



TESIS - TM185400

STUDI KOMPARATIF *HYDRO-MAGNETO-ELECTRIC REGENERATIVE SHOCK ABSORBER (HMERSA)* DENGAN DUA *OUTPUT HYDRAULIC GENERATOR* YANG TERPASANG SERI DAN PARALLEL

TAUFIK KURNIAWAN
NRP. 021117 500 50002

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

Program Magister
Bidang Keahlian Desain Sistem Mekanikal
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2021



TESIS - TM185400

STUDI KOMPARATIF *HYDRO-MAGNETO-ELECTRIC REGENERATIVE SHOCK ABSORBER* (HMERSA) DENGAN DUA *OUTPUT HYDRAULIC GENERATOR* YANG TERPASANG SERI DAN PARALLEL

**TAUFIK KURNIAWAN
NRP. 021117 500 50002**

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

**Program Magister
Bidang Keahlian Desain Sistem Mekanikal
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2021**

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (M.T.)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

TAUFIK KURNIAWAN

NRP : 02111750050002

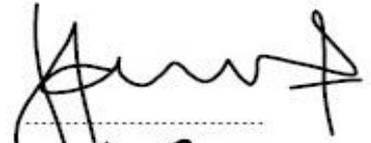
Tanggal Ujian : 02 Maret 2021

Periode Wisuda : April 2021

Disetujui oleh :

Pembimbing:

1. Prof. Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng.
NIP. 19750511 199903 1001



Penguji:

1. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.
NIP. 19700412 199703 2003
2. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D
NIP. 19510605 197803 1002
3. Dr.Eng. Unggul Wasiwitono, S.T., M.Eng.Sc.
NIP. 19780510 200112 1001



Kepala Departemen Teknik Mesin,
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem



Dr. Ir. Atok Setiawan, M.Eng.Sc.

NIP. 19660402 198903 1002

(halaman ini sengaja dikosongkan)

STUDI KOMPARATIF *HYDRO-MAGNETO-ELECTRIC REGENERATIVE SHOCK ABSORBER* (HMERSA) DENGAN DUA *OUTPUT HYDRAULIC GENERATOR* YANG TERPASANG SERI DAN PARALLEL

Nama Mahasiswa : Taufik Kurniawan
NRP : 02111750050002
Dosen Pembimbing : Prof. Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng.

ABSTRAK

Suspensi adalah sekumpulan beberapa komponen yang mempunyai fungsi sebagai peredam getaran pada kendaraan. Beberapa diantaranya adalah pegas dan *Shock absorber*. Khususnya *shock absorber* merupakan komponen penting pada sistem suspensi kendaraan yang berguna untuk meredam osilasi pegas yang diakibatkan kontur jalanan yang tidak rata. *shock absorber* akan memperlambat dan mengurangi besarnya getaran serta gerakan dengan mengubah energy kinetic dari gerakan suspensi menjadi energy panas yang dapat dilepaskan melalui cairan hidrolik ataupun gas. Melalui mekanisme *Regenerative Shock absorber* (RSA), energi terbuang akan dimanfaatkan menjadi energi listrik. Penelitian dan pengembangan mengenai RSA ini terus berlanjut dan telah memberikan hasil yang beragam beberapa diantaranya adalah *rack and pinion regenerative shock absorber*, hidrolik *regenerative shock absorber*, dan *ball screw regenerative shock absorber*.

Pada penelitian ini dirancang dan dianalisa perbandingan antara *Hydro magneto electric regenerative shock absorber* (HMERSA) dengan 2 *output generator* yang terpasang seri dan Parallel. *Shock absorber twin tube* dimodifikasi agar aliran fluida dalam *chamber* hanya searah, kemudian dilewatkan ke empat *check valve* yang menjaga aliran fluida tetap satu arah menuju 2 *hydro generator* yang dipasang pada sistem secara seri dan Parallel. *Hydro generator* merubah aliran linier fluida menjadi gerakan rotasi yang mengakibatkan generator dapat berputar dan menghasilkan energi bangkitan dari efek gerakan osilasi *shock absorber*. Pemilihan dimensi dari pipa dan *check valve* sangat berdampak pada respon dinamis dan energi bangkitan yang dihasilkan. Pada penelitian ini digunakan dimensi *check valve* dan pipa $\frac{1}{4}$ inch dimana energi bangkitan yang dihasilkan 83% lebih baik daripada menggunakan dimensi $\frac{1}{2}$ inch.

