 0%, 55%, dan 100% (≥0 Ah,±2,5Ah,≤5Ah)
e. Mencatat arus induksi dan voltage bangkitan yang dihasilkan pada HEMSA.
f. Menganalisa respon massa uji pada (*sprung mass*) dan massa landasan (*unsprung mass*) akibat dari eksitasi yang diberikan

Berikut flowchart percobaan pada eksitasi impuls :



Gambar 3.21 *Flowchart* pengujian dengan eksitasi impuls pembebanan aki

2. **Pengujian dengan Eksitasi periodik**

Perlakuan uji yang dilakukan adalah sebagai berikut:

a. Input pada pengujian tersebut berupa eksitasi periodik
b. Massa uji yang digunakan adalah ¼ massa kendaraan (m) = 250 Kg
c. Amplitudo yang diuji adalah A = 2 cm
d. Memvariasikan beban pengujian Akumulator = 0%, 55%, dan 100% (≥0 Ah,±2,5Ah,≤5Ah)
e. Mencatat arus induksi dan voltage bangkitan yang dihasilkan pada HEMSA.
f. Membuat grafik dan membandingkan pada tiap variasi amplitudo dan frekuensi terhadap daya bangkitan dari tiap-tiap suspensi tersebut.
g. Menganalisa respon massa uji pada (*sprung mass*) dan massa landasan (*unsprung mass*) akumulator akibat dari eksitasi yang diberikan.

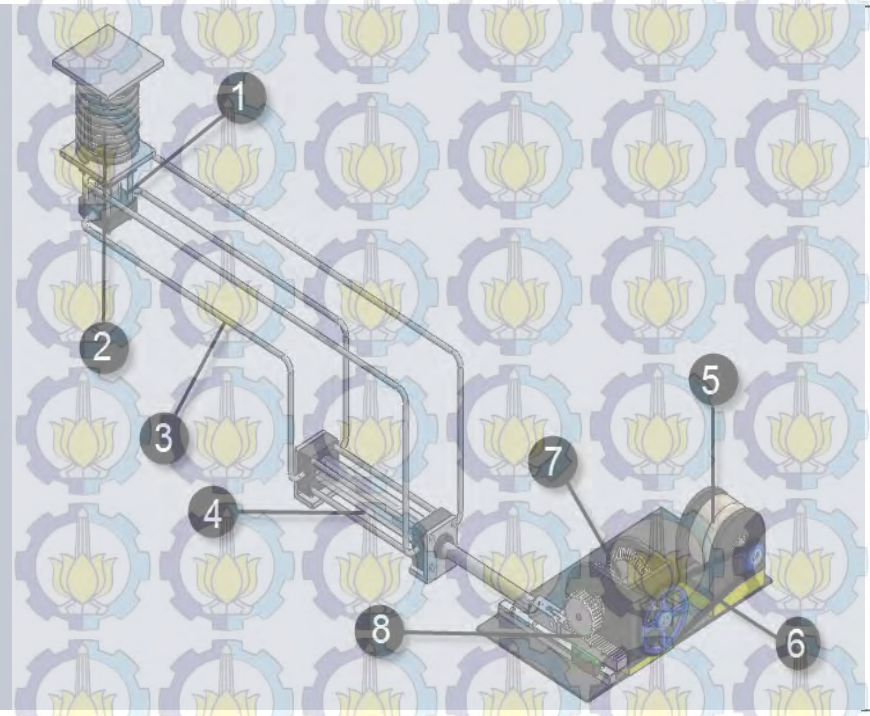
Berikut flowchart percobaan pada eksitasi harmonik

Gambar 3.22 *Flowchart* pengujian dengan eksitasi harmonik pembebanan aki

3.2 Peralatan yang digunakan

3.2.1 *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA)

HEMSA merupakan suatu alat ini memanfaatkan gerak translasi pada sistem suspensi berupa *cylinder hydraulic*, yang akan mendistribusikan alairan fluida ke *cylinder hydraulic* lainnya sebagai aktuator. Gerak translasi aktuator akan dikonversi menjadi gerak rotasi dengan menggunakan mekanisme *rack and pinion gear*, kemudian gerak rotasi diteruskan oleh *gearbox* yang di dalamnya terdapat *bevel gear* dan menggunakan *one-way bearing* untuk membuat putaran yang searah. Kemudian, putaran dari *gearbox* tersebut nantinya akan disambungkan dengan *pulley* dan *belt* menuju generator yang berfungsi untuk menghasilkan listrik.



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

Gambar 3.23 *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* (HEMSA)

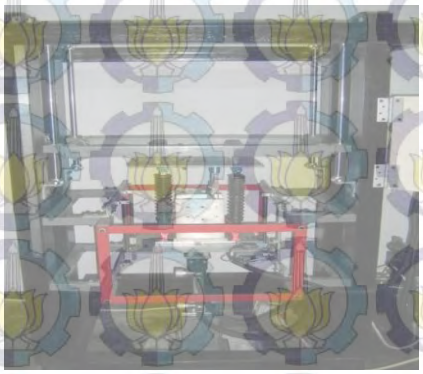
Spesifikasi dari alat HEMSA adalah sebagai berikut:

Tabel 3. 1 Spesifikasi HEMSA

Komponen	Spesifikasi (Unit
Diameter *Cylinder Hydraulic* Aktuator 1	30mm
Diameter rod *Cylinder Hydraulic* Aktuator 1	18mm
Stroke Maximum *Cylinder Hydraulic* Aktuator 1	320mm
Diameter *Cylinder Hydraulic* Aktuator 2	40mm
Diameter rod *Cylinder Hydraulic* Aktuator 2	25mm
Stroke Maximum *Cylinder Hydraulic* Aktuator 2	200mm
Perbandingan Rack : Pinion	2,5:1
Perbandingan Bevel gear	2,5:1
Perbandingan Pulley	5:1
Konfigurasi Port	2 Compression, 2 Rebound
Fluida Kerja	SAE 10W

3.2.2 Suspension test rig

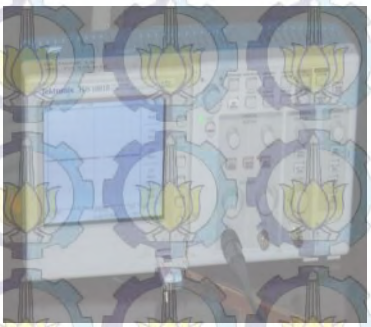
Suspension test rig digunakan untuk melakukan studi eksperimental karakteristik HEMSA, damping, dan spring. Model pengujian dari alat ini adalah *quarter model*, dimana pada suspensi yang diuji merepresentasikan ¼ massa kendaraan.



Gambar 3.24 *Suspension test rig*

3.2.3 Oscilloscope

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



Gambar 3.25 Oscilloscope

3.2.4 Akumulator (Aki)

Accumulator atau yang sering disebut aki adalah sebuah elemen volta elektronika yang berfungsi untuk menyimpankan energi listrik. Namun pada penelitian ini, aki direpresentasikan sebagai beban hambatan, yang mana akan dihubungkan pada output dari *oscilloscope*. Hal itu dilakukan untuk mendapatkan nilai voltase baru dari HEMSA, yang kemudian diolah untuk mendapatkan besar arus listrik (I) dalam satuan ampere. Arus listrik tersebut dibutuhkan untuk mendapatkan daya yang dihasilkan oleh HEMSA dalam Watt.

Gambar 3.26 Aki

3.2.5 Resistor (Lampu)

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

Rangkaian resistor terdiri dari 2, yaitu :

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

Gambar 3. 27 Skema Rangkaian Seri

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

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

Gambar 3. 28 Skema Rangkaian Paralel

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

3.2.6 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 3.29 Jangka Sorong

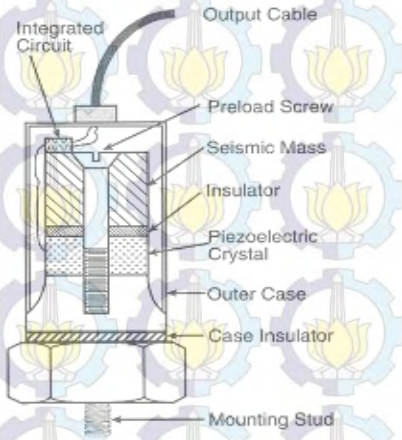
3.2.7 Stopwatch

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

Gambar 3.30 Stopwatch

3.2.8 Akselerometer

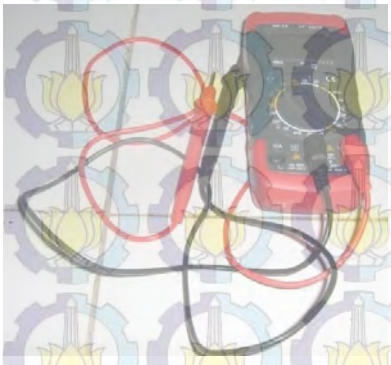
Akselerometer adalah sebuah tranduser yang berfungsi untuk mengukur percepatan, mendeteksi dan mengukur getaran, ataupun untuk mengukur percepatan akibat gravitasi bumi. Akselerometer juga dapat digunakan untuk mengukur getaran yang terjadi pada kendaraan, bangunan, mesin, dan juga bisa digunakan untuk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



Gambar 3.31 Akselerometer

3.2.9 Multimeter

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



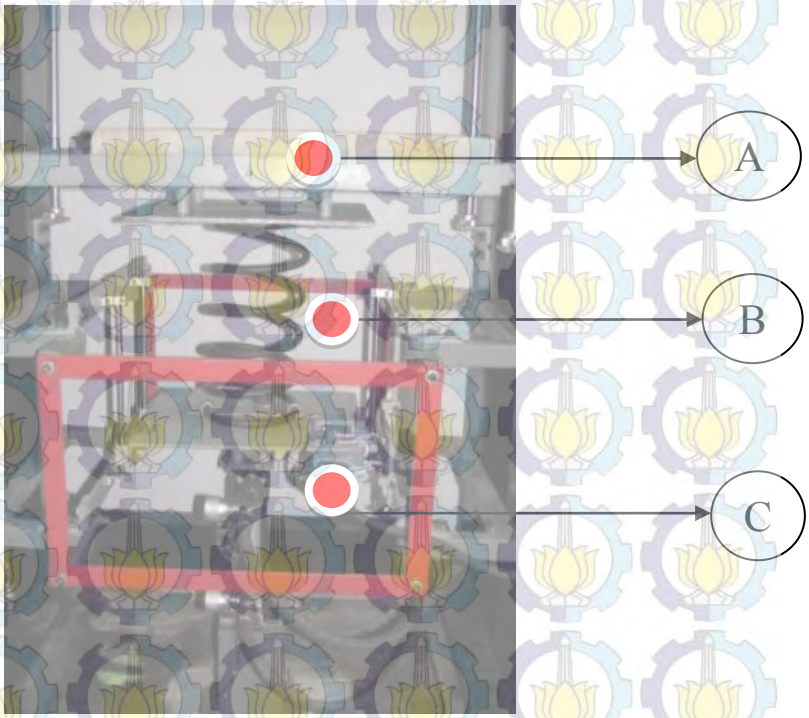
Gambar 3.32 Multimeter

BAB IV
HASIL PENGUJIAN

4.1 Perhitungan Konstanta Pegas

4.1.1 Prinsip kerja

Pada Proses pengambilan data kostanta pegas ini dilakukan di LAB Vibrasi dan Sistem Dinamis Teknik Mesin ITS. Adapun prinsip kerja dari pengambilan data tersebut adalah dengan memasangkan pegas pada alat uji *Suspension test rig* terlebih dahulu, kemudian diberikan gaya dalam bentuk beban diatasnya, setelah itu ukur perubahan panjangnya pada pegas tersebut.prinsip kerjanya dapa dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 4. 1(a). Beban Massa Variasi(b). Pegas (c). Suspension test rig

Proses pengambilan data tersebut dilakukan sebanyak 10 kali, dengan 10 kali beban ditambah seperti proses tertekan, dan 10 kali beban diambil, hal ini bertujuan untuk mengetahui dari histerisis nilai konstanta pegas saat pengujian dilakukan penekanan dan pengambilan satu per satu. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan 10 beban yang bervariasi dan berikut adalah data hasil pengujian konstanta pegas :

4.1.2 Perhitungan Konstanta Pegas

Pengambilan konstanta pegas dapat dilakukan dengan menggunakan perhitungan Hukum Hook.

F = k. ΔX atau **ΔW = k. ΔX**

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

F = ΔW ⟶ $W_2 - W_1 = (28.45 \times 9.81)N - 0 = 279.09N$

ΔX ⟶ $X_2 - X_1 = [(0.33\text{-}031)/1000]\ m - 0 = 0.02\ m$

Jadi,

$$k = \frac{\Delta W}{\Delta X} = \frac{279.09}{0.02} = 13955 \frac{N}{m}$$

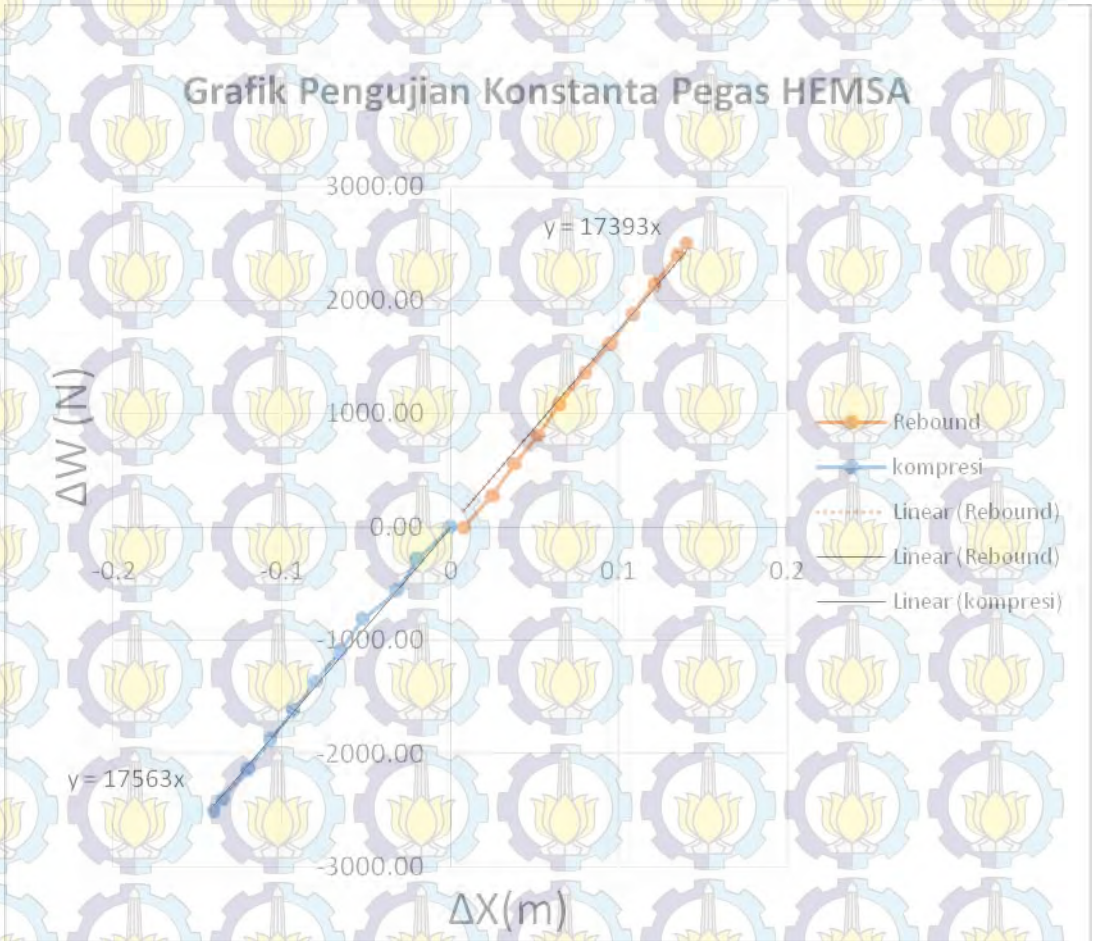
Dengan dilakukannya 22 kali percobaan kompresi dan rebound maka didapatkan nilai k (konstanta pegas) pada masing-masing data tersebut.

Tabel 4. 1Data hasil pengujian konstanta pegas

No.	Massa(kg)	W(N)	ΔW(N)	X(m)	ΔX(m)	K(N/m)
1	0.00	0.00	0.00	0.33	0	0
2	28.45	-279.09	-279.09	0.31	-0.02	13955
3	57.20	-561.13	-282.04	0.298	-0.032	17535
4	82.80	-812.27	-251.14	0.278	-0.052	15621
5	111.00	-1088.91	-276.64	0.265	-0.065	16752
6	139.20	-1365.55	-276.64	0.25	-0.08	17069
7	165.05	-1619.14	-253.59	0.237	-0.093	17410
8	191.70	-1880.58	-261.44	0.223	-0.107	17575
9	217.90	-2137.60	-257.02	0.21	-0.12	17813
10	245.20	-2405.41	-267.81	0.195	-0.135	17818
11	255.20	-2503.51	-98.10	0.19	-0.14	17882
12	255.20	2503.51	98.10	0.19	0.14	17882
13	245.20	2405.41	267.81	0.195	0.135	17818
14	217.90	2137.60	257.02	0.209	0.121	17666
15	191.70	1880.58	261.44	0.222	0.108	17413
16	165.05	1619.14	253.59	0.235	0.095	17044
17	139.20	1365.55	276.64	0.25	0.08	17069
18	111.00	1088.91	276.64	0.265	0.065	16752
19	82.80	812.27	251.14	0.278	0.052	15621
20	57.20	561.13	282.04	0.292	0.038	14767
21	28.45	279.09	279.09	0.305	0.025	11164

22	0.00	0.00	0.00	0.322	0.008	0
					Rata-rata	16631

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



Gambar 4. 2Grafik Pengujian Konstanta Pegas HEMSA

Dari grafik 4.2 pengujian konstanta pegas HEMSA diatas, dapat kita lihat bahwa dengan beban sebesar 279.09 N didapatkan perubahan panjang sebesar 0.02 m, sedangkan pada beban sebesar 2503.51N didapatkan perubahan panjang sebesar 0.14 m

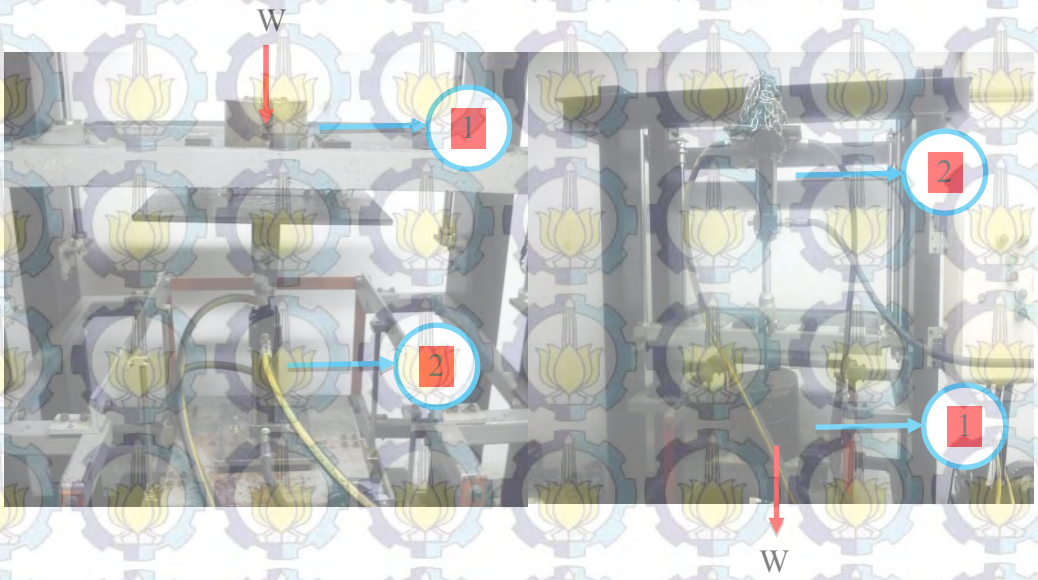
Dari grafik dan tabel tersebut dapat kita simpulkan bahwa semakin tinggi beban yang digunakan maka semakin tinggi pula perubahan panjang yang dihasilkan pada pegas tersebut. Hal ini dapat dibuktikan dengan melihat grafik pada gambar 4.2 di atas bahwa garis hampir terlihat lurus atau mendekati linier.