HMERSA diuji pada kendaraan minibus dengan 2 tipe jalan yang berbeda yaitu polisi tidur dan *speed trap*. Pada masing-masing tipe jalan terdapat 3 variasi kecepatan. Pada pengujian polisi tidur bangkitan yang dihasilkan adalah sebesar 1,722 Watt dan 1,25 watt untuk HMERSA dengan 2 output generator yang terpasang seri. Dan sebesar 1,08 watt dan 0,91 watt untuk HMERSA dengan 2 output generator yang terpasang Parallel. Perbandingan eksperimental dengan simulasi, energi yang dihasilkan hampir sesuai dengan desain yang dibuat sekitar 98%. Sedangkan pengujian pada *speed trap* masih belum menghasilkan energi bangkitan hal ini bisa disebabkan inputan eksitasi masih belum bisa menggerakkan generator pada sistem. Apabila membandingkan respon percepatan kendaraan antara HMERSA dengan konvensional *shock absorber*, nilai respon percepatan

HMERSA masih lebih tinggi, sehingga dapat dikatakan kemampuan meredam getarannya masih belum maksimal.

Kata kunci : *Hydraulic, regenerative shock absorber*, seri, parallel, suspensi kendaraan

COMPARATIVE STUDY HYDRO-MAGNETO-ELECTRIC REGENERATIVE SHOCK ABSORBER (HMERSA) WITH TWO OUTPUTS HYDRAULIC GENERATOR INSTALLED SERIES AND PARALLELS

By : Taufik Kurniaawan
Student Identity Number : 02111750050002
Supervisor : Prof. Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng.

ABSTRACT

Suspension is a group of several components that have a function as a vibration damper in a vehicle. Some of them are springs and shock absorbers. In particular, the shock absorber is an important component in the vehicle's suspension system which is useful for reducing spring oscillations caused by uneven road contours. The shock absorber will reduce the magnitude of the vibration as well as change the kinetic energy from the suspension movement into heat energy that can be released through hydraulic fluids or gases. Through the Regenerative Shock absorber (RSA) mechanism, wasted energy will be utilized into electrical energy. Research and development of RSA is continues and has given different results, some of them are rack and pinion regenerative shock absorber, hydraulic regenerative shock absorber, and ball screw regenerative shock absorber.

In this study, a comparison between Hydro magneto electric regenerative shock absorber (HMERSA) was designed and analyzed with 2 generator outputs installed in series and parallel. The twin tube shock absorber is modified so that the fluid flow in the chamber is only unidirectional, then it is passed to four check valves that keep the fluid flow in one direction towards the 2 hydro generators installed in the system in series and parallel. The hydro generator converts the linear fluid flow into a rotational motion which causes the generator to rotate and generate harvesting energy from the effects of the shock absorber oscillation movement. The choice of dimensions of the pipe and check valve has an impact on the dynamic response and generated harvesting energy. In this study, the dimensions of check valve and pipe used $\frac{1}{4}$ inch where the energy generated is 83% better than using the $\frac{1}{2}$ inch dimension.

HMERSA was tested on minibuses with 2 different types of roads, speed bumps and speed traps. In each type of road, there are 3 variations of speed. In the bump test the harvesting energy were 1.722 watts and 1.25 watts for HMERSA with 2 generator outputs installed in series. And 1.08 watts and 0.91 watts for HMERSA with 2 parallel output generators. The comparison of the harvesting energy with simulations is almost in accordance with the design around 98%. While test on the speed trap has not yet produced the harvesting energy, this can be due to the excitation input that cannot rotate the generator in the system. When comparing the vehicle acceleration response between HMERSA and conventional

shock absorbers, the value of HMERSA acceleration response is still higher, so it can be said that the ability to reduce vibration is still not optimal.

Keywords: Hydraulic, regenerative shock absorber, series, parallel, vehicle suspension

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “studi komparatif *hydro-magneto-electric regenerative shock absorber* (hmersa) dengan dua *output hydraulic generator* yang terpasang seri dan parallel”. Penyusunan tesis ini dapat terlaksana dengan baik atas bantuan dan kerjasama dari beberapa pihak. Untuk itu pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Ajeng Maharani Sri Pananjung, istri penulis yang tak henti memberi doa dan dukungan agar bisa lulus.
2. Maqil Az Zubayr Hawari, Buah hati penulis yang hadir disaat penulis tengah berjuang menyelesaikan tesis ini.
3. Bapak Abdul Rahman Hidayat dan Ibu Murwaningsih, selaku orang tua penulis dan saudara tercinta Kurniya Wahyu Laili yang tiada henti memberikan doa dan dukungan tiada henti.
4. Bapak Mulyadi dan Ibu Sri Wiyanti selaku bapak dan ibu mertua penulis yang juga tak lelah untuk memberikan doa dan dukungan.
5. Bapak Prof. Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, ST. M.Eng, selaku dosen pembimbing dan dosen wali yang selalu memberi bimbingan serta arahan bagi penulis dalam menyelesaikan tesis ini.
6. Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati ST. MT., Bapak. Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc, Ph.D dan Dr.Eng Unggul Wasiwitono, ST, M.Eng.Sc., selaku dosen penguji tesis yang telah memberi masukan kepada penulis
7. Segenap civitas akademik Departemen Teknik Mesin, rekan-rekan Pascasarjana Teknik Mesin ITS 2017, dan penghuni Lab Vibrasi, terima kasih atas pengetahuan dan pembelajaran yang telah diberikan kepada penulis.
8. Segenap rekan rekan kerja di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. terima kasih atas bantuan yang telah diberikan kepada penulis.

Penulis menyadari tesis ini masih terdapat kelemahan dan membutuhkan penyempurnaan. Oleh sebab itu masukan dari semua pihak sangat penulis harapkan demi kebaikan penelitian ini. Akhirnya penulis berharap semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi siapa saja yang membacanya.

Surabaya, Maret 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN TESIS	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
BAB I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II	6
2.1 Shock Absorber	6
2.1.1 Conventional shock absorber	6
2.1.2 Active shock absorber	8
2.2 Regenerative Shock absorber	9
2.3 Pemodelan dan Simulasi Sistem	12
2.3.1 Pemodelan Dinamis Conventional Shock Absorber	13
2.3.2 Pemodelan Dinamis Sistem <i>Conventional Shock Absorber</i> pada ¼ Kendaraan	16
2.3.3 Pemodelan Dinamis <i>Regenerative Shock Absorber</i> Pada ¼ Kendaraan 19	
BAB III	21
3.1 Metode Penelitian	21
3.2 Studi Literatur	23
3.3 Data Parameter sistem	23
3.3.1 Parameter Shock Absorber	23
3.3.2 Parameter Pegas	24
3.3.3 Parameter Hydraulic Generator	25
3.4 Perancangan Desain HMERSA	26

3.4.1	Prinsip Kerja.....	28
3.5	Perancangan Simulasi HMERSA	29
3.5.1	Perancangan Skema Simulasi HMERSA.....	30
3.6	Pengujian pada Kendaraan Roda 4.....	33
3.7	Analisa Hasil	36
BAB 4	HASIL DAN PEMBAHASAN.....	39
4.1	Hasil Simulasi Karakteristik HMERSA.....	39
4.1.1	Hubungan Dimensi Pipa dengan Koefisien Redaman HMERSA.....	39
4.1.2	Karakteristik HMERSA dengan Menggunakan Pipa ¼ Inch	40
4.1.3	Karakteristik HMERSA dengan Menggunakan Pipa ½ Inch	42
4.1.4	Perbandingan Desain dan Karakteristik HMERSA.....	44
4.2	Hasil Simulasi Pemodelan Seperempat Kendaraan	46
4.2.1	Simulasi dengan Profil Jalan Polisi Tidur.....	46
4.2.2	Simulasi dengan Profil Jalan Speed Trap	64
4.3	Perancangan dan Pembuatan Prototipe HMERSA Seri dan Paralel	75
4.4	Pengujian HMERSA pada Kendaraan	78
4.4.1	Pemasangan HMERSA pada Kendaraan	78
4.4.2	Pemasangan Sistem HMERSA pada Kendaraan Minibus.....	80
4.4.3	Instalasi Peralatan Pengambilan Data.....	82
4.4.4	Pengujian Melewati Polisi Tidur	83
4.4.5	Pengujian Melewati <i>Speed Trap</i>	98
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN.....	105
5.1	Kesimpulan.....	105
5.2	Saran	106
DAFTAR PUSTAKA	107
LAMPIRAN	110
BIODATA PENULIS	111

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data spesifikasi HMERSA	24
Tabel 3.2 Data spesifikasi coil spring	25
Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Koefisien Redaman Terhadap Dimensi Pipa	40
Tabel 4.2 Parameter Simulasi Seperempat Kendaraan	41
Tabel 4.3 Perbandingan Karakteristik HMERSA.....	45
Tabel 4.4 Nilai Acuan Kenyamanan Pengendara Terhadap Percepatan	48
Tabel 4.5 Rekapitulasi Voltase dan Daya Bangkitan Melewati Polisi Tidur HMERSA Seri	85
Tabel 4.6 Rekapitulasi Voltase dan Daya Bangkitan Melewati Polisi Tidur HMERSA Paralel	88
Tabel 4.7 Hasil Respon Dinamis Absorber Konvensional Melewati Polisi tidur .	89
Tabel 4.8 Hasil Respon Dinamis HMERSA Seri Melewati Polisi tidur.....	90
Tabel 4.9 Hasil Respon Dinamis HMERSA Paralel Melewati Polisi tidur	91
Tabel 4.10 Hasil Respon Dinamis HMERSA Paralel Melewati Polisi tidur	95
Tabel 4.11 Data rekapitulasi tegangan hasil simulasi dan eksperimen HMERSA Paralel	96
Tabel 4.12 Data rekapitulasi respon dinamis hasil simulasi dan eksperimen HMERSA Seri	97
Tabel 4.13 Data rekapitulasi respon dinamis hasil simulasi dan eksperimen HMERSA Paralel	97
Tabel 4.14 Hasil Respon Dinamis Absorber Konvensional Melewati Speed Trap	99
Tabel 4.15 Hasil Respon Dinamis HMERSA Seri Melewati Speed Trap	100
Tabel 4.16 Hasil Respon Dinamis HMERSA Paralel Melewati Speed Trap	101
Tabel 4.17 Hasil Respon Dinamis HMERSA Paralel Melewati Speed Trap	103
Tabel 4.18 Data rekapitulasi respon dinamis hasil simulasi dan eksperimen HMERSA Paralel	103