Sehingga pemilihan nilai konstanta pegas HEMSA pada pengujian mekanisme suspensi yang dilakukan di laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi dipilih berdasarkan dimensi pegas yang tersedia dan dapat dipasang dengan Absorber hasil rancangan (HEMSA). Sehingga dapat diuji pada suspension test rig (simulasi 1/4 kendaraan). Jadi dari pengujian nilai konstanta pegas, yang merupakan nilai rata-rata konstanta pegas saat kompresi dan rebound, didapat nilai K sebesar 17478 N/m

4.2 Penentuan Konstanta Redaman

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

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



(a) (b)

Keterangan gambar:

1. Beban (massa)
2. Mekanisme HEMSA

Gambar 4.3(a) pengujian kompresi, (b) pengujian rebound

4.2.1 Penentuan Konstanta Redaman HEMSA tanpa pembebanan

4.2.1.1 Konstanta Redaman *Hydraulic* (*viscous damping*)

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

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

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

Tabel 4. 2Konstanta Redaman Viscouse Damping (Compression)

UJI KONSTANTA REDAMAN VISCOUS								
Massa (kg)	Massa + holder (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
0	28.45	279.095	0.51	0.32	0.62745		444.8068594	
0	28.45	279.095	0.54	0.32	0.59259	0.59382	470.9719688	470.97
0	28.45	279.095	0.57	0.32	0.56140		497.1370781	
5	33.45	328.145	0.48	0.32	0.66667		492.21675	
5	33.45	328.145	0.50	0.32	0.64000	0.66251	512.7257813	495.63
5	33.45	328.145	0.47	0.32	0.68085		481.9622344	
10	38.45	377.195	0.39	0.32	0.82051		459.7057969	
10	38.45	377.195	0.41	0.32	0.78049	0.80033	483.2804531	471.49
10	38.45	377.195	0.4	0.32	0.80000		471.493125	
Rata-Rata								479.37

Tabel 4. 3Konstanta Redaman Viscouse Damping (Rebound)

UJI KONSTANTA REDAMAN VISCOUS								
Massa (kg)	Massa + holder (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
25	25	-245.250	0.61	0.32	-0.52459		467.5078	
25	25	-245.250	0.63	0.32	-0.50794	-0.52195	482.8359	470.06
25	25	-245.250	0.6	0.32	-0.53333		459.8438	
30	30	-294.300	0.59	0.32	-0.54237		542.6156	
30	30	-294.300	0.54	0.32	-0.59259	-0.57585	496.6313	511.96
30	30	-294.300	0.54	0.32	-0.59259		496.6313	
35	35	-343.350	0.48	0.32	-0.66667		515.025	
35	35	-343.350	0.42	0.32	-0.76190	-0.69388	450.6469	497.14
35	35	-343.350	0.49	0.32	-0.65306		525.7547	
Rata-Rata								493.05

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

Diketahui: Stroke = 0.32 m

Beban = 377.195

Waktu yang didapat saat pengujian yang = 0.4 s

Maka dapat dihitung kecepatan (v) dengan rumus v = jarak / waktu

= 0.32 m / 0.4 s = 0.8 m/s

Maka nilai C = F / v

= 377.195 / 0.8 m/s

=471.493Ns/m

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

Gambar 4. 4Grafik gaya redaman fungsi kecepatan viscous damping

Pada gambar 4.4 bahwa pada nilai konstanta redaman saat kompresi adalah 478.3 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 493.5 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman *Hydraulic* adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu 485.9 Ns/m.

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

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

4.2.1.2 Konstanta Redaman Viscous+ Friction damping

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

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

UJI KONSTANTA REDAMAN VISCOUS + FRICTION								
Massa (kg)	Massa + holder (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
0	28.45	279.095	0.7	0.32	0.45714		610.5192188	
0	28.45	279.095	0.73	0.32	0.43836	0.44873	636.6843281	622.15
0	28.45	279.095	0.71	0.32	0.45070		619.2409219	
5	33.45	328.145	0.66	0.32	0.48485		676.7980313	
5	33.45	328.145	0.68	0.32	0.47059	0.48779	697.3070625	673.38
5	33.45	328.145	0.63	0.32	0.50794		646.0344844	
10	38.45	377.195	0.5	0.32	0.64000		589.3664063	
10	38.45	377.195	0.52	0.32	0.61538	0.63615	612.9410625	593.30
10	38.45	377.195	0.49	0.32	0.65306		577.5790781	
Rata-Rata								629.61

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

UJI KONSTANTA REDAMAN VISCOUS + FRICTION								
Massa (kg)	Massa + holder (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
25	25	-245.250	0.91	0.32	-0.35165	-0.35043	697.4297	699.98
25	25	-245.250	0.93	0.32	-0.34409		712.7578	
25	25	-245.250	0.9	0.32	-0.35556		689.7656	
30	30	-294.300	0.77	0.32	-0.41558	-0.41769	708.1594	705.09
30	30	-294.300	0.74	0.32	-0.43243		680.5688	
30	30	-294.300	0.79	0.32	-0.40506		726.5531	
35	35	-343.350	0.6	0.32	-0.53333	-0.55922	643.7813	615.17
35	35	-343.350	0.54	0.32	-0.59259		579.4031	
35	35	-343.350	0.58	0.32	-0.55172		622.3219	
Rata-Rata								673.42

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

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

Pada gambar 4.5 bahwa pada nilai konstanta redaman saat kompresi adalah 622.3 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 657.1 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman *Hydraulic* adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu 639.7 Ns/m.

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

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

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

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

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

UJI KONSTANTA REDAMAN VISCOUS+FRICTION+ELECTRIC DAMPING								
Massa (kg)	Massa + holder (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
0	28.45	279.095	0.8	0.32	0.40000		697.73625	
0	28.45	279.095	0.81	0.32	0.39506	0.39835	706.4579531	700.64
0	28.45	279.095	0.8	0.32	0.40000		697.73625	
5	33.45	328.145	0.72	0.32	0.44444		738.325125	
5	33.45	328.145	0.74	0.32	0.43243	0.43644	758.8341563	752.00
5	33.45	328.145	0.74	0.32	0.43243		758.8341563	
10	38.45	377.195	0.67	0.32	0.47761		789.7509844	
10	38.45	377.195	0.65	0.32	0.49231	0.48997	766.1763281	770.11
10	38.45	377.195	0.64	0.32	0.50000		754.389	
Rata-Rata								740.92

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

UJI KONSTANTA REDAMAN VISCOUS+FRICTION+ELECTRIC DAMPING								
Massa (kg)	Massa + holder (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
25	25	-245.250	0.91	0.32	-0.35165	-0.35425	697.4297	692.32
25	25	-245.250	0.9	0.32	-0.35556		689.7656	
25	25	-245.250	0.9	0.32	-0.35556		689.7656	
30	30	-294.300	0.89	0.32	-0.35955	-0.36097	818.5219	815.46
30	30	-294.300	0.9	0.32	-0.35556		827.7188	
30	30	-294.300	0.87	0.32	-0.36782		800.1281	
35	35	-343.350	0.81	0.32	-0.39506	-0.40524	869.1047	847.65
35	35	-343.350	0.79	0.32	-0.40506		847.6453	
35	35	-343.350	0.77	0.32	-0.41558		826.1859	
Rata-Rata								785.14

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

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

Pada gambar 4.6 bahwa pada saat kompresi nilai konstanta redaman adalah 745.3 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 791.0 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman *Hydraulic*, *Mechanic,* dan generator adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu 768.15 Ns/m.

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

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

4.2.1.4 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA

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

Tabel 4. 8 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA

Nilai Redaman Komponen HEMSA	Tanpa Pembebanan Listrik		
	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	493.5	478.3	485.9
Viscous+Friction damping	657.1	622.3	639.7
Friction damping	163.6	144	153.8
Electrical damping	133.9	123	128.45
Total damping coefficient no load	791	745.3	768.15

Dari table 4.8 di atas dapat kita lihat bahwa nilai pada $C_{rebound}$ HEMSA lebih besar daripada nilai pada $C_{compression}$ yaitu sebesar 791 Ns/m. Untuk *shock absorber* yang dikatakan baik adalah apabila nilai konstanta redaman pada *rebound* tersebut lebih besar daripada *compression*. Nilai redaman pada *rebound* berfungsi apabila *shock absorber* mendapatkan suatu eksitasi baik impuls ataupun periodik, *shock absorber* tersebut terkompresi sebesar 745.3 Ns/m, kemudian meredam kembali seperti semula lebih besar sekitar 791 Ns/m, sehingga penumpang hanya sedikit dapat merasakan guncangan dan nyaman dalam berkendara. Artinya, HEMSA dapat dikatakan baik untuk meredam kejut akibat eksitasi impuls maupun periodic

Gambar 4. 7Distribusi Konstanta Redaman HEMSA

Dari tabel 4.8 dan gambar 4.7 di atas, bahwa distribusi konstanta redaman komponen *hydraulic* (*viscous damping*) dari HEMSA sebesar 485.9 Ns/m. Pada komponen generator (*electric damping*) dari HEMSA sebesar 128.45 Ns/m. komponen *mechanic* (*friction damping*) sebesar 153.8 Ns/m. Hasil pengujian di atas menunjukkan bahwa kontribusi gaya redaman terbesar diberikan oleh komponen *(viscous damping)*.

4.2.2 Penentuan Konstanta Redaman HEMSA dengan Pembebanan

4.2.2.1 Penentuan Konstanta Redaman HEMSA dengan Pembebanan Resistor (Lampu)

Pada pengujian dengan pembebanan Listrik, terdapat 3 variasi pembebanan listik, yaitu : 3 buah lampu yang disusun secara paralel dimana masing-masing lampu telah diukur dan memiliki nilai hambatan (R) = 250 Ohm, sehingga nilai variasi pembebanannya adalah 83.4 Ohm, 125 Ohm, dan 250 Ohm.

4.2.2.1.1 Konstanta Redaman HEMSA pada saat Pembebanan 83.4 Ohm

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kontribusi nilai konstanta redaman HEMSA pada saat pembebanan 83.4 Ohm. Berikut adalah hasil pengujian gaya redaman *compression* dan *rebound*:

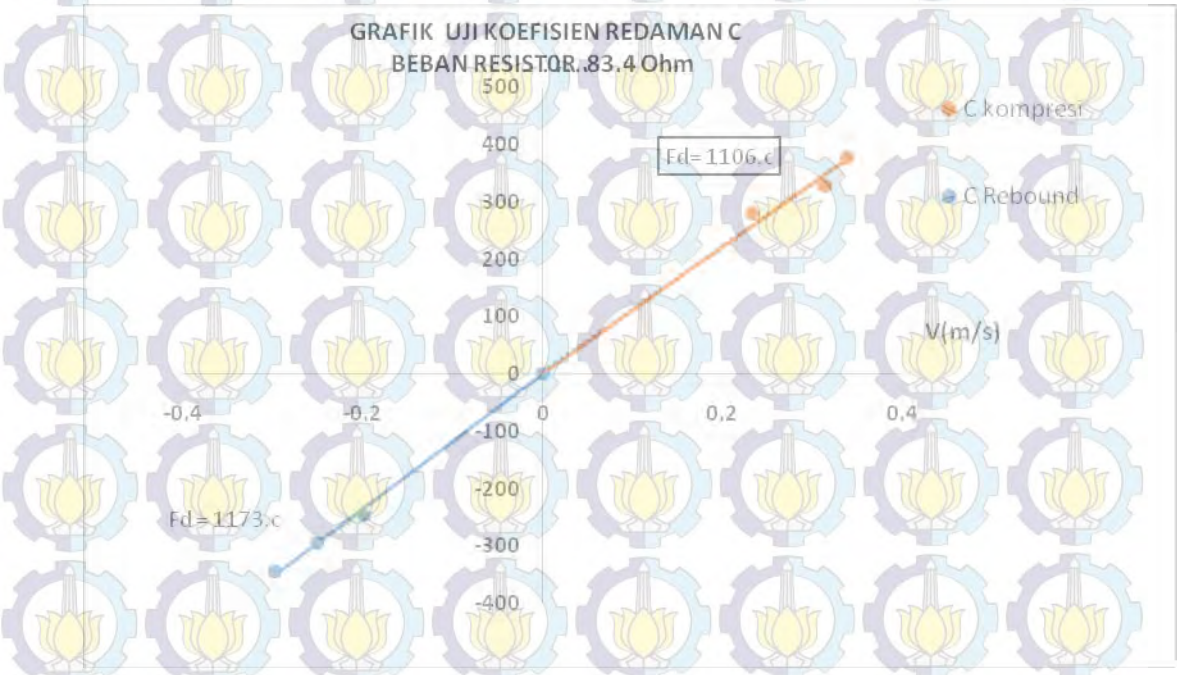
Tabel 4. 9Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 83.4 Ohm (Compression)

UJI KONSTANTA REDAMA TOTAL + BEBAN 83 OHM (HEMSA)								
Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
0	28.45	279.095	1.39	0.32	0.23022		1212.316734	
0	28.45	279.095	1.37	0.32	0.23358	0.23303	1194.873328	1197.78
0	28.45	279.095	1.36	0.32	0.23529		1186.151625	
5	33.45	328.145	1.02	0.32	0.31373		1045.960594	
5	33.45	328.145	1.04	0.32	0.30769	0.31381	1066.469625	1045.96
5	33.45	328.145	1.00	0.32	0.32000		1025.451563	
10	38.45	377.195	0.92	0.32	0.34783		1084.434188	
10	38.45	377.195	0.97	0.32	0.32990	0.33819	1143.370828	1115.87
10	38.45	377.195	0.95	0.32	0.33684		1119.796172	
Rata-Rata								1119.87

Tabel 4. 10 Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 83.4 Ohm (Rebound)

UJI KONSTANTA REDAMA TOTAL + BEBAN 83 OHM (HEMSA)								
Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
25	25	-245.250	1.6	0.32	-0.20000	-0.20001	1226.25	1226.25
25	25	-245.250	1.61	0.32	-0.19876		1233.914	
25	25	-245.250	1.59	0.32	-0.20126		1218.586	
30	30	-294.300	1.29	0.32	-0.24806	-0.25133	1186.397	1171.07
30	30	-294.300	1.27	0.32	-0.25197		1168.003	
30	30	-294.300	1.26	0.32	-0.25397		1158.806	
35	35	-343.350	1.09	0.32	-0.29358	-0.29818	1169.536	1151.65
35	35	-343.350	1.07	0.32	-0.29907		1148.077	
35	35	-343.350	1.06	0.32	-0.30189		1137.347	
Rata-Rata								1182.99

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.9 dan 4.10 dituangkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan, untuk mengetahui distribusi linier dari konstanta redaman HEMSA pada saat pembebanan 83.4 Ohm.



Gambar 4. 8Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat pembebanan 83.4 Ohm

Pada gambar 4.8 bahwa pada saat kompresi nilai konstanta redaman adalah 1106 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 1173 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman *Hydraulic*, *Mechanic*, dan generator adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu 1139.5 Ns/m.

4.2.2.1.2 Konstanta Redaman HEMSA dengan pada saat pembebanan 125 Ohm

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

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

UJI KONSTANTA REDAMA TOTAL + BEBAN 125 OHM (HEMSA)								
Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	28.45	279.095	1.26	0.32	0.25397	0.25603	1098.934594	1090.21
0	28.45	279.095	1.23	0.32	0.26016		1072.769484	
0	28.45	279.095	1.26	0.32	0.25397		1098.934594	
5	33.45	328.145	0.99	0.32	0.32323	0.32887	1015.197047	998.11
5	33.45	328.145	0.95	0.32	0.33684		974.1789844	
5	33.45	328.145	0.98	0.32	0.32653		1004.942531	
10	38.45	377.195	0.87	0.32	0.36782	0.37362	1025.497547	1009.78
10	38.45	377.195	0.86	0.32	0.37209		1013.710219	
10	38.45	377.195	0.84	0.32	0.38095		990.1355625	
Rata-Rata								1032.70

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

UJI KONSTANTA REDAMA TOTAL + BEBAN 125 OHM (HEMSA)								
Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	25	-245.250	1.56	0.32	-0.20513	-0.20966	1195.594	1170.05
25	25	-245.250	1.5	0.32	-0.21333		1149.609	
25	25	-245.250	1.52	0.32	-0.21053		1164.938	
30	30	-294.300	1.21	0.32	-0.26446	-0.26670	1112.822	1103.63
30	30	-294.300	1.21	0.32	-0.26446		1112.822	
30	30	-294.300	1.18	0.32	-0.27119		1085.231	
35	35	-343.350	1.01	0.32	-0.31683	-0.31801	1083.698	1080.12
35	35	-343.350	1.03	0.32	-0.31068		1105.158	
35	35	-343.350	0.98	0.32	-0.32653		1051.509	
Rata-Rata								1117.93

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

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

Pada gambar 4.9 bahwa pada saat kompresi nilai konstanta redaman adalah 1022 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 1105 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu 1063.5 Ns/m.

4.2.2.1.3 Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 250 Ohm

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

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

UJI KONSTANTA REDAMA TOTAL + BEBAN 250 OHM (HEMSA)								
Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
0	28.45	279.095	1.01	0.32	0.31683		880.8920156	
0	28.45	279.095	1.02	0.32	0.31373	0.31903	889.6137188	875.08
0	28.45	279.095	0.98	0.32	0.32653		854.7269063	
5	33.45	328.145	0.96	0.32	0.33333		984.4335	
5	33.45	328.145	0.95	0.32	0.33684	0.33933	974.1789844	967.34
5	33.45	328.145	0.92	0.32	0.34783		943.4154375	
10	38.45	377.195	0.82	0.32	0.39024		966.5609063	
10	38.45	377.195	0.85	0.32	0.37647	0.38890	1001.922891	970.49
10	38.45	377.195	0.80	0.32	0.40000		942.98625	
Rata-Rata								937.64

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

UJI KONSTANTA REDAMA TOTAL + BEBAN 250 OHM (HEMSA)								
Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
25	25	-245.250	1.31	0.32	-0.24427		1003.992	
25	25	-245.250	1.33	0.32	-0.24060	-0.24243	1019.32	1011.66
25	25	-245.250	1.32	0.32	-0.24242		1011.656	
30	30	-294.300	1.00	0.32	-0.32000		919.6875	
30	30	-294.300	1.04	0.32	-0.30769	-0.31484	956.475	935.02
30	30	-294.300	1.01	0.32	-0.31683		928.8844	
35	35	-343.350	0.95	0.32	-0.33684		1019.32	
35	35	-343.350	0.9	0.32	-0.35556	-0.34674	965.6719	990.71
35	35	-343.350	0.92	0.32	-0.34783		987.1313	
Rata-Rata								979.13

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

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

Pada gambar 4.10 bahwa pada saat kompresi nilai konstanta redaman adalah 942.7 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 974.9 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman HEMSA pada saat pembebanan 250 Ohm adalah rata-rata dari kompresi dan *rebound* yaitu 958.8Ns/m.