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Shock absorber conventional twin tube	7
Gambar 2.2 Diagram skema regenerative shock absorber	9
Gambar 2.3 Prototype RSA.....	10
Gambar 2.4 Hasil analisa $0.015\sin \pi t$ (“excitation5”) dan $0.008\sin 4\pi t$ (“excitation6”), (a) dan (b) Respon mekanik, (c) dan (d) elektrikal respon, (e) dan (f) perbandingan input dan energi regenerative.....	10
Gambar 2.5 Daya electrical yang dihasilkan oleh HMERSA	12
Gambar 2.6 Pemodelan conventional shock absorber hydraulic system	13
Gambar 2.7 Pemodelan dinamis conventional shock absorber	16
Gambar 2.8 FBD untuk poros generator hidraulis.....	17
Gambar 2.9 Skema RL circuit untuk generator.....	18
Gambar 2.10 Pemodelan dinamis HMERSA pada $\frac{1}{4}$ kendaraan	19
Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan HMERSA	21
Gambar 3.2 Diagram Alir Perancangan HMERSA	22
Gambar 3.3 Shock Absorber Belakang	23
Gambar 3.4 Coil Spring Avanza Belakang	25
Gambar 3.5 (a) Dimensi generator hidraulis (b) Generator hidraulis tampak belakang	26
Gambar 3.6 Perancangan Desain HMERSA dengan Hydraulic generator yang terpasang seri	27
Gambar 3.7 Perancangan Desain HMERSA dengan Hydraulic generator yang terpasang seri	27
Gambar 3.8 Hydraulic Pressure Test	27
Gambar 3.9 Ilustrasi pergerakan fluida saat kompresi.....	28
Gambar 3.10 Ilustrasi pergerakan fluida saat ekspansi.....	29
Gambar 3.11 skema simulasi pada software FluidSim 1 input Shock Absorber dengan 2 output Hydro Generator yang terpasang seri.....	29
Gambar 3.12 skema simulasi pada software FluidSim 1 input Shock Absorber dengan 2 output Hydro Generator yang terpasang Parallel	30
Gambar 3.13 Skema Perhitungan Fluida	30

Gambar 3.14 Nilai Coefisien Minor Loss	32
Gambar 3.15 Lokasi Pemasangan HMERSA Bagian Kanan Belakang Minibus..	33
Gambar 3.16 Profil Polisi Tidur untuk Pengujian	34
Gambar 3.17 Profil Speed Trap untuk Pengujian	35
Gambar 3.18 Osiloskop SIGLENT SHS820	35
Gambar 3.19 Vibration Tester VM-6370.....	36
Gambar 3.20 Penempatan HMERSA Pada Kendaraan	36
Gambar 3.21 Back View Penempatan HMERSA Pada Kendaraan, b) Left view Penempatan HMERSA Pada Kendaraan, c) Below view Penempatan HMERSA Pada Kendaraan	37
Gambar 4.1 Plot Grafik Respon Acceleration HMERSA dengan menggunakan pipa ¼ inch	41
Gambar 4.2 Plot Grafik Respon HMERSA terhadap energi bangkitan yang dihasilkan dengan menggunakan pipa ¼ inch	42
Gambar 4.3 Plot Grafik Respon Acceleration HMERSA dengan menggunakan pipa ½ inch	43
Gambar 4.4 Plot Grafik Respon HMERSA terhadap energi bangkitan yang dihasilkan dengan menggunakan pipa ½ inch	43
Gambar 4.5 (a) Grafik Perbandingan Respon percepatan HMERSA yang dihasilkan dengan menggunakan pipa ½ inch dan pipa ¼ inch (b) Grafik Perbandingan Respon HMERSA terhadap energi bangkitan yang dihasilkan dengan menggunakan pipa ½ inch dan pipa ¼ inch	44
Gambar 4.6 Instalasi HMERSA dengan desain pipa ¼ inch pada kendaraan minibus.	45
Gambar 4.7 Simulasi HMERSA Seri terhadap Respon Dinamis Perpindahan Body Kendaraan Polisi Tidur pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam, (d) 25 km/jam dan (e) 30 km/jam.	48
Gambar 4.8 Simulasi HMERSA Seri terhadap Respon Dinamis Percepatan Body Kendaraan Polisi Tidur pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam, (d) 25 km/jam dan (e) 30 km/jam.	50