4.2.2.1.4 Perbandingan Konstanta Redaman HEMSA pada saat pembebanan 83.4, 125, dan 250 Ohm

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perbandingan distribusi linier dari konstanta redaman HEMSA pada saat pembebanan 83.4, 125, dan 250 Ohm. Berikut adalah hasil pengujian perbandingannya:

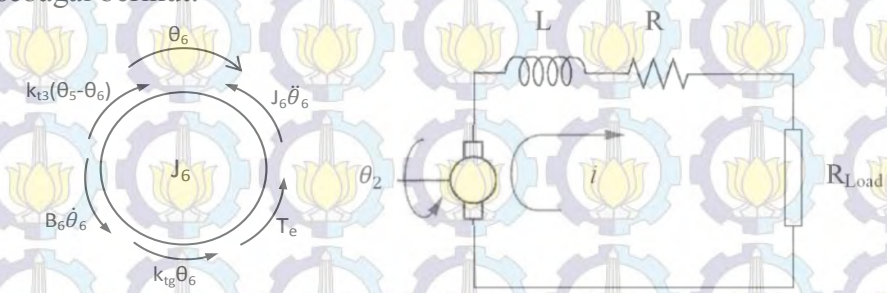
Gambar 4. 11Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada variasi pembebanan

Dari grafik gaya redaman (Fd) fungsi kecepatan (v) HEMSA pada variasi pembebanan (R) = No Load, 83.4, 125, dan 250 Ohm dapat kita lihat untuk kompresi dan rebound, gradien garisnya untuk No Load, 250, 125, dan 83.4 Ohm baik *compression* dan *rebound* semakin besar. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai pembebanan maka semakin kecil gaya redaman (Fd) dari HEMSA.

Tabel 4. 15 Perbandingan Gaya Redaman Untuk Masing-Masing Pembebanan Rresistor (Lampu)

Nilai Redaman Total	Koefisien Redaman (N.s/m)		
	Beban 83 ohm	**Beban 125 ohm**	**Beban 250 ohm**
Compression	1106.0	1002.0	942.7
Rebound	1173.0	1105.0	974.9

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



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

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

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

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

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

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

Te = F. r

Fd = C.v

Jadi: Te = C v r

Dimana Torsi Elektrik (Te) adalah torsi yang arahnya berlawanan denga arah putaran generator sehingga akibat adanya torsi elektrik ini menimbulkan beban atau gradien dari gaya redaman (Fd) semakin besar.

Dapat kita simpulkan berdasarkan grafik aktual dan teori kelistrikan pada generator dimana karena pengaruh dari variasi pembebanan untuk masing-masing nilai resistansi beban(R_{load}) yaitu R_{load} = 83.4, 125, dan 250 Ohm berdasarkan rumusan dari Torsi elektrik (Te) diatas bila nilai R besar maka Te kecil, dan jika nilai R kecil, maka Te besar. Hal ini dapat disimpulkan bahwa semakin kecil nilai resistansi (R) maka semakin besar nilai torsi elektriknya, sehingga beban generator juga semakin besar. Oleh sebab itu nilai konstanta redaman (C) juga semakin besar seiring dengan naiknya torsi elektrik

4.2.2.1.5 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA

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

Tabel 4. 16 Nilai istribusi Konstanta Redaman HEMSA pada saat beban 83.4 Ohm

Nilai Redaman Komponen HEMSA	Beban 83 ohm		
	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	493.5	478.3	485.9
Viscous+Friction damping	657.1	622.3	639.7
Friction damping	163.6	144	153.8
Electrical damping	515.9	483.7	499.8
Total damping coefficient 83 ohm	1173.0	1106.0	1139.5

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

Nilai Redaman Komponen HEMSA	Beban 125 ohm		
	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	493.5	478.3	485.9
Viscous+Friction damping	657.1	622.3	639.7
Friction damping	163.6	144	153.8
Electrical damping	447.9	379.7	413.8
Total damping coefficient 125 ohm	1105.0	1002.0	1053.5

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

Nilai Redaman Komponen HEMSA	Beban 250 ohm		
	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	493.5	478.3	485.9
Viscous+Friction damping	657.1	622.3	639.7
Friction damping	163.6	144	153.8
Electrical damping	317.8	320.4	319.1
Total damping coefficient 250 ohm	974.9	942.7	958.8

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

Gambar 4. 13Distribusi Konstanta Redaman HEMSA pada variasi pembebanan

Dari bar chart HEMSA pada variasi pembebanan (R) = 83.4, 125, dan 250 Ohm dapat kita lihat untuk *viscouse damping* yaitu 485.9Ns/m dan *friction damping* yaitu 53.8Ns/m, tetapi untuk nialai *electrical damping* berbeda-beda, dapat kita lihat untuk R 83 Ohm = 499.8 Ns/m, R 125 Ohm = 413.8 Ns/m, R 250 Ohm 319.1 Ns/m, hal ini berarti semakin bertambahnya beban, maka nilai distribusi konstanta redamannya (C) semakin kecil.

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

Nilai Redaman	Koefisien Redaman (N.s/m)		
	Beban 83 ohm	**Beban 125 ohm**	**Beban 250 ohm**
Viscous damping	466.65	466.65	466.65
Friction damping	162.05	162.05	162.05
Electrical damping	499.8	413.8	319.1
Total damping	1139.5	1053.5	958.8

4.2.2.2 Penentuan Konstanta Redaman HEMSA dengan Pembebanan Acumulator (aki)

Pada pengujian dengan pembebanan akumulator, terdapat 3 variasi pembebanan akumulator berdasarkan kondisi akumulator, yaitu kondisi terisi 0%, 55%, 100% (≥0Ah, ±2,5Ah, ≤5Ah).

4.2.2.2.1 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator 0% *charged* (≥0Ah)

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kontribusi nilai konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 0%. Berikut berturut-turut tabel hasil pengujian gaya redaman *compression* dan *rebound:*

Tabel 4.20 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator 0% charged (Compression)

UJI KONSTANTA REDAMA TOTAL + Aki 0% Charged (HEMSA)								
Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	0
0	28.45	279.095	0.98	0.32	0.32653		854.73	
0	28.45	279.095	0.99	0.32	0.32323	0.33006	863.45	846.01
0	28.45	279.095	0.94	0.32	0.34043		819.84	
5	33.45	328.145	0.81	0.32	0.39506		830.62	
5	33.45	328.145	0.872	0.32	0.36697	0.38734	894.19	848.39
5	33.45	328.145	0.8	0.32	0.40000		820.36	
10	38.45	377.195	0.73	0.32	0.43836		860.47	
10	38.45	377.195	0.76	0.32	0.42105	0.42869	895.84	880.12
10	38.45	377.195	0.75	0.32	0.42667		884.05	
Rata-Rata								858.17

Tabel 4.21 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator 0% charged (Rebound)

UJI KONSTANTA REDAMA TOTAL + Aki 0% Charged (HEMSA)							
Massa (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
0	0	0	0	0	0	0	0
25	-245.250	1.29	0.32	-0.24806		988.6641	
25	-245.250	1.25	0.32	-0.25600	-0.25268	958.0078	970.78
25	-245.250	1.26	0.32	-0.25397		965.6719	
30	-294.300	1.06	0.32	-0.30189		974.8688	
30	-294.300	1.00	0.32	-0.32000	-0.31187	919.6875	944.21
30	-294.300	1.02	0.32	-0.31373		938.0813	
35	-343.350	0.8	0.32	-0.40000		858.375	
35	-343.350	0.79	0.32	-0.40506	-0.40338	847.6453	851.22
35	-343.350	0.79	0.32	-0.40506		847.6453	
							922.07

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.20 dan 4.21 dituangkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan, untuk mengetahui distribusi linier dari konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator 0%*charged*. Berikut adalah grafiknya:

Gambar 4. 14Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 0%

Pada gambar 4.14 bahwa pada saat *compression* nilai konstanta redaman adalah 860.3 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 902.5 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 0% adalah rata-rata dari *compression* dan *rebound* yaitu 881.4Ns/m.

4.2.2.2.2 Konstanta Redaman HEMSA dengan pada saat akumulator 55% *charged* (±2,5Ah)

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kontribusi nilai konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator *55% charged*. Berikut berturut-turut tabel hasil pengujian gaya redaman *compression* dan *rebound*:

Tabel 4.22 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator 55% charged (Compression)

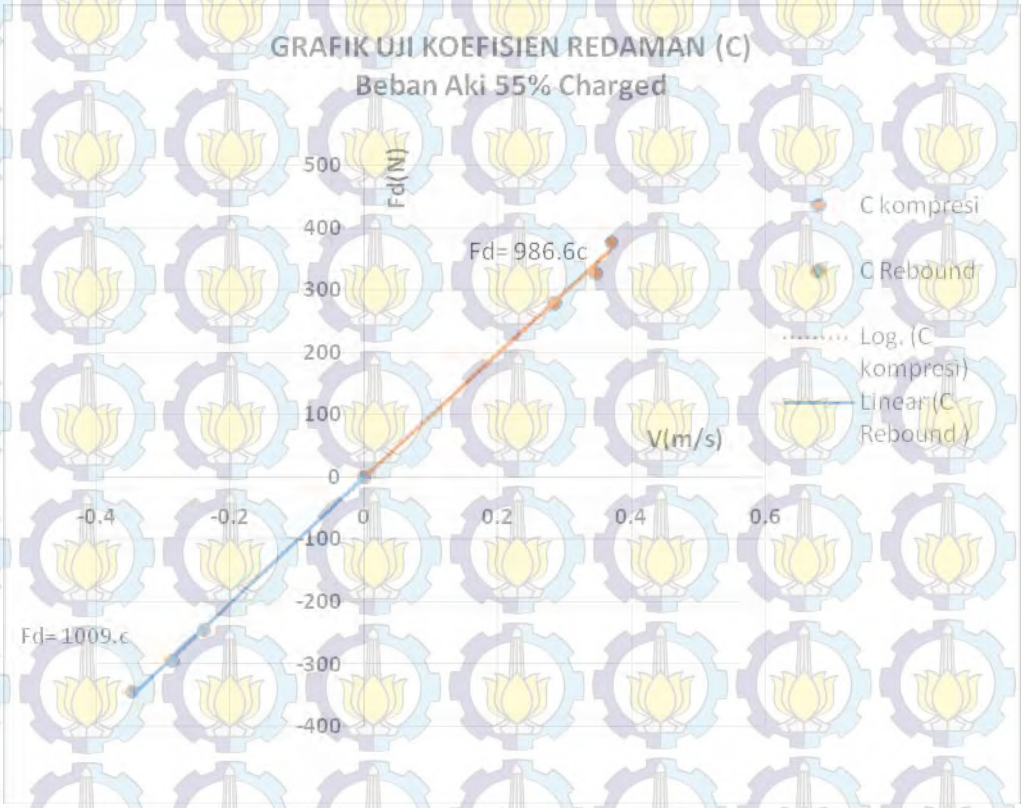
UJI KONSTANTA REDAMA TOTAL + Aki 55% Charged (HEMSA)								
Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	28.45	279.095	1.11	0.32	0.28829		968.11	
0	28.45	279.095	1.13	0.32	0.28319	0.28406	985.55	982.65
0	28.45	279.095	1.14	0.32	0.28070		994.27	
5	33.45	328.145	0.91	0.32	0.35165		933.16	
5	33.45	328.145	0.95	0.32	0.33684	0.34544	974.18	950.25
5	33.45	328.145	0.92	0.32	0.34783		943.42	
10	38.45	377.195	0.86	0.32	0.37209		1013.7	
10	38.45	377.195	0.89	0.32	0.35955	0.36937	1049.1	1021.57
10	38.45	377.195	0.85	0.32	0.37647		1001.9	
Rata-Rata								984.82

Tabel 4.23 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator 55%charged (Rebound)

UJI KONSTANTA REDAMA TOTAL + Aki 55% Charged (HEMSA)							
Massa (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
0	0	0	0	0	0	0	0
25	-245.250	1.35	0.32	-0.23704		1034.648	
25	-245.250	1.34	0.32	-0.23881	-0.23942	1026.984	1024.43
25	-245.250	1.32	0.32	-0.24242		1011.656	
30	-294.300	1.12	0.32	-0.28571		1030.05	
30	-294.300	1.11	0.32	-0.28829	-0.28657	1020.853	1026.98

30	-294.300	1.12	0.32	-0.28571		1030.05	
35	-343.350	0.95	0.32	-0.33684		1019.32	
35	-343.350	0.92	0.32	-0.34783	-0.34674	987.1313	990.71
35	-343.350	0.9	0.32	-0.35556		965.6719	
Rata-Rata							1014.04

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.22 dan 4.23 dituangkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan, untuk mengetahui distribusi linier dari konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator *55% charged*. Berikut adalah grafiknya:



Gambar 4.15Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 55%

Pada gambar 4.15 bahwa pada saat *compression* nilai konstanta redaman adalah 986.6 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 1009 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator *55% charged* adalah rata-rata dari *compression* dan *rebound* yaitu 997.8 Ns/m.Jika dibandingkan dengan nilai konstanta redaman dengan pembebanan akumulator 0% *charged* ,dapat dilihat kenaikan nilai konstanta redaman pada pembebanan akumulator 0% *charged* naik secara signifikan dan hal ini sudah sesuai dengan teori bahwa kenaikan nilai pembebanan *electrical* berbanding lurus dengan kenaikan nilai konstanta redaman

4.2.2.2.3 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator 100%*charged* (≤5Ah)

Pada pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besar kontribusi nilai konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100%. Berikut berturut-turut tabel hasil pengujian gaya redaman *compression* dan *rebound*:

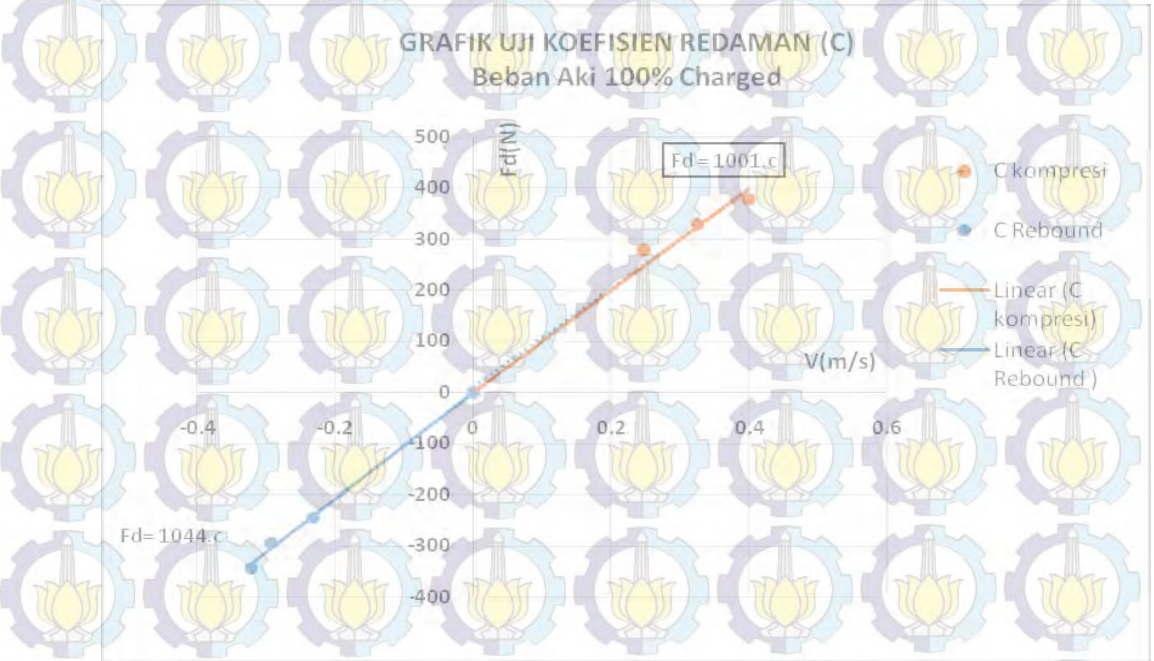
Tabel 4.24 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator 100% charged (Compression)

UJI KONSTANTA REDAMA TOTAL + Aki 100% Charged (HEMSA)								
Massa (kg)	Massa + holder (N)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
	0	0	0	0	0	0	0	
0	28.45	279.095	1.31	0.32	0.24427		1142.5	
0	28.45	279.095	1.30	0.32	0.24615	0.24681	1133.8	1130.91
0	28.45	279.095	1.28	0.32	0.25000		1116.4	
5	33.45	328.145	1.04	0.32	0.30769		1066.5	
5	33.45	328.145	0.97	0.32	0.32990	0.32481	994.69	1011.78
5	33.45	328.145	0.95	0.32	0.33684		974.18	
10	38.45	377.195	0.79	0.32	0.40506		931.2	
10	38.45	377.195	0.80	0.32	0.40000	0.39844	942.99	946.92
10	38.45	377.195	0.82	0.32	0.39024		966.56	
Rata-Rata								1029.8

Tabel 4.25 Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100% (Rebound)

UJI KONSTANTA REDAMA TOTAL + Aki 100% Charged (HEMSA)							
Massa (kg)	Berat (N)	WAKTU (s)	STROKE (m)	KECEPATAN (m/s)	v rata2 (m/s)	C (Ns/m)	C rata2
0	0	0	0	0	0	0	0
25	-245.250	1.4	0.32	-0.22857		1072.969	
25	-245.250	1.38	0.32	-0.23188	-0.23192	1057.641	1057.64
25	-245.250	1.36	0.32	-0.23529		1042.313	
30	-294.300	1.09	0.32	-0.29358		1002.459	
30	-294.300	1.08	0.32	-0.29630	-0.29272	993.2625	1005.53
30	-294.300	1.11	0.32	-0.28829		1020.853	
35	-343.350	1.00	0.32	-0.32000		1072.969	
35	-343.350	0.99	0.32	-0.32323	-0.32108	1062.239	1069.39
35	-343.350	1.00	0.32	-0.32000		1072.969	
							1044.19

Dari hasil perhitungan pada tabel 4.24 dan 4.25 dituangkan kedalam bentuk grafik gaya redaman fungsi kecepatan, untuk mengetahui distribusi linier dari konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100%. Berikut adalah grafiknya:



Gambar 4.16Grafik gaya redaman fungsi kecepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 100%

Pada gambar 4.16 bahwa pada saat *compression* nilai konstanta redaman adalah 1001 Ns/m, kemudian pada saat *rebound* nilai konstanta redaman adalah 1044 Ns/m. Sehingga, nilai konstanta redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100% adalah rata-rata dari *compression* dan *rebound* yaitu 1022.5Ns/m. Jika dibandingkan dengan nilai konstanta redaman dengan pembebanan akumulator 55% *charged* ,dapat dilihat kenaikan nilai konstanta redaman pada pembebanan akumulator 100% *charged* mengalami kenaikan cukup besar dan hal ini sudah sesuai dengan teori bahwa kenaikan nilai pembebanan *electrical*al berbanding lurus dengan kenaikan nilai konstanta redaman.

4.2.2.2.4 Distribusi Konstanta Redaman HEMSA

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

Tabel 4.26 Nilai Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 0%

Beban Aki 0% Charged			
Nilai Redaman Komponen HEMSA	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	493.5	478.3	485.9
Viscous+Friction damping	657.1	622.3	639.7
Friction damping	163.6	144	153.8
Electrical damping	245.4	238	241.7
Total damping coefficient Aki 0% Charged	902.5	860.3	881.4

Tabel 4.27 Nilai Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 55%

Beban Aki 55% Charged			
Nilai Redaman Komponen HEMSA	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	493.5	478.3	485.9
Viscous+Friction damping	657.1	622.3	639.7
Friction damping	163.6	144	153.8
Electrical damping	351.9	364.3	358.1
Total damping coefficient Aki 55% Charged	1009	986.6	997.8

Tabel 4.28 Nilai Konstanta Redaman HEMSA pada saat akumulator terisi 100%.

Beban Aki 100% Charged			
Nilai Redaman Komponen HEMSA	Crebound (N.s/m)	Ccompression (N.s/m)	Cd (N.s/m)
Viscous damping	493.5	478.3	485.9
Viscous+Friction damping	657.1	622.3	639.7
Friction damping	163.6	144	153.8
Electrical damping	386.9	378.7	382.8
Total damping coefficient Aki 100% Charged	1044	1001	1022.5

Gambar 4. 17Perbandingan Distribusi Konstanta Redaman HEMSA pada saat kondisi tanpa beban serta pembebanan akumulator dalam ketiga kondisi

Dari beberapa table-tabel di atas dapat kita lihat bahwa nilai pada $C_{rebound}$ HEMSA lebih besar daripada nilai pada $C_{compression}$dari keseluruhan pembebanan akumulator. Untuk *shock absorber* yang dikatakan baik adalah apabila nilai konstanta redaman pada saat proses *rebound* tersebut lebih besar daripada proses *compression*. Nilai redaman pada proses *compression* bekerja saat terjadi eksitasi massa kendaraan dan kekakuan pegas dan meredamnya sesaat setelah ekstasi tersebut kehabisan gaya tekan kebawah lalu melalui proses *rebound* yang berfungsi apabila *shock absorber*, sehingga penumpang tidak menerima eksitasi dari kontur jalan secara langsung dan kenyamanan serta ketahanan berkendarapun menjadi lebih baik. Artinya, HEMSA dapat dikatakan memenuhi salah satu syarat sebagai *shock absorber*.

Dari gambar 4.17 di atas, dapat dilihat distribusi konstanta redaman komponen *hydraulic* (*viscousdamping*) dan *gearbox* (*frictiondamping*) dari HEMSA relatif konstan. Sedangkan pada komponen generator (*electricaldamping*) dari HEMSA cenderung meningkat akibat variasi pembebanan akumulator. Semakin terisi nilai akumulator semakin besar nilai konstantra redaman HEMSA. Hal ini sudah sesuai dengan semakin besar beban yang dimiliki accumulator semakin besar pula koefisien gaya redamannya.

4.3 Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA

Pada tahap pengujian ini, pengujian dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui respon massa dan energi bangkitan HEMSA akibat eksitasi Impuls dan Periodik pada pembebanan resistor 83.4, 125, dan 250 Ohm dan variasi pembebanan akumulator dengan berbagai macam kondisinya, yaitu: kondisi terisi 0%, 55%, 100% (≥0Ah, ±2,5Ah, ≤5Ah).

Keterangan :

1.*Suspension test rig*
2. Massa uji
3. *Sprung mass+accelerometer*
4. Limit switch Amplitudo
5.*Base exciter*
6. HEMSA (*viscous*)
7. HEMSA (*friction+electric*)
8.Rangkaian diode (Penyearah)
9.Pembebanan Resistor dan Acumulator

Gambar 4. 18Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA

Pada tahap ini, pengujian dilakukan di laboratorium Sistem Dinamis dan Vibrasi Teknik Mesin ITS, tujuan dilakukan pengujian ini adalah untuk membandingkan performa dari HEMSA yaitu dengan membandingkan tingkat kenyamanan. Mekanisme yang digunakan adalah *suspension test rig* yaitu ¼ dari kendaraan mobil. Pada sistem kali ini beton digambarkan sebagai *sprung mass* yaitu massa pada kendaraan, yang besarnya 250kg, sedangkan pada *base plate* digunakan sebagai *base exciter*. Input pada pengujian respon massa berupa eksitasi impuls dan periodik dengan variasi frekuensi eksitasi yaitu 1,4 Hz, 1,7 Hz dan 2,2 Hz.

Adapun peralatan yang digunakan pada saat pengambilam data ini ialah sebagai berikut:

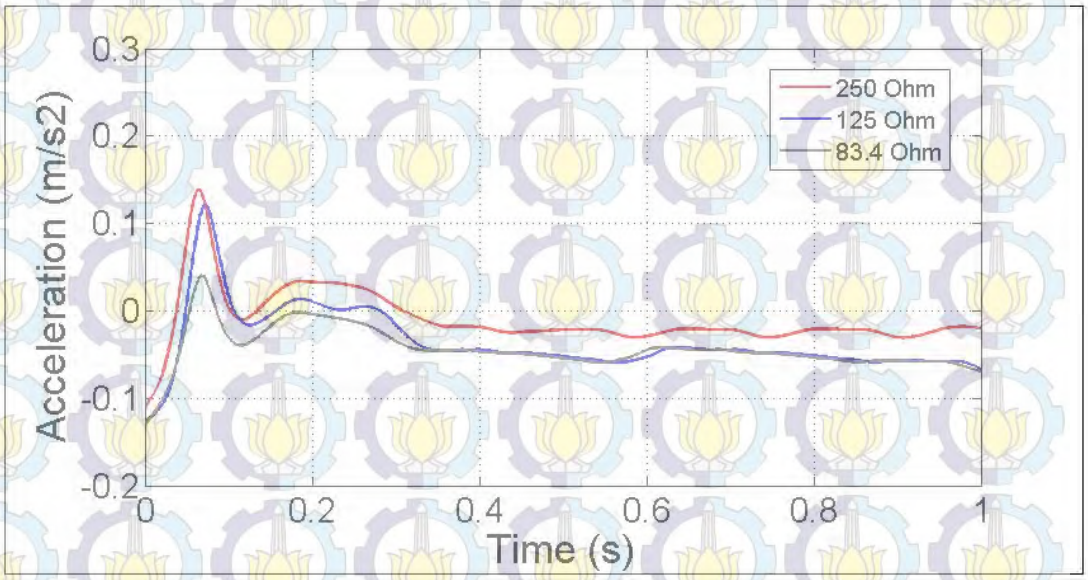
1. Suspension test rig
2. Oscilloscope tektronik P 220 200 MHz 1X/10X
3. Accelerometer
4. Massa uji berupa beton (250 kg)
5. *Hydraulic Mechanic Electro Shock Absorber*
6. Pegas
7. Multimeter
8. Beban resistor 83 Ohm, 125 Ohm, dan 250 Ohm.
9. Beban akumulator saat terisi 0%, 55%, dan 100%.

4.3.1 Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA akibat Eksitasi Impuls dan Periodik

4.3.1.1 Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA akibat Eksitasi Impuls dan Periodik Pembebanan Resistor (Lampu)

4.3.1.1.1 Eksitasi Impuls

Pengujian karakteristik suspensi HEMSA akibat ekstasi impuls bertujuan untuk mengetahui respon massa secara transient. Eksitasi impuls merupakan suatu gambaran profil jalan berupa bump.Berikut adalah grafik respon massa hasil pengujian impuls:



Gambar 4.19Grafik respon *sprung mass* pengujian impuls

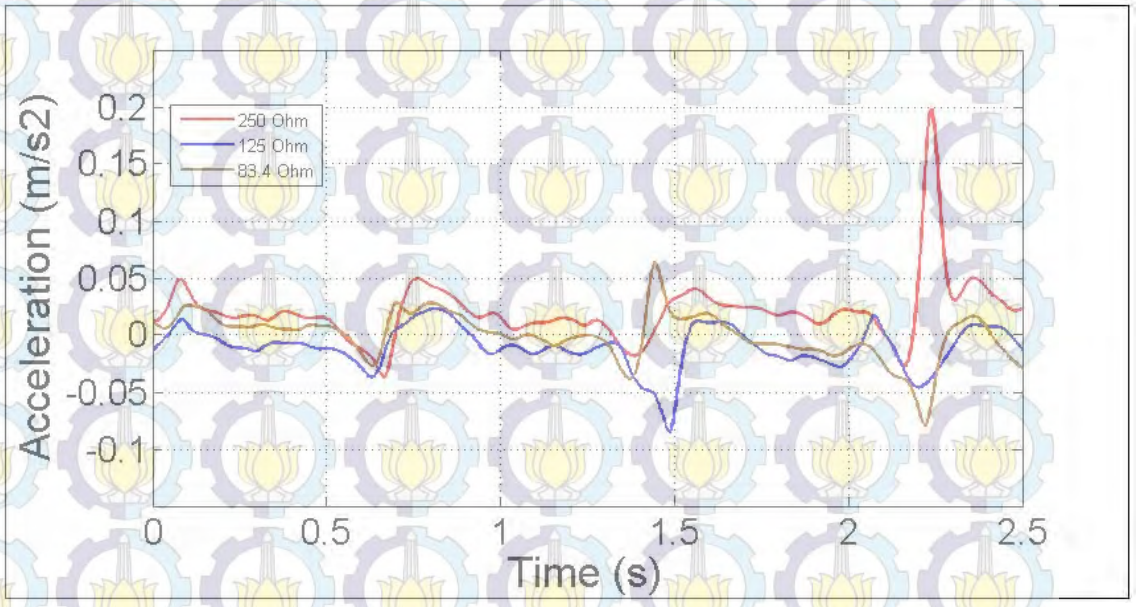
Dari hasil pengujian ini, pada gambar 4.19 di atas menunjukkan bahwa percepatan *peak* HEMSA pada saat pembebanan 250, 125, dan 83.4 Ohm berturut-turut sebesar: 0.1374m/s^2, 0.120m/s^2, dan 0.039m/s^2. Dan damping ratio (ζ) HEMSA pada saat pembebanan 250, 125, dan 83.4 Ohm berturut-turut sebesar: 0,23; 0,25; dan 0,27.

HEMSA pada saat beban 83.4 Ohm memiliki nilai percepatan terendah dibandingkan dengan yang lain. Untuk beban 83.4 Ohm mengalami keadaan stabil pada 0,95s, kemudian pada beban 125 ohm mulai stabil pada 0,8s, sedangkan untuk beban 250 ohm mulai stabil pada 0,75s.Secara teori semakin tinggi nilai damping ratio, mendekati 1, semakin cepat waktu sistem suspensi untuk stabil. Dari hasil pengujian eksitasi Impuls menunjukkan kesesuaian dengan teori.

4.3.1.1.2 Eksitasi Periodik

a. Eksitasi Periodik Frekwensi 1,4Hz

Berikut adalah grafik *acceleration* fungsi waktu pada pengujian beban 1 lampu (250 Ohm), 2 lampu (125 Ohm), dan 3 lampu (83.4 Ohm) dengan frekwensi eksitasi 1,4Hz :



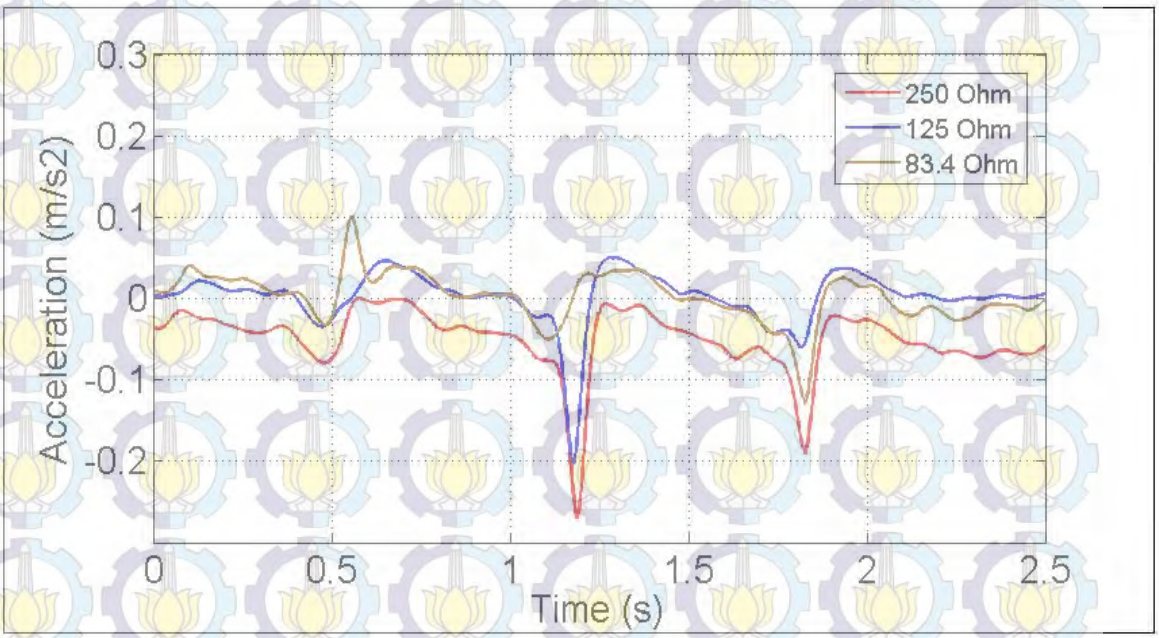
Gambar 4.20Grafik respon *sprung mass* pengujian periodik frekwensi 1,4Hz

Dari hasil pengujian ini, pada gambar 4.20 di atas menunjukkan bahwa percepatan *rms* HEMSA pada saat pembebanan250, 125, dan 83.4 Ohm berturut-turut sebesar: 0,090 m/s^2, 0.069/s^2, dan 0,074m/s^2.

Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai percepatan yang dihasilkan HEMSA pada saat beban 250 Ohm nilai percepatannya tertinggi dibandingkan pembebanan yang lain. Sedangkan, nilai rms percepatan terendah dihasilkan HEMSA pada saat pembebanan 83.4 Ohm.Berdasarkan standar ISO-2631 tentang kenyamanan penumpang bahwa, nilai percepatan terendah adalah baik karena nilai percepatan yang kecil dapat memperlama ketahanan penumpang dalam mengendarai kendaraan.

b. Eksitasi Periodik frekuensi 1,7 Hz

Berikut adalah grafik *acceleration* fungsi waktu pada pengujian beban 1 lampu (250 Ohm), 2 lampu (125 Ohm), dan 3 lampu (83.4 Ohm) dengan frekuensi eksitasi 1,7Hz :



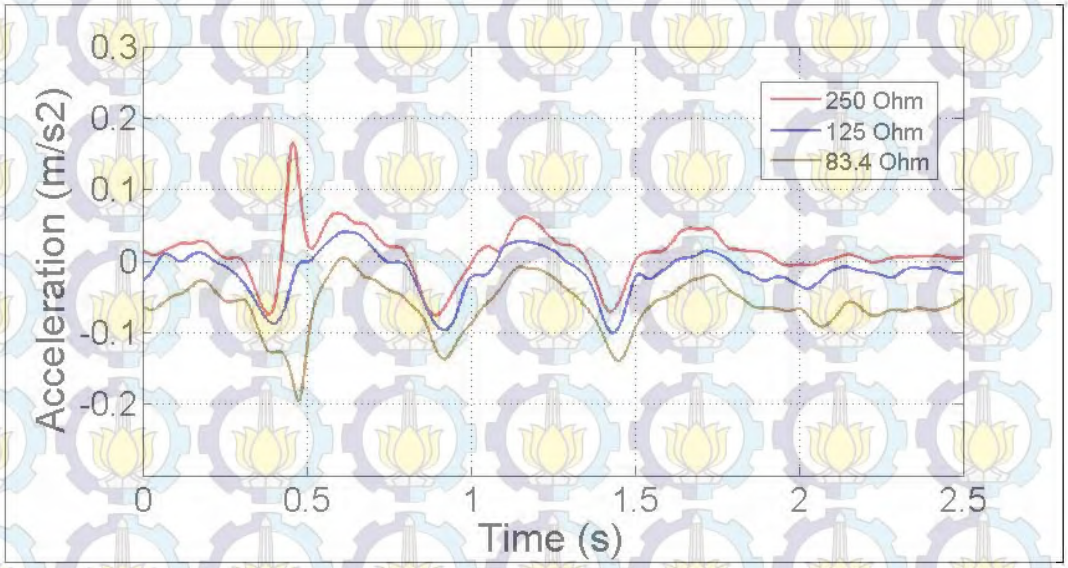
Gambar 4.21Grafik respon *sprung mass*eksitasi pengujian periodik frekuensi 1,7Hz

Dari hasil pengujian ini, pada gambar 4.21 di atas menunjukkan bahwa percepatan *rms* HEMSA pada saat pembebanan250, 125, dan 83 Ohm berturut-turut sebesar: 0,133 m/s^2, 0.1248m/s^2, dan 0,1136m/s^2.

Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai rms percepatan yang dihasilkan HEMSA pada saat beban 83.4 Ohm nilai percepatannya terendah dibandingkan pembebanan yang lain. Sedangkan, nilai rms percepatan tertinggi dihasilkan HEMSA pada saat pembebanan 250 Ohm.Berdasarkan standar ISO-2631 tentang kenyamanan penumpang bahwa, nilai percepatan terendah adalah baik karena nilai percepatan yang kecil dapat memperlama ketahanan penumpang dalam mengendarai kendaraan.

c. Eksitasi Periodik frekuensi 2,2 Hz

Berikut adalah grafik *acceleration*fungsi waktu pada pengujian beban 1 lampu (250 Ohm), 2 lampu (125 Ohm), dan 3 lampu (83.4 Ohm) dengan frekwensi eksitasi 2,2 Hz :



Gambar 4.22Grafik respon sprung masseksitasi pengujian periodik frekwensi 2,2 Hz

Dari hasil pengujian ini, pada gambar 4.22 di atasmenunjukkan bahwa percepatan *rms* HEMSA pada saat pembebanan 250, 125, dan 83 Ohm berturut-turut sebesar: 0,114 m/s^2, 0.0476m/s^2, dan 0,085m/s^2.