Gambar 4.9 Simulasi HMERSA Seri Terhadap Tegangan yang dihasilkan Melewati Polisi Tidur pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam, (d) 25 km/jam dan (e) 30 km/jam.	52
Gambar 4.17 Simulasi HMERSA Seri Respon Dinamis Perpindahan Body Kendaraan Speed Trap pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.....	66
Gambar 4.18 Simulasi HMERSA Seri Respon Dinamis Percepatan Body Kendaraan Speed Trap pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam dan (c) 20 km/jam.....	67
Gambar 4.19 Simulasi HMERSA Seri Daya Bangkitan Melewati Speed Trap pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.	68
Gambar 4.23 Perbandingan Hasil Simulasi HMERSA Seri dan Parallel terhadap Percepatan Vertikal Body Kendaraan melewati Speed Trap pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.	73
Gambar 4.24 Perbandingan Hasil Simulasi HMERSA Seri dan Parallel terhadap Daya Bangkitan Generator 1 pada Kendaraan melewati Speed Trap pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.	75
Gambar 4.26 Modifikasi tabung shock absorber (a) tanpa separator (b) Separator dengan karbon gland packing, (c) Penambahan red silicone	76
Gambar 4.27 Penyambungan dan Re-Painting Absorber	76
Gambar 4.28 Test Kebocoran Absorber yang telah dimodifikasi	77
Gambar 4.29 Oil Filling dan Test Kebocoran HMERSA	78
Gambar 4.32 HMERSA Seri yang Terpasang pada Kendaraan (a) Tampak Samping (b) Tampak Belakang	81
Gambar 4.33 HMERSA Parallel yang Terpasang pada Kendaraan (a) Tampak Samping (b) Tampak Belakang	82
Gambar 4.34 Instalasi Peralatan Pengambilan Data.....	82
Gambar 4.35 Probe Vibrasi Meter.....	83
Gambar 4.36 Voltase dan Daya HMERSA Seri Generator 1 Melewati Polisi Tidur 10 km/jam.....	84
Gambar 4.37 Voltase dan Daya HMERSA Seri Generator 1 Melewati Polisi Tidur 15 km/jam.....	84

Gambar 4.38 Voltase dan Daya HMERSA Seri Generator 1 Melewati Polisi Tidur 20 km/jam.....	84
Gambar 4.39 Perbandingan Voltase Melewati Polisi Tidur untuk Tiap Kecepatan	86
Gambar 4.43 Perbandingan Voltase Melewati Polisi Tidur untuk Tiap Kecepatan	88
Gambar 4.44 Perbandingan Respon Dinamis Absorber Konvensional Melewati Polisi Tidur untuk Tiap Kecepatan	89
Gambar 4.45 Perbandingan Respon Dinamis HMERSA Seri Melewati Polisi Tidur untuk Tiap Kecepatan.....	90
Gambar 4.46 Perbandingan Respon Dinamis HMERSA Parallel Melewati Polisi Tidur untuk Tiap Kecepatan.....	90
Gambar 4.47 Perbandingan Percepatan Konvensional Shock Absorber dengan HMERSA pada Profil Jalan Polisi Tidur	92
Gambar 4.48 Perbandingan Hasil HMERSA Seri dan Parallel terhadap Daya Bangkitan Generator 1 pada Kendaraan melewati Polisi Tidur pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.....	93
Gambar 4.49 Perbandingan Daya Bangkitan Polisi Tidur Antara Simulasi dengan Eksperimen HMERSA Seri untuk Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.....	95
Gambar 4.52 Perbandingan Respon Dinamis Absorber Konvensional Melewati Speed Trap untuk Tiap Kecepatan.....	99
Gambar 4.53 Perbandingan Respon Dinamis HMERSA Seri Melewati Speed Trap untuk Tiap Kecepatan	100
Gambar 4.54 Perbandingan Respon Dinamis HMERSA Parallel Melewati Speed Trap untuk Tiap Kecepatan	100
Gambar 4.55 Perbandingan Percepatan Konvensional Shock Absorber dengan HMERSA pada Profil Jalan Polisi Tidur	102

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan akan sumber energi dimasa depan menjadi salah satu alasan para peneliti mencari berbagai sumber energi alternatif. Salah satunya dalam bidang otomotif, banyak energi yang terbuang ketika kendaraan digunakan. Sekitar 14%-30% energi digunakan untuk menggerakkan kendaraan dan sisanya terbuang begitu saja. Sebesar 68% - 72% sebagai *engine losses*, 4% - 6% sebagai *parasitic losses*, 5% - 6% sebagai *drivetrain losses*, 3% sebagai *idle losses*. Selain energi panas, energi kinetik dan dinamis pada kendaraan mengambil peranan yang cukup besar dalam terbuangnya energi yang seharusnya dapat dimanfaatkan, salah satunya pada sistem suspensi kendaraan.

Sistem suspensi pada kendaraan dirancang dan digunakan untuk menyerap kejutan atau hentakan dari permukaan jalan yang dilewati kendaraan sehingga menghasilkan kenyamanan dalam berkendara ketika melewati jalanan yang bergelombang. Sistem suspensi ini terletak diantara bodi kendaraan dengan roda-roda. Komponen pada sistem suspensi yang bertugas untuk meredam osilasi (gerakan naik turun) pegas saat menerima kejutan atau hentakan dari profil jalan yang bergelombang dinamakan *shock absorber*.