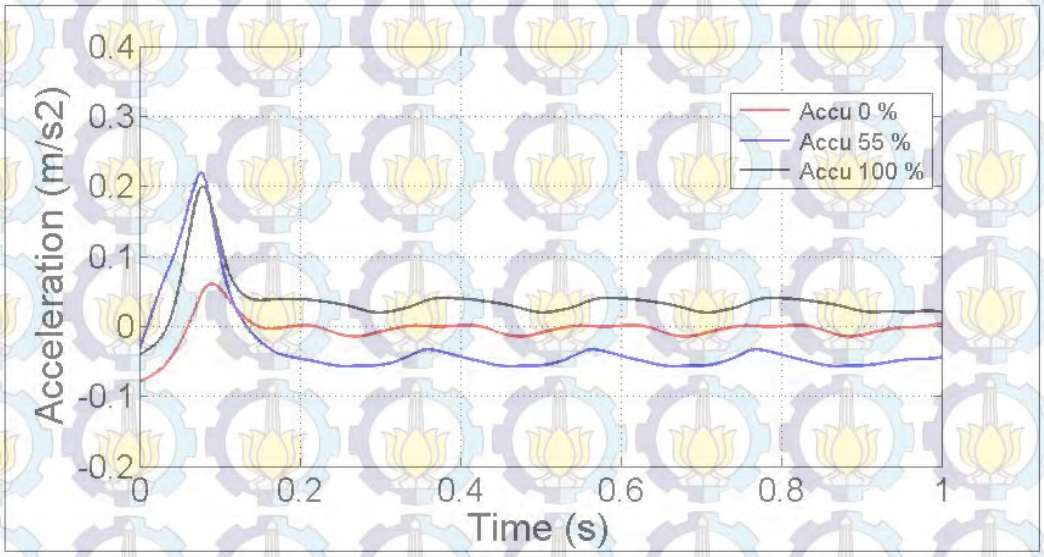
Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai percepatan yang dihasilkan HEMSA pada saat beban 125 Ohm nilai percepatannya terendah dibandingkan pembebanan yang lain. Sedangkan, nilai rms percepatan tertinggi dihasilkan HEMSA pada saat pembebanan250 Ohm.Berdasarkan pada standar ISO kenyamanan penumpang bahwa nilai percepatan rendah ialah baik. Dari uraian

tersebut maka HEMSA pada saat beban 125 Ohm paling baik segi kenyamanannya untuk frekuensi eksitasi 2,2 Hz

4.3.1.2 Pengujian Karakteristik Suspensi HEMSA akibat Eksitasi Impuls dan Periodik Pembebanan Akumulator (aki)

4.3.1.2.1 Eksitasi Impuls

Pengujian karakteristik suspensi HEMSA akibat ekstasi impuls bertujuan untuk mengetahui respon massa secara transient. Eksitasi impuls merupakan suatu gambaran profil jalan berupa bump. Pada pengujian ini diberikan input frekensi eksitasi sebesar 2,2 Hz. Berikut adalah grafik respon massa hasil pengujian impuls.



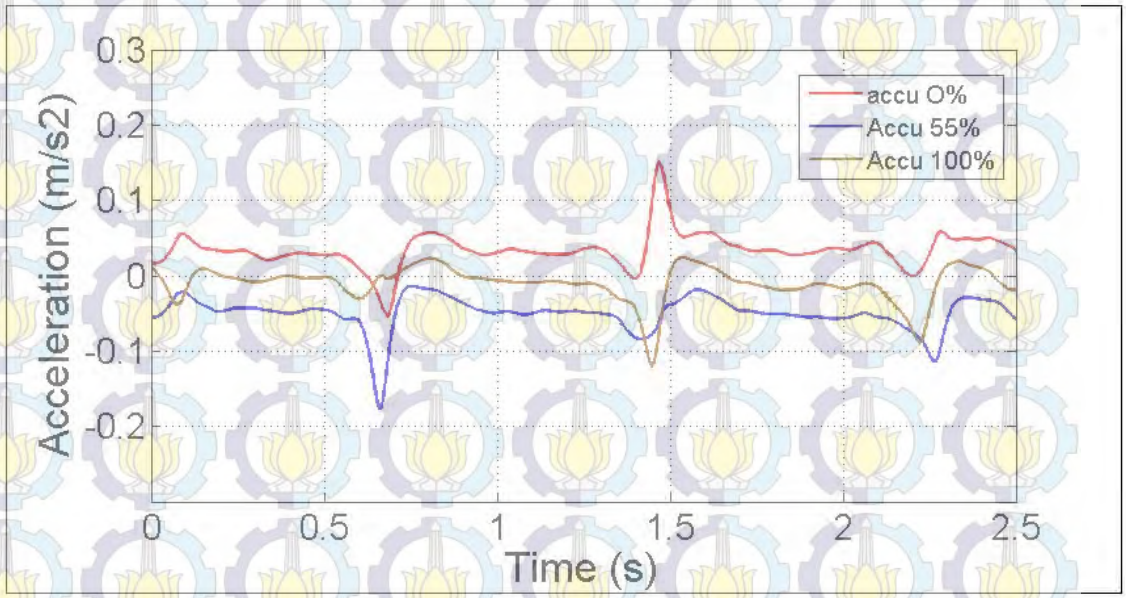
Gambar 4.23Grafik respon sprung mass pengujian impuls

Dari hasil pengujian ini, pada gambar 4.23 di atas menunjukkan bahwa percepatan *peak* HEMSA pada saat akumulator terisi 0%, 55%, dan 100% berturut-turut sebesar: 0.058 m/s^2, 0.213 m/s^2, dan 0.198 m/s^2. HEMSA pada saat akumulator terisi 0% merupakan percepatan terendah yaitu sebesar 0.058 m/s^2 dibandingkan dengan percepatan HEMSA dengan *accu* yang lain. Untuk akumulator 0% pada detik ke– 0.81 sudah mengalami kondisi stabil, untuk akumulator 55% mengalami keadaan stabil ketika detik ke– 0.85 dan untuk kondisi akumulator 100% mengalami kondisi stabil ketika detik ke– 0.84.

4.3.1.2.2 Eksitasi Periodik

a. Eksitasi Periodik frekuensi 1,4 Hz

Berikut ialah grafik *acceleration* versus waktu dengan frekuensi 1,4 Hz dan beban akumulator terisi 0%, 55%, dan 100%.

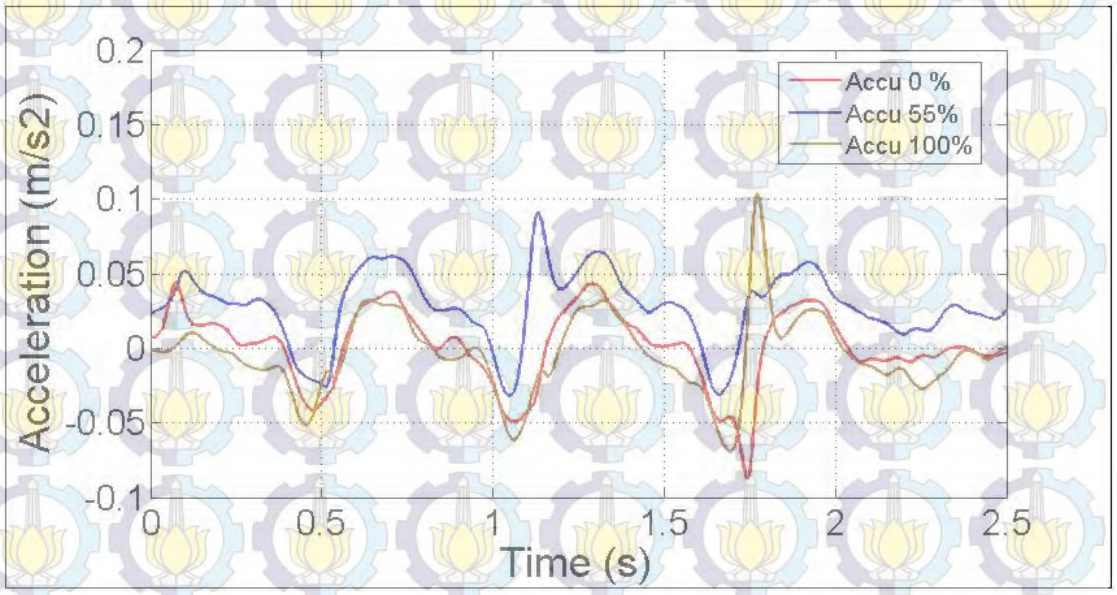


Gambar 4.24Grafik respon sprung mass eksitasi periodik 1,4Hz dengan pembebanan akumulator

Dari gambar 4.24, bahwa nilai RMS percepatan untuk *accu* 0% *charged* sebesar 0.072 m/s^2, *accu*55%*charged* sebesar 0.0918 m/s^2 dan *accu* 100% *charged* sebesar 0.090m/s^2. Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai percepatan yang dihasilkan HEMSA pada saat akumulator terisi 100% merupakan terendah nilai percepatannya dibandingkan dengan akumulator yang lain. Sedangkan, nilai RMS percepatan tertinggi dihasilkan HEMSA pada saat akumulator terisi 0%. Berdasarkan pada standar ISO kenyamanan penumpang bahwa nilai percepatan rendah ialah baik. Dari uraian tersebut maka HEMSA pada saat akumulator terisi 100% paling baik segi kenyamanannya untuk frekuensi eksitasi 1,4Hz.

b. Eksiasi Periodik frekuensi 1,7 Hz

Berikut ialah grafik *acceleration* versus waktu dengan frekuensi 1,7 Hz dan beban akumulator terisi 0%, 55%, dan 100%.

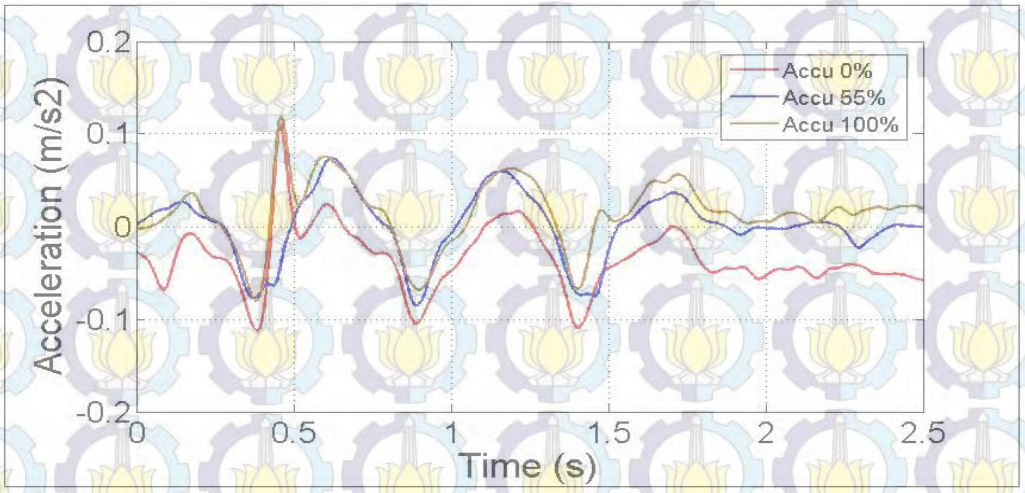


Gambar 4.25 Grafik respon sprung mass eksitasi periodik 1,7Hz dengan pembebanan akumulator

Dari gambar 4.25, bahwa nilai RMS percepatan *sprung mass* untuk *accu* 0% *charged* sebesar 0.071 m/s^2, *accu* 55%*charged* sebesar 0.065 m/s^2 dan *accu* 100% *charged* sebesar 0.075 m/s^2. Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai percepatan yang dihasilkan HEMSA pada saat akumulator terisi 55% merupakan terendah nilai percepatannya dibandingkan dengan akumulator yang lain. Sedangkan, nilai RMS percepatan tertinggi dihasilkan HEMSA pada saat akumulator terisi 100%. Berdasarkan pada standar ISO kenyamanan penumpang bahwa nilai percepatan rendah ialah baik. Dari uraian tersebut maka HEMSA pada saat akumulator terisi 55% dan diberikan eksitasi 1,7 paling baik dilihat dari nilai percepatannya yang paling kecil. Dapat dilihat juga nilai percepatan dari ketiga kondisi akumulator memiliki nilai percepatan yang relatif sama.

c. Eksitasi Periodik frekuensi 2.2 Hz

Berikut ialah grafik *acceleration* versus waktu dengan frekuensi 2.2 Hz dan beban akumulator terisi 0%, 50%, dan 100%.



Gambar 4. 26 Grafik respon sprung mass eksitasi periodik 2.2Hz dengan pembebanan akumulator

Dari gambar 4.26, bahwa nilai RMS percepatan *sprung mass* untuk *accu* 0% *charged* sebesar 0.075 m/s^2, *accu* 55%*charged* sebesar 0.062 m/s^2 dan *accu* 100% *charged* sebesar 0.060 m/s^2. Dapat dianalisa dari grafik tersebut dimana nilai percepatan yang dihasilkan HEMSA pada saat akumulator terisi 100% merupakan terendah nilai percepatannya dibandingkan dengan akumulator yang lain. Sedangkan, nilai RMS percepatan tertinggi dihasilkan HEMSA pada saat akumulator terisi 0%. Berdasarkan pada standar ISO kenyamanan penumpang bahwa nilai percepatan rendah ialah baik. Dari uraian tersebut maka HEMSA pada saat akumulator terisi 100% paling baik segi kenyamanannya untuk frekuensi eksitasi 2.2Hz.

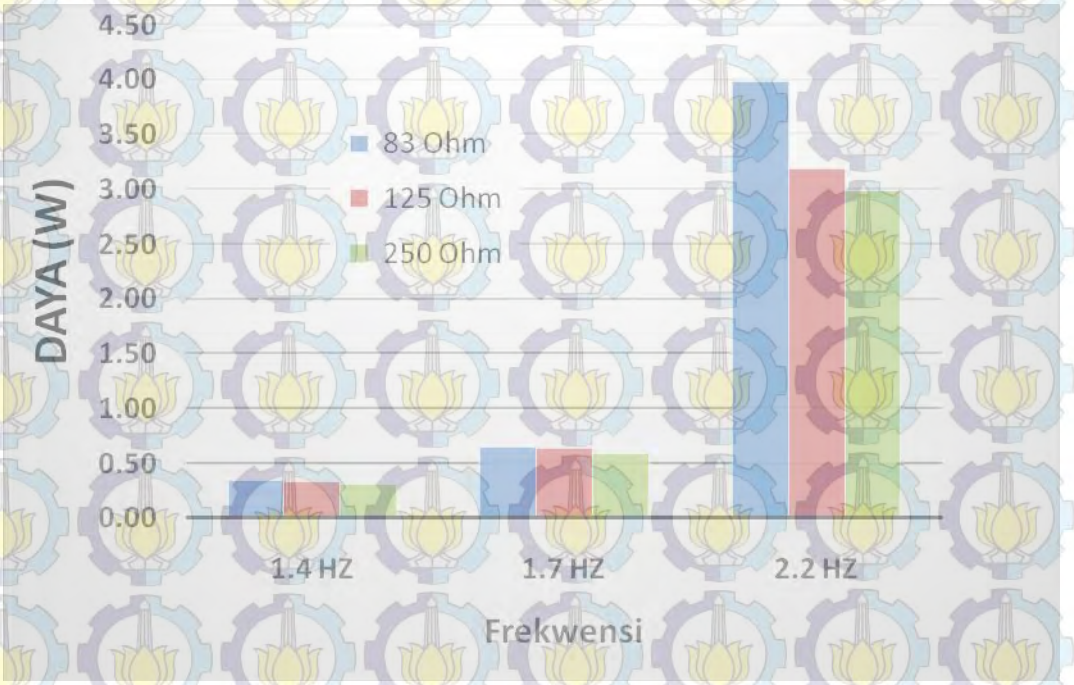
4.3.2 Pengujian Energi Bangkitan HEMSA

Pengujian energi bangkitan pada HEMSA dilakukan pada eksitasi periodik dimana yang diukur adalah voltase dan arus listrik. Penggunaan beban listrik berupa 3 buah lampu yang disusun secara paralel dimana nilai masing-masing bohlam lampu adalah (250 Ohm), sehingga didapat nilai bebannya masing-masing 83.4, 125, dan 250 Ohm dan variasi pembebanan akumulator dengan berbagai macam kondisinya, yaitu: kondisi terisi 0%, 55%, 100% (≥0Ah, ±2,5Ah, ≤5Ah). Voltase diukur dengan *oscilloscope* dan Arus listrik diukur dengan AVO meter digital. Dari

pengukuran beban resistor maupun akumulator dapat ditampilkan salah hasil pengukurannya. Berikut adalah hasilnya:

Tabel 4. 29 Energi bangkitan eksitasi periodik

ENERGI BANGKITAN *PERIODIK*					
FREKUENSI EKSITASI (f)	BEBAN GENERATOR (Ohm)	RMS VOLTASE (V)	V 10x probe	ARUS (A)	DAYA (W)
1.4 Hz	83 Ohm	0.548	5.48	0.62	0.34
	125 Ohm	0.771	7.71	0.42	0.32
	250 Ohm	1.324	13.24	0.23	0.30
1.7 Hz	83 Ohm	0.72	7.2	0.9	0.65
	125 Ohm	1.105	11.05	0.57	0.63
	250 Ohm	1.939	19.39	0.3	0.58
2,2 Hz	83 Ohm	2.087	20.87	1.91	3.99
	125 Ohm	2.486	24.86	1.28	3.18
	250 Ohm	3.878	38.78	0.77	2.99



Gambar 4. 27Diagram batang energi bangkitan HEMSA ekstitasi periodik 1,4Hz, 1,7Hz, 2,2Hz.

Dari diagram diatas energi bangkitan yang diahasilkan HEMSA untuk frekwensi 1,4Hz pada 83 ohm = 0.34 watt; 125 ohm= 0.32 watt; 250 ohm= 0.30 watt; untuk frekwensi 1,7Hz pada 83 ohm = 0.65 watt; 125 ohm= 0.63

watt; 250 ohm= 0.58 watt; untuk frekwensi 2,2Hz pada 83 ohm = 3.99 watt; 125 ohm= 3.19 watt; 250 ohm=2.99watt.

Dari diagram batang diatas, dapat disimpulkan bahwa semakin besar nilai frekwensi eksitasi maka semakin besar daya listrik yang dihasilkan. Untuk masing-masing variasi pembebanan khususnya pada frekwensi 1,4 Hz. 1,7Hz dan 2,2 Hz, dapat kita lihat bahwa semakin besar nilai tahanan atau beban listrik (R), maka semakin kecil kecil daya yang dihasilkan. Hal ini disebabkan karena dengan beban listrik yang semakin besar mempengaruhi nilai dari Torsi elektrik (Te), dimana nilai torsi elektrik ini berlawanan dengan arah putaran generator yang sifatnya sebagai penghambat sehingga arus yang dihasilkan kecil. Oleh karena itu daya yang dihasilkan juga semakin kecil.

4.3.3 Performa *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber*

4.3.3.1 Effisiensi Pembebanan resistor dan akumulator

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

4.3.3.1.1 Nilai effisiensi yang dihasilkan dari HEMSA untuk variasi pembebanan resistor (lampu), pada masing-masing frekuensi:

Tabel 4. 20Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban 83.4 Ohm

Beban 83.4 Ohm					
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)	η
1.4	1139.5	0.056	1.79	0.34	19.0
1.7	1139.5	0.068	2.63	0.65	24.7
2.2	1139.5	0.088	4.4	3.39	76.8

Tabel 4. 21Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban 125 Ohm

Beban 125 Ohm					
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)	η
1.4	1053.5	0.056	1.65	0.32	19.4
1.7	1053.5	0.068	2.44	0.63	25.9
2.2	1053.5	0.088	4.1	3.23	79.2

Tabel 4. 22Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban 250 Ohm

Beban 250 Ohm					
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)	η
1.4	958.8	0.056	1.50	0.3	20.0
1.7	958.8	0.068	2.22	0.58	26.2
2.2	958.8	0.088	3.7	2.99	80.5

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

Diketahui: c = 958.8 Ns/m
f = 1,4 Hz
A = 2cm = 0,02m

dari persamaan $P_i = \int Fd \; d\dot{z}$, bila diintegralkan menjadi:

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

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

Maka, persamaan menjadi:

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

$P_i = \frac{1}{2}\,958.8\,(2 \times 0.02 \times 1{,}4)^2$

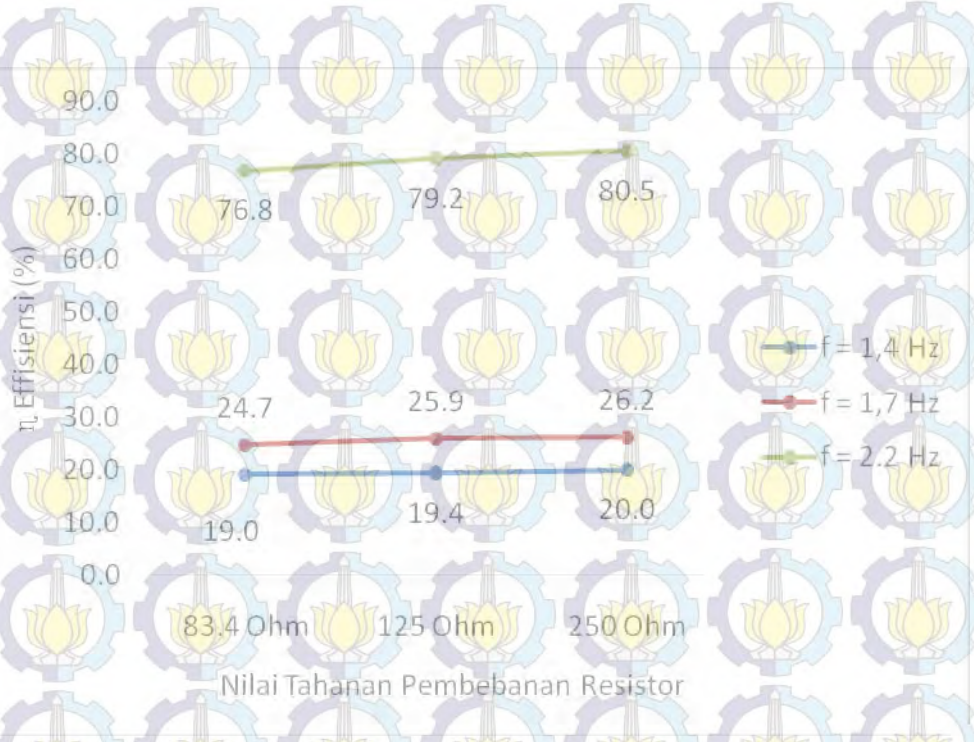
$P_i = 1.503$

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

$\eta = \frac{0{,}3}{1.503} \times 100\%$

$\eta = 19.96 \approx 20\,\%$

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



Gambar 4. 14Grafik effisiensi perfoma HEMSA pembebanan Resistor

Dari gambar 4.28 dapat dilihat bahwa *trendline* effisiensi 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 juga terjadi kenaikan nilai efesiensi dan pada saat frekuensi 2.2 Hz terjadi kenaikan nilai efesiensi. Secara umum kinerja HEMSA mengalamai kenaikan efesiensi seiring bertambahnya nilai hambatan beban. Pada saat frekuensi 1,4 hz efesiensi berada di antara 19 % - 20 %, pada 1,7 Hz efesiensi berada di kisaran tertinggi 26,2 %.dan pada saat frekuensi 2.2 Hz berada pada efisiensi tertinggi yaitu sebesar 80.5 %.

4.3.3.1.2 Nilai effisiensi yang dihasilkan dari HEMSA untuk variasi pembebanan akumulator (aki), pada masing-masing frekuensi:

Tabel 4. 23Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban terisi 0%

Kondisi aki 0 %					
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)	η
1.4	881.4	0.056	1.38	0.3	21.7
1.7	881.4	0.068	2.04	0.58	28.5
2.2	881.4	0.088	3.4	2.99	87.6

Tabel 4. 24Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban terisi 55%

Kondisi aki 55 %					
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)	η
1.4	997.8	0.056	1.56	0.32	20.5
1.7	997.8	0.068	2.31	0.63	27.3
2.2	997.8	0.088	3.9	3.23	83.6

Tabel 4. 25Effisiensi HEMSA pada saat pada saat beban terisi 100%

Kondisi aki 100 %					
Frekuensi eksitasi (Hz)	Cd (Ns/m)	v (m/s)	P input (W)	P output (W)	η
1.4	1022.5	0.056	1.60	0.25	15.6
1.7	1022.5	0.068	2.36	0.65	27.5
2.2	1022.5	0.088	4.0	3.39	85.6

Untuk mendapatkan power input berikut contoh perhitungan, untuk beban terisi 100% pada frekuensi eksitasi 1,4 Hz:

Diketahui: c = 1022.5 Ns/m
f = 1,4 Hz
A = 2cm = 0,02m

dari persamaan $P_i = \int Fd \; d\dot{z}$, bila diintegralkan menjadi:

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

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

Maka, persamaan menjadi:

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

$P_i = \frac{1}{2}\, 1022.5\, (2 \times 0.02 \times 1{,}4)^2$

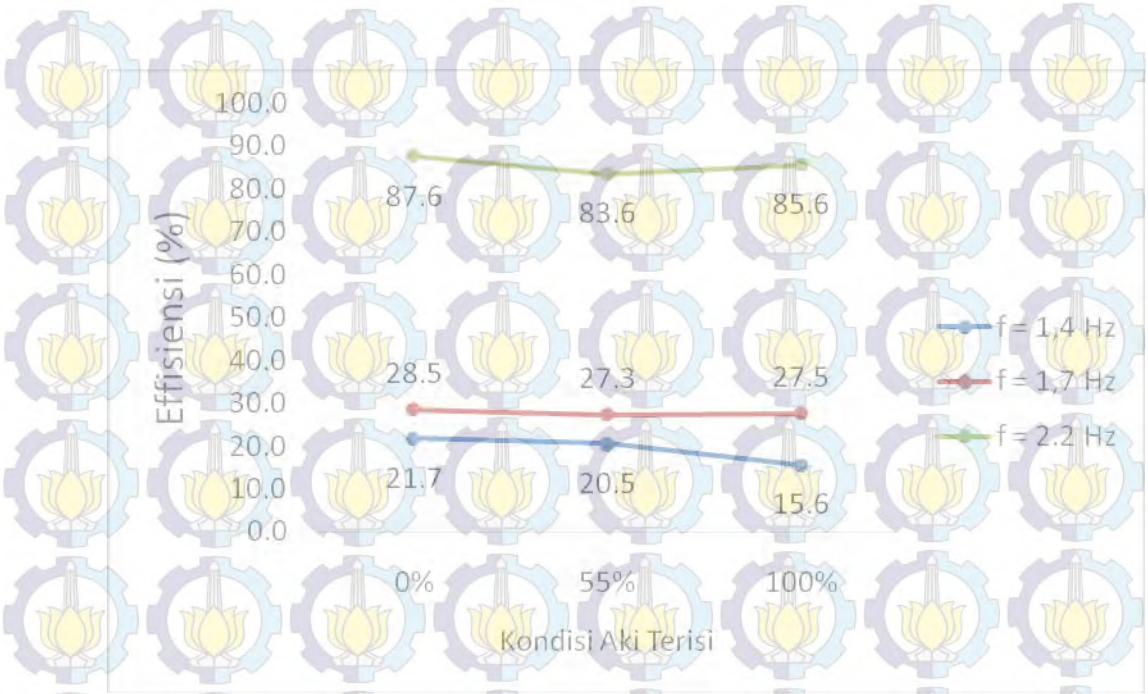
$P_i = 1.603$

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

$\eta = \frac{0.25}{1.603} \times 100\%$

$\eta = 15{,}6\ \%$

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



Gambar 4. 15Grafik effisiensi perfoma HEMSA pembebanan akumulator

Dari gambar 4.29 dapat kita lihat bahwa *trendline* effisiensi performa HEMSA untuk frekuensi 1,4. 1,7Hz dan 2,2Hz cenderung turun akibat penambahan beban pada pembebanan aki terisi 0% - 55%. Sedangkan untuk frekuensi 1,7Hz dan 2.2Hz untuk nilai pembebanan 100% effisiensinya berfluktuasi terjadi kenaikan effisinsi. Dimungkinkan alat ukur yang kurang presisi atau pembacaan Avo meter pada saat pengambilan data.

4.3.3 Force Transmissibility HEMSA

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

4.3.3.1 Force Transmissibility HEMSA akibat Pembebanan Resistor Terhadap Performa Standar Kenyamanan ISO-2631

Tabel 4. 26Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat beban 83.4 Ohm

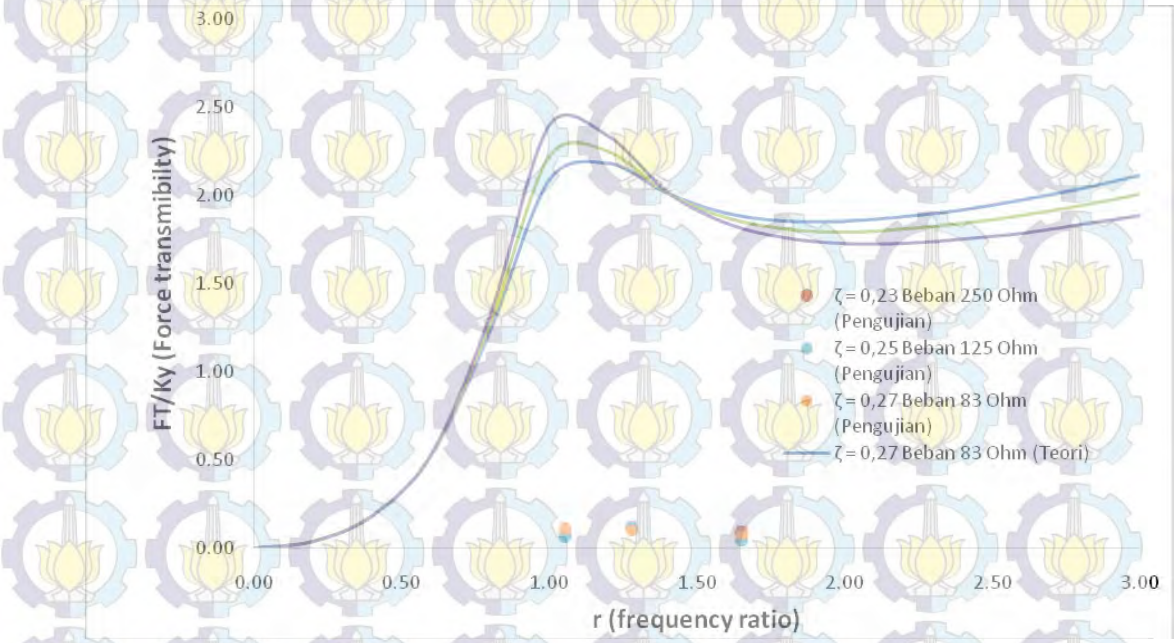
Beban 83.4 ohm					
Frekuensi eksitasi	r	w	wn	FT/kY teoritis	FT/kY pengujian
1.4	1.05	8.80	8.36	1.67	0.11
1.7	1.28	10.69	8.36	1.90	0.11
2.2	1.65	13.83	8.36	1.86	0.08

Tabel 4. 27Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat beban 125 Ohm

Beban 125 ohm					
Frekuensi eksitasi	r	w	wn	FT/kY teoritis	FT/kY pengujian
1.4	1.05	8.80	8.36	1.70	0.07
1.7	1.28	10.69	8.36	1.90	0.12
2.2	1.65	12.57	8.36	1.82	0.05

Tabel 4. 28Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat beban 250 Ohm

Beban 250 ohm					
Frekuensi eksitasi	r	w	wn	FT/kY teoritis	FT/kY pengujian
1.4	1.05	8.80	8.36	1.75	0.07
1.7	1.28	10.69	8.36	1.91	0.12
2.2	1.65	12.57	8.36	1.77	0.10

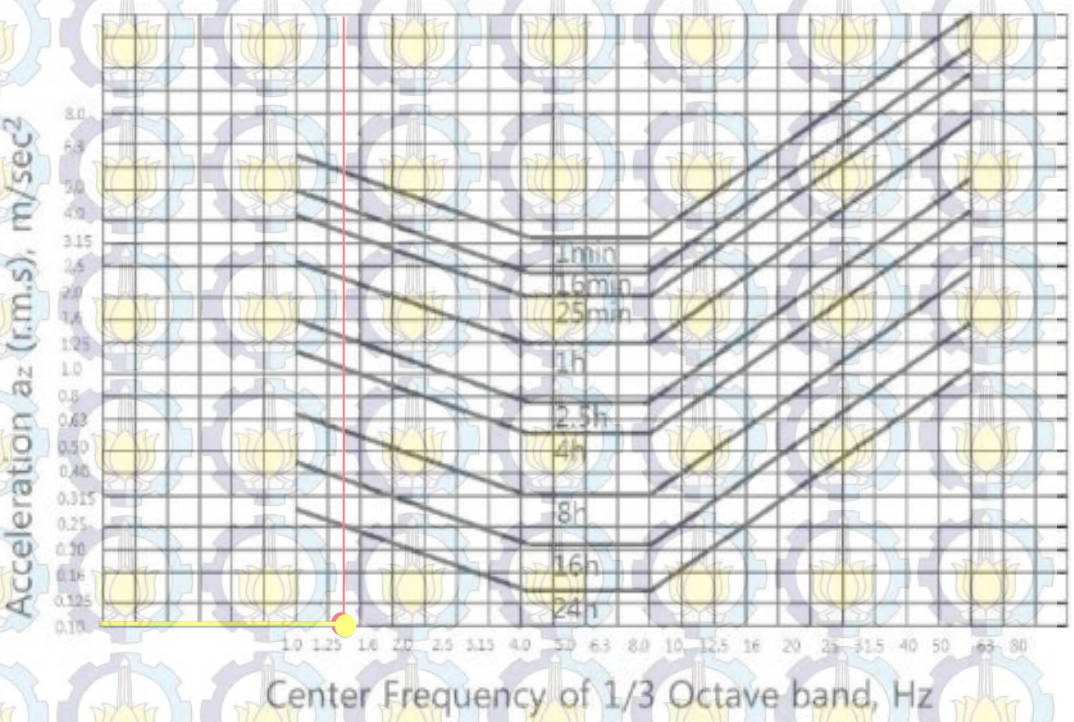


Gambar 4. 30Grafik Force Transmibility vs Freq. ratio ζ0.23. ζ0,25. ζ0,27

Pada gambar 4.30 grafik diatas menunjukkan hubungan antara *forcetransmissibility* (*Ft*) dengan *frequency ratio (r)*. Dari 3 titik *Ratio frequency* (r) yaitu pada saat r = 1.05, r = 1.28 dan r = 1.65 kemudian dihubungkan dengan *forcetransmisibility* yang dicari dari data percobaan dan teoritis. Dapat dilihat dari grafik di atas, *trendline* secara teoritis nilai *force transmisibility* meningkat seiring bertambahnya *frequency ratio* di setiap *damping ratio*. Sedangkan dari hasil eksperimen (percobaan) mengalami *fluktuatif* namun nilainya tidak begitu berubah besar. *Trendline* pada ζ = 0,27 *R 83.4 Ohm* nilainya tetap saat r = 1.05 menuju r = 1.28 kemudian turun kembali pada r 1,65. Lalu ζ = 0,25 *R 125 Ohm* nilainya mengalami kenaikan saat r =1.05 ke r = 1.28 kemudian turun pada r 1.65. Namun pada ζ = 0,23*R 250 Ohm* mengalami kenaikan saat r = 1.05 ke r = 1.28 dan mengalami penurunan pada saat r = 1.65. Dari kondisi ketiga kondisi titik diatas cenderung berhimpit pada satu titik, karena memang garis teori berhimpit (bertemu pada satu titik) pada r 1.05 dan 1.28 namun pada 1,65 memang terjadi perbedaan secara teori maupun aktual.

Dari fenomena grafik hasil perhitungan Force Transmisibility, perhitungan percobaan dengan teori jauh dibawah daerah garis teori, hal ini dikarenan adanya pembacaan nilai percepatan *sprung mass*. Hal ini dikarenakan nilai a(percepatan) mempengaruhi nilai FT(force transmissibility) percobaan 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 dan pada grafik teori hanya untuk Viscous Damping saja, sedangkan secara percobaan terdapat Fricton dan Elektrical Damping

4.3.3.1.1 Standar kenyamanan penumpang pada frekwensi 1,4Hz pada pembebanan Resistor

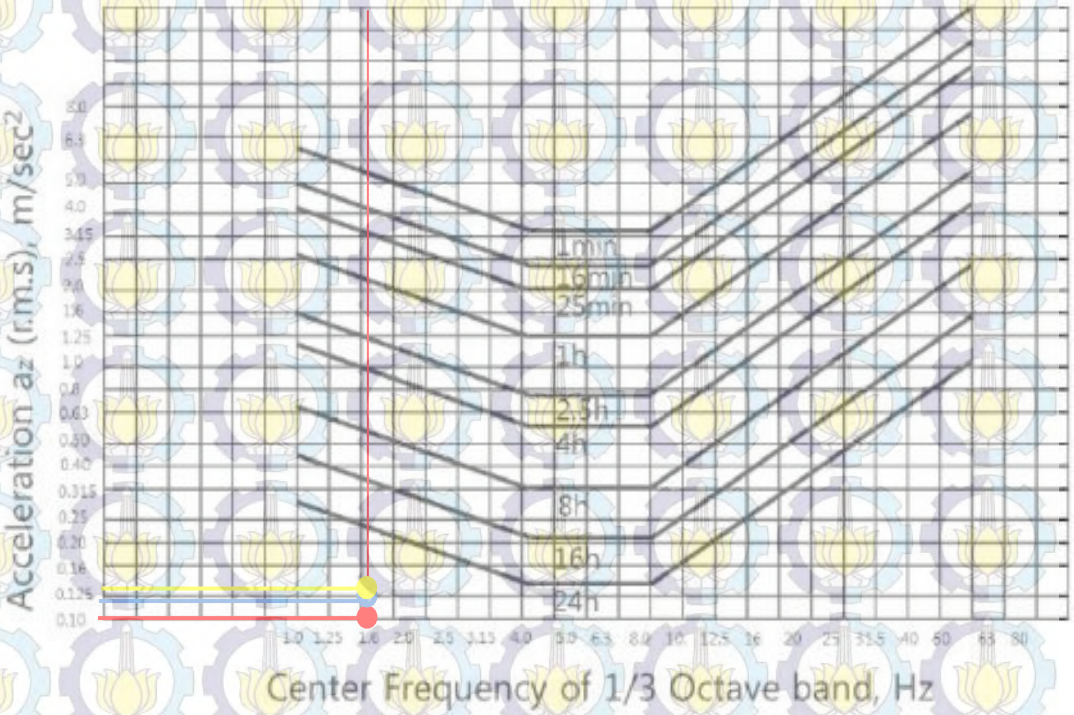


Gambar 4. 31Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,4 Hz. (merah) 83.4 Ohm, (biru) 125 Ohm, (kuning)250Ohm

Pada gambar 4.31 dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO-2631. Dimana pada frekwensi 1,4Hz nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 83.4 Ohm yaitu sebesar 0,074 m/s^2, untuk nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm yaitu sebesar 0,069 m/s^2, dan untuk nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 250 Ohm yaitu sebesar 0,090 m/s^2.