Robert Radonski [1] memaparkan bahwa *shock absorber* memiliki banyak variasi, tetapi pada dasarnya beroperasi dengan cara yang sama. *Shock absorber* dipasang sebagai bagian dari suspensi kendaraan, mereka bekerja bersamaan dengan pegas untuk meningkatkan kenyamanan berkendara, dan juga menambah kemampuan ban untuk mempertahankan traksi dan kontrol pengemudi terhadap mobil. *Shock absorber*, juga disebut sebagai peredam, digunakan untuk menghilangkan energi dalam gerakan vertikal *body* atau roda kendaraan. Gerakan vertikal biasanya disebabkan oleh kondisi jalan, beban yang tidak merata, angin, dan input kontrol dari pengemudi.

Dalam penelitiannya, mahasiswa dari Institute of Automotive Engineering, Shanghai Jiao Tong University, Xuechun Zheng dkk [2] telah mengembangkan *Active shock absorber* dan *Passive shock absorber* menjadi *regenerative shock absorber*. Konsumsi energi dari *Passive shock absorber* sebagai redaman dan kebutuhan energi untuk LQG optimal dari *Active shock absorber* kendaraan yang diteliti, menunjukkan potensi yang baik untuk *Active shock absorber* dengan regenerasi energi getaran. dan berpotensi juga sebagai suspensi listrik masa depan pada kendaraan listrik Namun dalam pengembangannya *shock absorber* juga memperhitungkan dua aspek, seperti dijelaskan oleh Skriptyan [3], pengembangan suspensi regeneratif harus memperhatikan dua aspek, yaitu aspek dari kemampuan sistem meregeneratif energi dan kenyamanan yang diberikan.

Banyaknya energi yang terdisipasi pada kendaraan, membuat penelitian ke arah suspensi regeneratif semakin berkembang. Qiu dkk [4] mengklasifikasikan suspensi regeneratif menjadi dua tipe berdasarkan prinsip kerjanya, yaitu suspensi regeneratif mekanik dan suspensi regeneratif elektromagnetik. Suspensi regeneratif elektromagnetik mentransformasi *shock energi* menjadi energi listrik yang dapat disimpan dan digunakan ulang. Pada penelitiannya, Skriptyan [3] menggunakan tipe suspensi regeneratif elektromagnetik dan mendapatkan energi bangkitan dari sistem HRSA yang telah dibuatnya lalu diaplikasikan pada *quarter car model* dan didapatkan arus maksimal sebesar 0,8 A dan daya bangkitan maksimal sebesar 10 W. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Kurniawan [5] dimana menggunakan tipe suspensi regeneratif mekanik dengan desain RSA (*Regenerative Shock Absorber*) 1:5 dapat menghasilkan daya sebesar 4.365 W. Dari hasil penelitian Berdasarkan analisa komprehensif Lin dan Xuexun [6], tipe *hydraulic electromagnetic suspension* atau lebih dikenal dengan nama *hydraulic regenerative shock absorber* (HRSA), memiliki keuntungan baik dari sisi fleksibilitas sistem hidrolis dan dari sisi regenerasi energinya. Struktur yang sederhana dan tidak membutuhkan banyak komponen menjadikannya mudah untuk diaplikasikan. Pengembangan yang telah dilakukan oleh para peneliti terdahulu menggunakan konsep *1 input 1 output* dan hanya dapat diketahui hasil

dari pengujian pada suspensi kendaraan dengan 1 alat yang telah dibuat dan di uji, untuk keseluruhan suspensi menggunakan asumsi hasil perkalian dari jumlah suspensi yang terdapat pada kendaraan dengan hasil dari alat RSA yang telah dilakukan pengujian. Melalui pengembangan dari HRSA pada penelitian ini menggunakan konsep *2 input 1 output*, diharapkan akan mendapatkan hasil dari energi bangkitan yang lebih baik dari yang sebelumnya dilakukan oleh Skriptyan [3] dan Kurniawan [5] dengan melakukan pengembangan pada pembuatan *prototype* HRSA.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa rumusan masalah, yakni:

1. Bagaimana perbandingan desain dari sistem *hydro-magneto-electric regenerative shock absorber* (HMERSA) dengan *1 input Shock Absorber* dan *2 output Hydro Generator* yang terpasang seri dan Paralel.
2. Bagaimana perbandingan respon kecepatan *Hydro Generator*, torsi *Hydro Generator* dan energi bangkitan dari model dinamis sistem HMERSA dengan *1 input Shock Absorber* dan *2 output Hydro Generator* yang terpasang seri dan Paralel.
3. Bagaimana perbandingan karakteristik energi bangkitan dari *prototype* HMERSA dengan *1 input Shock Absorber* dan *2 output Hydro Generator* yang terpasang seri dan Paralel.
4. Bagaimana perbandingan energi bangkitan hasil simulasi dan eksperimen pada penelitian HMERSA dengan *1 input Shock Absorber* dan *2 output Hydro Generator* yang terpasang seri dan Paralel.