Dari hasil di atas karena nilai RMS nya terlalu kecil maka, dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO 2631 menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,4Hz pada pembebanan 83.4, 125 dan 250 Ohm, berada di kisaran waktu 30 jam. Artinya, penumpang dapat menerima guncangan selama 30 jam untuk frekuensi eksitasi periodik sebesar 1,4Hz..

4.3.3.1.2 Standar kenyamanan penumpang pada frekwensi 1,7 Hz pada pembebanan Resistor

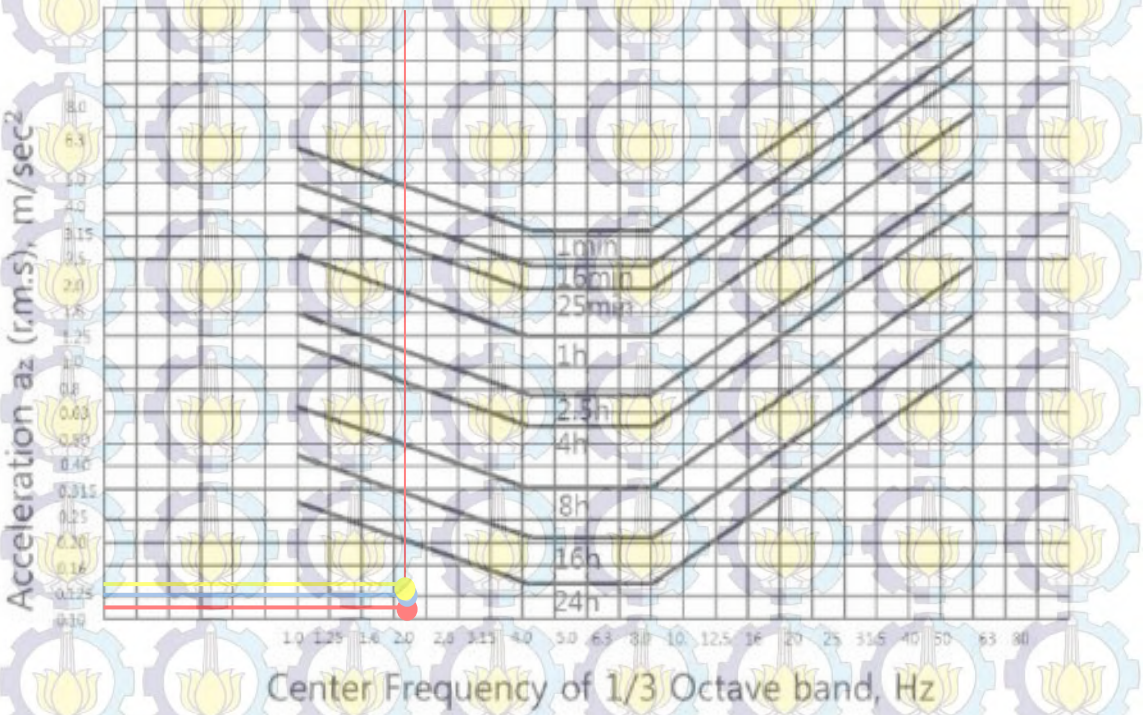


Gambar 4. 32Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,7 Hz. (merah) 83.4 Ohm, (biru) 125 Ohm, (kuning)250Ohm

Pada gambar 4.32, dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO-2631. Dimana pada frekwensi 1,7 Hz nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 83.4 Ohm yaitu sebesar 0.113 m/s2, untuk nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm yaitu sebesar 0.047 m/s2, dan untuk nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 250 Ohm yaitu sebesar 0,114m/s2.

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO 2631 menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,4Hz di pada pembebanan 83.4 Ohm berada di range waktu 30 jam, pembebanan 125 Ohm, berada di range waktu 27 jam, pembebanan 250 Ohm, berada di range waktu 25 jam.

4.3.3.1.3 Standar kenyamanan penumpang pada frekwensi 2,2 Hz pada pembebanan Resistor



Gambar 4. 33Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 2,2 Hz. (merah) 83.4 Ohm, (biru) 125 Ohm, (kuning)250 Ohm

Pada gambar 4.33 dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO-2631. Dimana pada frekwensi 2,2 Hz nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 83.4 Ohm yaitu sebesar 0.085 m/s^2, untuk nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 125 Ohm yaitu sebesar 0.047 m/s^2, dan untuk nilai rms percepatan HEMSA pada saat pembebanan 250 Ohm yaitu sebesar 0.114 m/s^2.

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO 2631 menggunakan HEMSA akibat eksitasi periodik 1,4Hz di pada pembebanan 83.4 dan 250 Ohm, berada di range waktu 30 jam. Artinya, penumpang dapat menerima guncangan selama 30 jam untuk frekuensi eksitasi periodik sebesar 2,2Hz. Sedangkan untuk pembebanan 125 Ohm penumpang dapat menerima guncangan selama 27 jam

4.3.3.1 Force Transmissibility HEMSA akibat Pembebanan Akumulator Terhadap Performa Standar Kenyamanan ISO-2631

Tabel 4.29 Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 0%

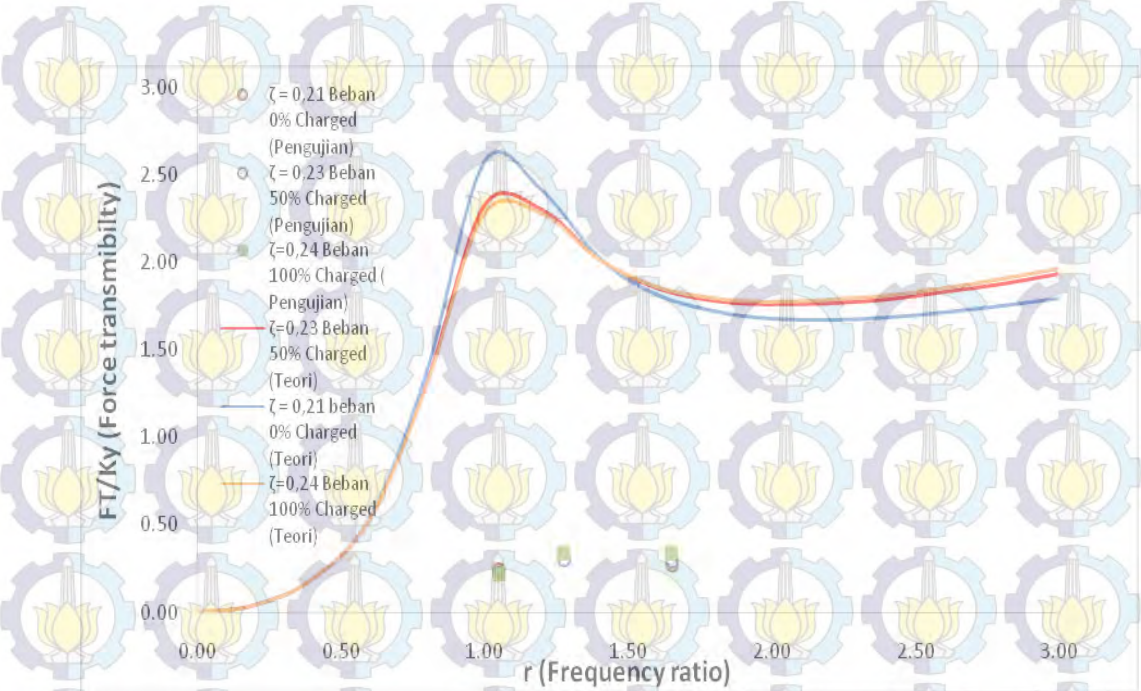
ζ = 0.21 accu 0% charged					
Frekuensi eksitasi	r	w	wn	FT/kY teoritis	FT/kY percobaan
1.4	1.05	8.80	8.36	1.80	0.24
1.7	1.28	10.69	8.36	1.91	0.32
2.2	1.65	13.83	8.36	1.73	0.27

Tabel 4.30 Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 55%

ζ = 0.23 accu 55%charged					
Frekuensi eksitasi	r	w	wn	FT/kY teoritis	FT/kY percobaan
1.4	1.05	8.80	8.36	1.73	0.22
1.7	1.28	10.69	8.36	1.90	0.30
2.2	1.65	12.57	8.36	1.79	0.29

Tabel 4.31 Performa HEMSA teoritis dan percobaan pada saat akumulator terisi 100%

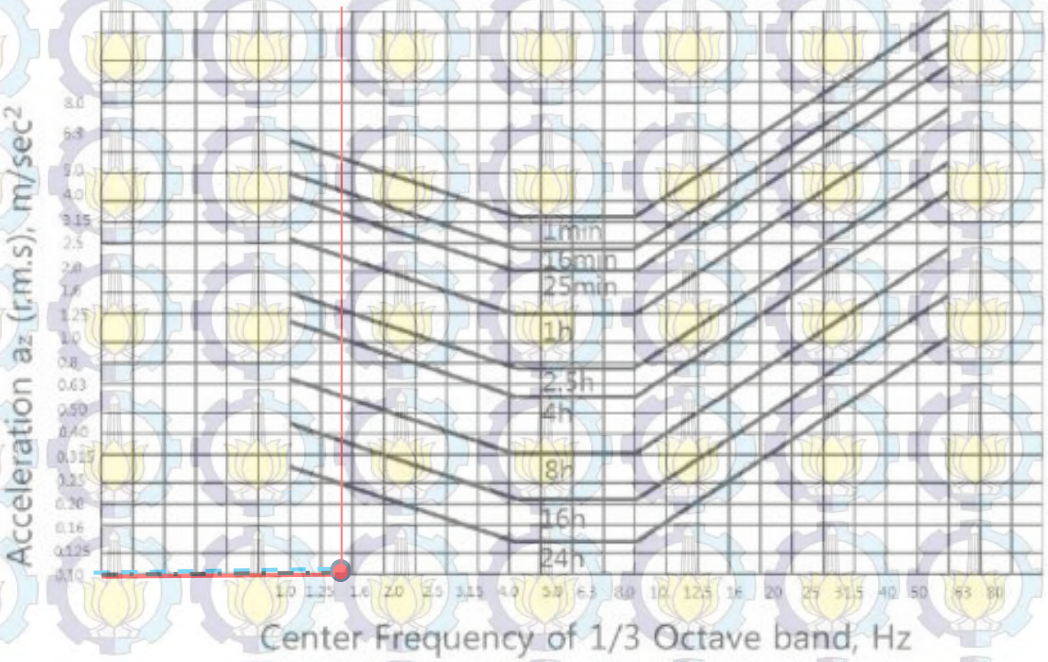
ζ = 0.24 accu 100% charged					
Frekuensi eksitasi	r	w	wn	FT/kY teoritis	FT/kY percobaan
1.4	1.05	8.80	8.36	1.72	0.22
1.7	1.28	10.69	8.36	1.90	0.33
2.2	1.65	12.57	8.36	1.80	0.33



Gambar 4.34 Grafik displacement transimibility (Td) versus frequency ratio ζ0.21. ζ0,23. ζ0,24

Dari hasil grafik pada gambar 4.34 di atas menunjukkan hubungan antara *forcetransmissibility* dengan *frequency ratio*. Proses perhitungan dilakukan dengan membandingkan RMS percepatan *sprung mass* sebagai gaya inersia dan kekakuan pegas yang terdapat pada tiap-tiap *damping ratio*, baik teoritis maupun percobaan. Dapat dilihat dari grafik di atas, nilai . Kenaikan dimulai dari r = 1.05 sampai dengan r = 1.28. Kemudiaan, nilai sama dari r = 1.28 ke r = 1,65. Tetapi *trendline* pada ζ = 0,23 *accu* 55%*charged* percobaan mengalami Kenaikan dimulai dari r = 1.05 ke r = 1.28. Kemudiaan, nilainya turun dari r = 1.28 ke r = 1,65. Tetapi *trendline* pada ζ = 0,24 *accu* 100%*charged* percobaan mengalami Kenaikan dimulai dari r = 1.05 sampai dengan r = 1.28. Kemudiaan, nilai sama dari r = 1.28 ke r = 1,65. Dari fenomena grafik hasil perhitungan Force Transmisibility, perhitungan percobaan dengan teori jauh dibawah daerah garis teori, hal ini dikarenan pada grafik teori hanya untuk Viscous Damping saja, sedangkan secara percobaan terdapat Fricton dan Elektrical Damping.

4.3.3.2.1 Standar kenyamanan penumpang pada frekwensi 1,4Hz pada pembebanan akumulator

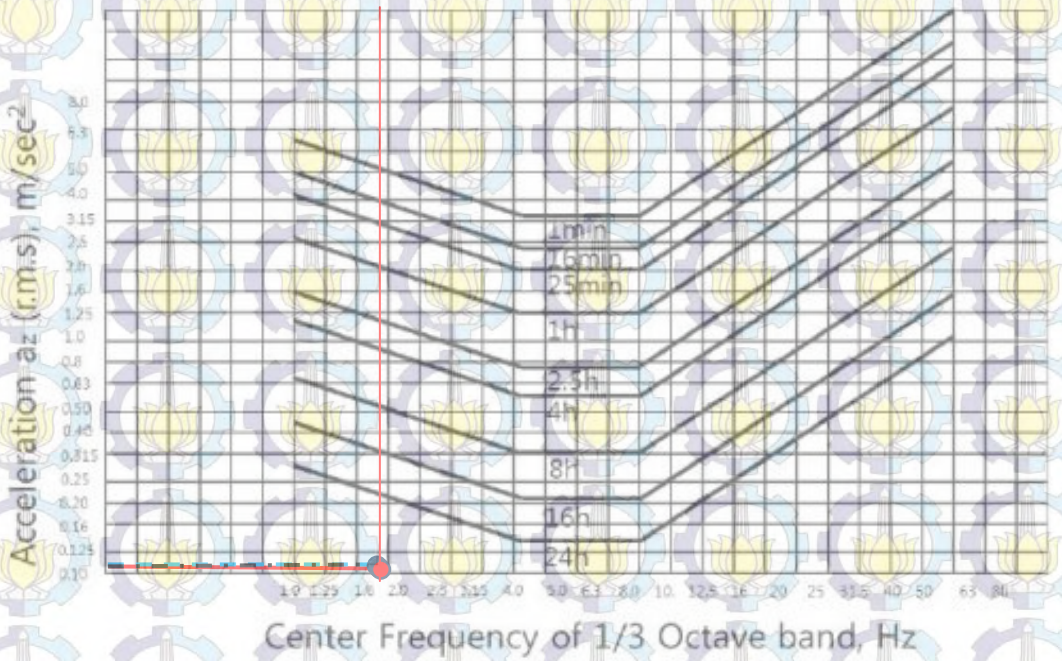


Gambar 4.35Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akumulatorbat eksitasi periodik 1,4 Hz. (merah) accu 0% charged (biru) accu 55%charged (hitam) accu 100% charged

Pada gambar 4.35 dapat dilihat nilai RMS percepatan HEMSA pada saat akumulator 0% charged yaitu sebesar 0.072 m/s^2. lalu nilai RMS percepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 55% yaitu sebesar 0.091 m/s^2. Dan, nilai RMS percepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 100% yaitu sebesar 0.090 m/s^2.

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO 2631 menggunakan HEMSA akumulatorbat eksitasi periodik 1,4Hz di setiap variasi pembebanan akumulator berada di range waktu 30 jam. Artinya, penumpang dapat menerima guncangan selama 30 jam untuk frekuensi eksitasi periodik sebesar 1,4Hz.

4.3.3.2.2 Standar kenyamanan penumpang pada frekwensi 1,7Hz pada pembebanan akumulator

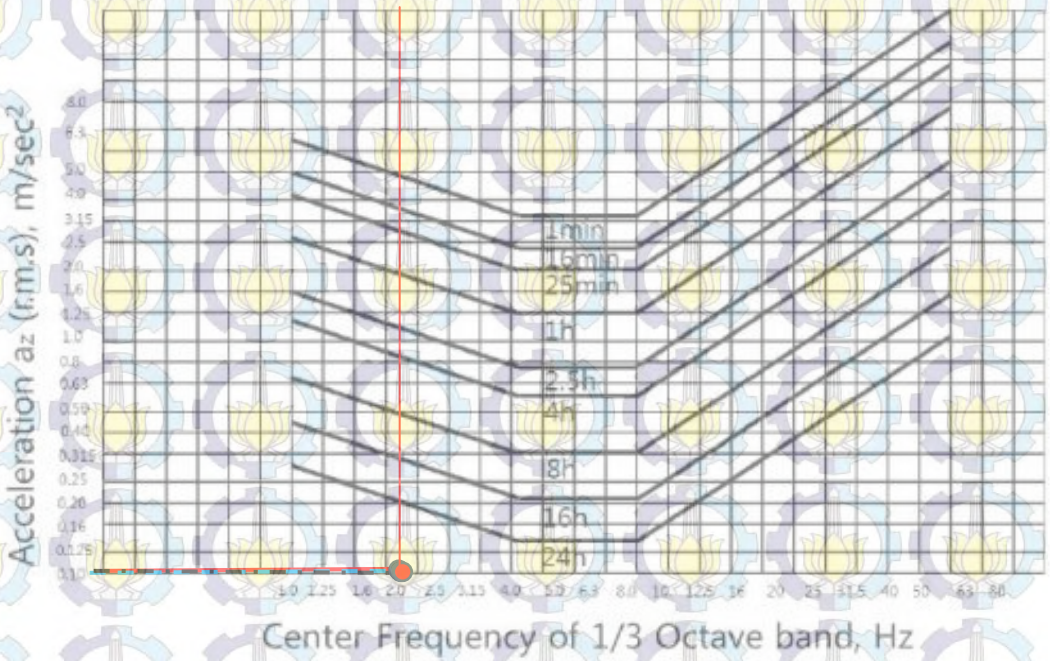


Gambar 4.36Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akumulatorbat eksitasi periodik 1,7 Hz. (merah) accu 0% charged (biru) accu 55%charged (hitam) accu 100% charged

Pada gambar 4.36, dapat dilihat nilai RMS percepatan HEMSA pada saat akumulator 0% charged yaitu sebesar 0.071 m/s^2, nilai RMS percepatan HEMSA pada saat akumulator 55% charged yaitu sebesar 0.065 m/s^2 dan nilai RMS percepatan HEMSA pada saat akumulator 100%charged yaitu sebesar 0.075 m/s^2.

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO 2631 menggunakan HEMSA akumulatorbat eksitasi periodik 1,7Hz di setiap variasi pembebanan akumulator berada di range waktu 30 jam. Artinya, penumpang dapat menerima guncangan selama 30 jam untuk frekuensi eksitasi periodik sebesar 1,7Hz.

4.3.3.2.3 Standar kenyamanan penumpang pada frekwensi 2.2Hz pada pembebanan akumulator



Gambar 4.37 Grafik kenyamanan penumpang menggunakan HEMSA akumulatorbat eksitasi periodik 2.2 Hz. (merah) accu 0% charged (biru) accu 55%charged (hitam) accu 100% charged

Pada gambar 4.37, dapat dilihat nilai RMS percepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 0%sebesar 0.075 m/s^2, nilai RMS percepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 55% yaitu sebesar 0.062 m/s^2 dan nilai RMS percepatan HEMSA pada saat akumulator terisi 100% yaitu sebesar 0.06 m/s^2.

Dari hasil di atas dapat dilihat bahwa kenyamanan penumpang berdasarkan standar ISO 2631 menggunakan HEMSA akumulatorbat eksitasi periodik 1,7Hz di setiap variasi pembebanan akumulator berada di range waktu 30 jam. Artinya, penumpang dapat menerima guncangan selama 30 jam untuk frekuensi eksitasi periodik sebesar 2.2Hz.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil eksperimen pada *Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber* yang telah dilakukan baik pembebanan resistor maupun akumulator, dapat disimpulkan bahwa:

1. Nilai konstanta pegas dari hasil pengujian yang digunakan untuk HEMSA asalah sebesar 17.478 N/m.
2. Nilai konstanta redaman HEMSA *double port* tanpa pembebanan sebesar 768.15 Ns/m. Dengan nilai *compression* sebesar 745.3 Ns/m dan *rebound* sebesar 791.0 Ns/m. Ini berarti HEMSA *double port* dapat dikatakan baik untuk meredam kejut akibat eksitasi impuls dan periodik.
3. Nilai konstanta redaman HEMSA *double port* pembebanan resistor. Pada saat beban 83.4 Ohm sebesar 1139.5 N.s/m, Pada saat beban 125 Ohm sebesar 1063.5Ns/m, Pada saat beban 250 Ohm sebesar 958.8Ns/m. Artinya, semakin semakin besar nilai tahanannya maka nilai konstanta redamannya semakin kecil.
4. Nilai konstanta redaman HEMSA *double port* pembebanan akumulator. Pada saat terisi 0% sebesar 881.4 N.s/m, Pada saat terisi 55% sebesar 997.8Ns/m, Pada saat beban 100% sebesar 1022.5Ns/m. Artinya, Artinya, semakin terisi akumulator nilai konstanta redaman semakin meningkat.
5. Pada pengujian Impuls, nilai percepatan *peak* HEMSA pada saat pembebanan resistor 83.4, 125, dan 250 Ohm berturut-turut sebesar: 0.137 m/s2, 0.120 m/s2, dan 0.039 m/s2.
6. Pada pengujian Impuls, nilai percepatan *peak* HEMSA pada saat pembebanan akumulator terisi 0%, 55%, dan 100% berturut-turut sebesar: 0.058 m/s2, -0.213 m/s2, dan 0.198 m/s2.
7. Energi bangkitan yang diahasilkan HEMSA untuk frekuensi 1,4Hz pada 83.4 ohm = 0,34 watt; 125 ohm= 0,32 watt; 250 ohm=0,30 watt; untuk frekuensi 1,7Hz pada 83.4 ohm = 0,65 watt; 125 ohm= 0,63 watt; 250

ohm=0,58 watt; untuk frekuensi 2,2Hz pada 83.4 ohm = 3.99 watt; 125 ohm= 3.19 watt; 250 ohm=2.99 watt.Semakin besar nilai dari beban listriknya (R), maka daya yang dihasilkan semakin kecil. Dan semakin besar frekuensinya maka daya yang dihasilkan semaki besar

8. Dari grafik kenyamanan penumpang standart ISO 2631, dari keseluruhan variasi pembebanan Listrik, penumpang mampu menerima guncangan dalam rentan waktu 27 jam s/d 30 jam
9. Nilai effisiensi HEMSA pembebanan resistor pada frekuensi 1,4Hz pada pembebanan 83.4, 125, dan 250 Ohm berturut-turut adalah 19.0%, 19.4%, dan 20%. Kemudian pada frekuensi 1,7Hz pada pembebanan 83.4, 125, dan 25 Ohm berturut-turut adalah 24.7%, 25.9%, dan 26.2%. Selanjutnya pada frekuensi 2,2Hz pada pembebanan 83.4, 125, dan 250 Ohm berturut-turut adalah 76.8%, 79.2%, dan 80.5%. Dapat disimpulkan bahwa effisiensi HEMSA tertinggi pada frekuensi 2,2Hz pada pembebanan 250 Ohm
10. Nilai effisiensi HEMSA pembebanan akumulator pada frekuensi 1,4Hz pada saat terisi 0%, 55%, dan 100% berturut-turut adalah 21.7%, 20.5%, dan 15.6%. Kemudian pada frekuensi 1,7Hz pada saat terisi 0%, 55%, dan 100% berturut-turut adalah 28.5%, 27.3%, dan 27.5%. Selanjutnya pada frekuensi 2,2Hz pada saat terisi 0%, 55%, dan 100% berturut-turut adalah 87.6%, 83.6%, dan 85.6%.

5.2 Saran

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

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

Daftar Pustaka

[1] Arziti, Marcos. 2010. *Harvesting Energy From Vehicle Suspension.* Tempere University of Technology: Spanyol.

[2] Bart L.J. Gysen dkk. 2010. *Active Electromagnetic Suspension System for Improved Vehicle Dyamics,* Eindhoven University of Technology, Netherlands.

[3] De Silva, Clarence W. 1999. *Vibration Fundamentals and Practice*. CRC Press : New York.

[4] Evans, Paul, Feb. 2009. MIT students develop Hydraulic Regenerative Shock Absorbers. http://www.gizmag.com/hydraulic-regenerative-shock-absorber-mit/10968/.

[5] ESDM (2014) Indonesia Energy Statistics *http:// www.esdm.go.id/publikasi/ indonesia -energy-statistics-leaflet.html*

[6] Fang, dkk.2013.*Experimental Study of Damping and Energy Regeneration Characteristics of a Hydraulic Electromagnetic Shock Absorber*.Wuhan University of Technology.China

[7] Laksana Guntur, Harus. 2013. *Development and Analysis of a Regenerative Shock Absorber for Vehicle Suspension*. JSME Journal of System Design and Dynamics.

[8] Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D dan Dr. Ir. Bambang Sampurno, MT., *Teknologi Otomotif Edisi Kedua.* Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Indonesia..

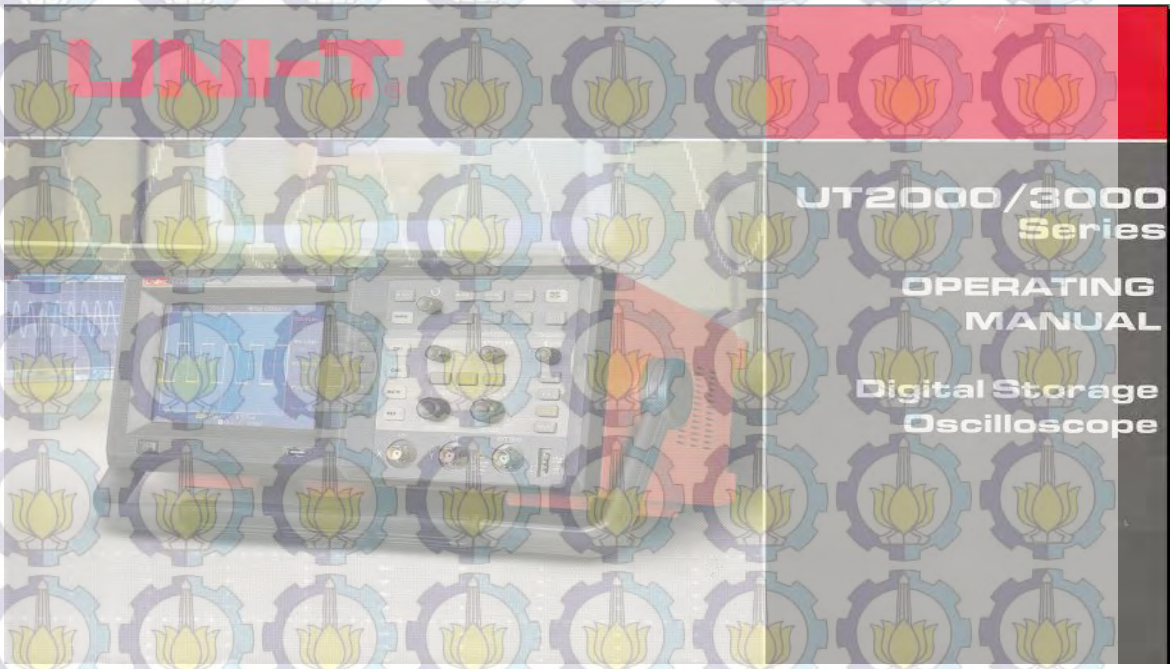
[9] S. Rao, Singiresu. 2004 *Mechanical Vibration*. Prentice Hall PTR. Singapore.

[10] Zuo, Lei dkk. 2010. *Design And Characterization Of An Electromagnetic Energy Harvester For Vehicle Suspension*. New York State University, USA.

[11] Zuo Lei and Pei-Sheng Zhang. 2012. *Energy Harvesting, Ride Comfort, and Road Handling of Regenerative Vehicle Suspensions*. ASME Journal of Vibrations and Acoustics.http: www.ti.com

[12] Zhigang Fang, dkk.2013. *Experimental Study of Damping and Energy Regeneration Characteristics of a Hydraulic Electromagnetic Shock Absorber*.Wuhan University of Technology.China

Lampiran



Appendix A: Technical Indicators

Unless otherwise specified, all technical specifications apply to probes with an attenuation setting of 10X and the UT2000/3000 Series Digital Oscilloscopes. To verify that your oscilloscope meets specifications, it must first meet the following conditions:

- The oscilloscope must have been operating continuously for thirty minutes within the specified operating temperature.
- If the operating temperature changes by more than 5 °C, you must perform the Self Cal operation, accessible through the System Functions menu.

All specifications are guaranteed unless noted "typical".

Chapter 5 - Appendixes

Technical Indicators

Sampling		
Sampling modes	Real time	Equivalent
Sampling rates	500MS/s	25GS/s
Average value	When all channels have made N samplings simultaneously, N is selectable from 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 and 256.	

Input	
Input coupling	DC, AC, GND
Input impedance	1 ±2% MΩ in parallel with 24 pF ±3 pF
Probe attenuation	1X, 10X, 100X, 1000X
Maximum input voltage	400V (DC + AC Peak, 1 MΩ input impedance)
Time delay between channels (Typical)	150ps

Horizontal	
Waveform interpolation	Sin (x) / x
Record length	Saving depth: 2.5k / channel, 2 x 512k sampling dot
Scanning range (s/div)	2ns/div-50s/div (150MHz, 200MHz) 5ns/div-50s/div (100MHz, 80MHz, 60MHz) 10ns/div-50s/div (40MHz) 20ns/div-50s/div (25MHz) At 1-2-5 increment
Accuracy of sampling rate and delay time	±100ppm (any time interval ≥1ms)
Time interval (ΔT) measurement accuracy (full bandwidth)	Single: ± (1 sampling time interval + 100ppm X reading + 0.6ns) > 16 average values: ± (1 sampling time interval + 100ppm x reading + 0.4ns)

UT2000/3000 User Manual

Vertical	
A/D converter	8-bit resolution, two channels sampled simultaneously
Deflection factor VOLTS/DIV Range	2 mV/div ~ 5 V/div at input BNC
Position range	≥ ± 10 div
Analog bandwidth	200MHz, 150MHz, 100MHz, 60MHz, 40MHz, 25MHz
Single bandwidth	80MHz, 60MHz, 40MHz, 25MHz
Selectable analog bandwidth limit (Typical)	20MHz
Low frequency response (AC coupling, -3dB)	≥ 10 Hz at BNC
Rise time (at BNC, typical)	≥1.8ns, ≥2.3ns, ≥3.5ns,≥5.8ns, ≥8.7ns, ≥14n at 200MHz, 150MHz, 100MHz, 60MHz, 40MHz and 25MHz bandwidths respectively.
DC gain accuracy	When vertical sensitivity is 2mV/div, 5mV/div: ±4% (sample or average sampling mode); When vertical sensitivity is 10mV/div~5V/div: ±3% (sample or average sampling mode).
DC measurement accuracy (average sampling mode)	When vertical position is zero and N ≥16: ± (4% x reading + 0.1 div + 1mV) and 2mV/div or 5mV/div is selected; ± (3% x reading + 0.1 div + 1mV) and 10mV/div~ 5V/div is selected. When vertical position is not zero and N ≥16: ± (3% x(reading + vertical shift reading) + (1% x vertical shift reading)] + 0.2div). Set from 2mV/div to 200mV/div plus 2mV; Setup value > 200mV/div to 5V/div plus 50mV.
Voltage difference (Δ V) measurement accuracy (average sampling mode)	Under identical setup and environmental conditions, the voltage difference (ΔV) between two points of the waveform after the average of ≥16 waveforms acquired waveforms is taken: ± (3% x reading + 0.05 div)

Trigger		
Trigger sensitivity	± 1 div	
Trigger level range	Internal	± 5 div from the centre of the screen
	EXT	± 1.6V
	EXT/5	± 8V
Trigger level accuracy (Typical) applied on signals of ≥20ns rise or fall time	Internal	± (0.3 div x V/div) (within ± 4 div from the centre of the screen)
	EXT EXT/5	± (6% default value + 40mV) ±(6% default value + 200mV)
Trigger capability	Normal mode/scanning mode, pretrigger/delayed trigger. Pretrigger depth is adjustable	
Holdoff range	100ns – 1.5s	
Set level to 50% (Typical)	Input signal frequency ≥50Hz	
Edge Trigger		
Edge type	Rise, Fall	
Pulse Trigger		
Trigger mode	(Less than, greater than, or equal) positive pulse; (Less than, greater than, or equal) negative pulse	

Pulse width	20ns – 10ns	
Video Trigger		
Trigger sensitivity (video trigger, Typical)	Internal	2 div peak-to-peak
	EXT	400mV
	EXT/5	2V
Signal format and line/field frequency (video trigger type)	Supports standard NTSC and PAL. Line range: 1-525 (NTSC) and 1-625 (PAL)	
Alternate Trigger		
CH1 Trigger	Edge, pulse, video	
CH2 Trigger	Edge, pulse, video	

Measurement		
Cursor	Manual mode	Voltage difference (ΔV) between cursors, time difference (ΔT) between cursors, ΔT countdown (Hz) (1/ΔT)
	Tracking mode	Voltage or time value of waveform dots
	Auto measurement mode	Allows cursor display during auto measurement
Auto measurement	Measuring peak-to-peak, amplitude, maximum, minimum, top, base, average, root mean square value, overshoot, preshoot, frequency, cycle, rise time, fall time, positive pulse, negative pulse, positive duty ratio, negative duty ratio, delay 1->2↓, and delay 1->2↑.	
Math functions	+,-,x,÷ and inversion	
Saving waveforms	10 groups and 10 setups	
FFT	Window	Hanning, Hamming, Blackman, Rectangle
	Sampling points	1024 points
Lissajous figure	Phase difference	± 3 degrees

UT2000/3000 User Manual

Display	
Display Type	145 mm(5.7 in) diagonal liquid crystal
Display Resolution	320 horizontal by RGB by 240 vertical pixels
Display Colour	Colour (UT2##2C, UT3##2C) Mono (UT2##2B, UT3##2B)
Contrast (typical)	Adjustable
Backlight Intensity (Typical)	300 nit
Display Languages	Simplified Chinese, Traditional Chinese, English

Interface Functions	
Standard setup	1 x USB (D), 1 x USB (H), 1 x RS-232C
Optional	UT2000 Series: LAN; UT3000 Series: GPIB and LAN

Power Source	
Source Voltage	100 - 240 VACRMS, 45-440Hz, CAT II
Power Consumption	Less than 50 W
Fuse	2A, T rating, 250 V

Environmental	
Temperature	Operating: 0°C ~ +40°C
	Non-operating: -20 °C ~ +60°C
Cooling Method	Forced fan cooling
Humidity	+10 ~ +30°C (≤ 95% ± 5% RH)
	+30 ~ +40°C (≤ 75% ± 5% RH)
Altitude	Operating: Under 3,000m
	Non-operating: under 15,000m

Mechanical Specifications			
		UT2000	**UT3000**
Dimension	Width	320 mm	320mm
	Height	150 mm	150mm
	Depth	130mm	292mm
Weight	Instrument only	2.6 kg	4.5 kg
	Including package	4.1kg	6.0kg

IP Protection
ip2 X

Adjustment Interval
Recommended interval of calibration is one year

Appendix B: Accessories for UT2000/3000 Series Oscilloscopes

Standard Accessories

- Two 1.5m, 1:1 (10:1) passive voltage probes.
  Rating is 150V CAT II when the switch is in the 1X position;
  Rating is 300V CAT II when the switch is in the 10X position.
- One international power cord.
- One User Manual
- One Product Warranty Card

Optional Accessories

- UT2000/3000 communications software (USB/RS-232C)
- UT2000 extension module LAN
- UT3000 extension module LAN/GPIB

All accessories (standard and optional) are available by order at your local UNI-T dealers.

Appendix C: Maintenance and Cleaning

General Care

Do not store or leave the oscilloscope where the LCD display will be exposed to direct sunlight for long periods of time. Caution: To avoid damage to the oscilloscope or probes, do not expose them to sprays, liquids, or solvents.

Cleaning

Inspect the oscilloscope and probes as often as operating conditions require. To clean the exterior surface, perform the following steps:

1. Remove loose dust on the outside of the oscilloscope and probes with a soft cloth. Take care to avoid scratching the clear glass display filter when cleaning the LCD.
2. Use a dampened but not dripping soft cloth to clean the oscilloscope. Remember to disconnect power. Use a mild cleaner or water. To avoid damaging the oscilloscope or probes, do not use abrasive chemical cleaner.

Warning: To avoid short circuit or personal injury due to the presence of moisture, please ensure the product is completely dry before reconnecting power for operation.

BIODATA PENULIS

Penulis lahir di Sidoarjo 16 Maret 1983, menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN Pamotan 1 Porong (1990 – 1996), SLTP Negeri 1 Porong (1996 – 1999) dan MA Negeri Sidoarjo (1999 – 2002). Setelah lulus dari bangku Sekolah Menengah Atas penulis melanjutkan studinya di Diploma 3 Teknik Mesin FTI-ITS Bidang Studi Manufaktur (2002 – 2006), Pada tahun (2006-2008) Penulis Sempat bekerja di salah satu perusahaan Group Astra Autopart yaitu PT. IGP Groups Jakarta. kemudian penulis melanjutkan ke program Sarjana S1 melalui program Lintas Jalur Reguler di Teknik Mesin Bidang Studi Desain, FTI-ITS (2008 – 2011). Di samping kuliah penulis juga menjadi staf Pengajar Teknik Mesin di SMK PGRI 1 Surabaya (2008-2010), pada tahun yang sama yaitu (2008-2011) Penulis juga Bekerja di PT. TUSTIKA NAGATA Surabaya dengan jabatan Kepala Divisi Greenscope Energy. Pada Tahun 2010 Penulis mendirikan sebuah Perusahaan dibidang EBT (Energi Baru Terbarukan) dan Menjabat sebagai Direktur Utama hingga sekarang. Pada tahun (2011-2014) Penulis melanjutkan studi S2 Dengan mengambil Bidang Studi Desain Sistem Mekanikal (DSM) dengan judul Penelitian **" STUDI EKSPERIMEN KARAKTERISTIK GETARAN DAN ENERGI LISTRIK BANGKITAN DARI HIDRAULIK-MEKANIK-ELEKTRO MAGNETIC SHOCK ABSORBER AKIBAT VARIASI PEMBEBANAN LISTRIK"**

Nama	:	Mochamad Choifin
Tempat, Tgl lahir	:	Sidoarjo, 16 Maret 1983
Alamat	:	JL.Rajawali 82 Rewwin Waru Sidoarjo Jawa Timur Indonesia
E-mail	:	energisurya_ind@yahoo.com
		choifin_me@tustikanagata.co.id