1.3 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mendesain rancangan *hydro-magneto-electric regenerative shock absorber* (HMERSA) dengan *1 input Shock Absorber* dan *2 output Hydro Generator* yang terpasang seri dan Paralel.

2. Memodelkan dan mensimulasikan rancangan *hydro-magneto-electric regenerative shock absorber* (HMERSA) dengan *1 input Shock Absorber* dan *2 output Hydro Generator* yang terpasang seri dan Paralel.
3. Membuat *prototype* dan melakukan pengujian karakteristik *prototype hydro-magneto-electric regenerative shock absorber* (HMERSA) dengan *1 input Shock Absorber* dan *2 output Hydro Generator* yang terpasang seri dan Paralel melalui eksperimen.
4. Membandingkan energi bangkitan yang dihasilkan dari HMERSA dengan *2 output Hydro Generator* yang terpasang seri dan Paralel.
5. Menvalidasi Hasil Experimental *prototype hydro-magneto-electric regenerative shock absorber* (HMERSA) dengan *1 input Shock Absorber* dan *2 output Hydro Generator* yang terpasang seri dan Paralel dengan hasil pemodelan simulasi

1.4 Manfaat

Berdasarkan tujuan di dalam penelitian ini, maka manfaat yang dapat diambil dari penelitian ini adalah :

1. Pengembangan Desain baru HMERSA dengan menggunakan absorber tipe *twin tube* dan membandingkan daya bangkitan pada *1 input Shock Absorber* dengan *2 output Hydro Generator* yang terpasang seri dan Paralel yang belum pernah dibuat sebelumnya.
2. Pengembangan pembuatan *prototype* HMERSA sesuai dengan perancangan desain.
3. Pengujian *prototype* HMERSA dipasang pada kendaraan roda 4 untuk melihat hasil perbandingan kemampuan regeneratif dari *2 output Hydro Generator* yang terpasang seri dan Paralel dan daya redam pada absorber tipe *twin tube*.
4. Hasil penelitian ini dapat dimanfaatkan sebagai acuan pengembangan *hydraulic regenerative shock absorber* (HRSA) berikutnya.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Penelitian ini fokus pada proses pengembangan dan pembuatan *prototype hydro-magneto-electric regenerative shock absorber* (HMERSA) yaitu *1 input Shock Absorber dengan 2 output Hydro Generator*.
2. Pada penelitian ini *object* yang digunakan terdapat perubahan desain *Prototype HMERSA* sebelumnya yaitu menggunakan absorber tipe *twin tube* dan suspensi tipe *coil spring*.
3. Pengujian *prototype hydro-magneto-electric regenerative shock absorber* (HMERSA) dilakukan di Laboraturium dan kendaraan roda 4 jenis minibus.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Shock Absorber

Peredam kejut (*shock absorber*, *shock breaker*, atau *damper*) adalah sebuah alat mekanik yang didesain untuk meredam hentakan yang disebabkan oleh energi kinetik. *shock absorber* adalah bagian penting dalam suspensi kendaraan bermotor, roda pendaratan pesawat terbang, dan termasuk pada mesin industri. *shock absorber* berukuran besar juga digunakan dalam arsitektur dan teknik sipil untuk mengurangi kelemahan struktur akibat gempa bumi dan resonansi.

Dalam kendaraan, *shock absorber* berfungsi untuk mengurangi efek dari kasarnya permukaan jalan. Tanpa *shock absorber*, kendaraan dapat terlempar karena energi yang disimpan dalam suspensi ketika dilepaskan pada kendaraan memungkinkan melebihi gerakan dari suspensi. Kontrol gerakan berlebih pada suspensi tanpa *shock absorber* diredam secara paksa oleh suspensi yang kaku yang dapat menyebabkan ketidaknyamanan dalam berkendara.

shock absorber pneumatik dan hidraulik umumnya berbentuk silinder dengan piston yang bergerak di dalamnya. Silinder harus diisi dengan cairan kental, seperti minyak hidraulik atau udara. *shock absorber* harus mampu menyerap atau menghilangkan energi. Desain *shock absorber* harus dipertimbangkan, oleh karena itu ketika didesain dan dibuat desain *shock absorber* harus diketahui ke arah mana dan berbentuk apa energi itu akan dilepaskan. Umumnya, energi diubah ke dalam bentuk energi panas di dalam cairan hidraulik. Pada tipe *dashpot* yang lain, seperti elektromagnetik, energi yang hilang dapat disimpan dan bisa digunakan kemudian jika diperlukan.

2.1.1 Conventional shock absorber

Shock absorber konvensional berfungsi sebagai peredam getaran dengan cara mengubah energi kinetik menjadi energi panas melalui fluida yang ada di dalamnya. Peredam hidrolis konvensional menggunakan media oli sebagai

fluidanya. Peredam hidrolis ini membantu pegas untuk menghilangkan energi kinetik yang diterima olehnya dari guncangan pada permukaan jalan. Hal ini dikarenakan jika sistem suspensi hanya dilengkapi dengan sebuah pegas saja, maka setiap kendaraan yang menghantam bump akan mengalami pantulan yang naik turun selama beberapa kali pada frekuensi natural pegasnya. Ketika tertekan oleh sebuah bump, sebuah sistem suspensi membutuhkan komponen untuk mendisipasi energi yang tersimpan pada pegas.

Shock absorber terdiri dari beberapa komponen. Komponen tersebut yakni, piston, batang piston, *orifice*, dan tabung silinder. *Shock absorber* konvensional mempunyai dua ruang, yakni ruang atas dan ruang bawah. Kedua ruang tersebut dipisahkan oleh piston yang mempunyai dua buah katup pada *orifice*. Kedua buah *orifice* tersebut adalah *orifice* ekspansi dan *orifice* kompresi. Berikut ini merupakan gambar *shock absorber* konvensional yang ditunjukkan oleh Gambar 2.1.



Gambar 2.1 Shock absorber conventional twin tube

Shock absorber konvensional biasa digunakan pada kendaraan bermotor roda dua, empat ataupun lebih. *Shock absorber* konvensional mempunyai dua siklus, yakni siklus ekspansi dan siklus kompresi. Ketika kendaraan sedang

berjalan pada permukaan jalan yang bergelombang. Kedua siklus ini bekerja secara bersamaan.

2.1.2 Active shock absorber

Sistem yang hanya mampu menyesuaikan koefisien viskositas redaman dari *shock absorber* (tanpa melakukan perubahan pada pegas) disebut sistem suspensi semi-aktif. Suspensi semi-aktif dasar menggunakan katup elektrik dikontrol untuk menyesuaikan aliran cairan hidrolis di dalam *shock absorber* untuk mengubah karakteristik peredamnya. Sebuah inovasi yang lebih baru menggunakan medan magnet yang dihasilkan elektrik untuk secara efektif mengubah viskositas cairan *shock absorber* yang dimana didalamnya terkandung partikel logam yang dapat dipengaruhi oleh medan magnet.

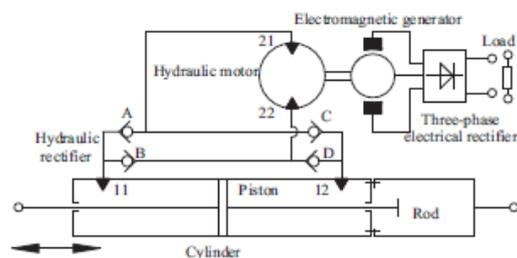
Sistem suspensi aktif terdiri dari komponen-komponen berikut: komputer (unit elektronik kontrol, atau ECU), peredam yang dapat diatur redamannya, serangkaian sensor pada setiap roda dan sensor pada beberapa posisi di mobil, dan aktuator atau servo atas setiap peredam dan pegas. Komponen dapat sedikit berbeda dari produsen ke produsen, tetapi ini adalah bagian dasar yang membentuk sistem suspensi aktif. Sistem ini dapat beradaptasi dengan permukaan jalan ratusan kali per detik (sampai 500 kali per detik), sehingga dengan sangat cepat memberikan kemampuan bagi pengendara untuk dapat beradaptasi dengan kondisi jalan secara cepat pula.

Mobil dan bus dilengkapi dengan *shock absorbers* yang sesuai sehingga penumpang tidak mengalami perjalanan yang bergelombang dan mengganggu kenyamanan. *Shock absorber* adalah perangkat yang mengontrol gerakan osilasi yang tidak diinginkan melalui proses yang dikenal sebagai redaman. *Shock absorber* yang tersedia saat ini menggunakan cairan hidrolis sebagai media peredam dan perilaku peredamnya ditentukan oleh desain dari *Shock absorber*. Penelitian tentang *active shock absorber* pernah dilakukan oleh M D Rao dari Pillai College of Engineering pada tahun 2016. Idealnya, seseorang ingin memiliki *Shock Absorber* yang canggih, yang sifat peredamnya dapat dikontrol dengan elektrikal atau medan magnet yang cocok. Peredam Magnetorheological, yang menggunakan cairan magnetorheological (MR) sebagai media peredam,

memiliki karakteristik di atas tetapi belum berhasil secara komersial. Cairan MR terdiri dari partikel magnetik ukuran besar ($\sim 10 \mu\text{m}$) dan partikel-partikel ini berkumpul dan mengendap selama periode waktu tertentu. Artinya, cairan MR tidak stabil dan sifat reologisnya berubah seiring waktu

2.2 Regenerative Shock absorber

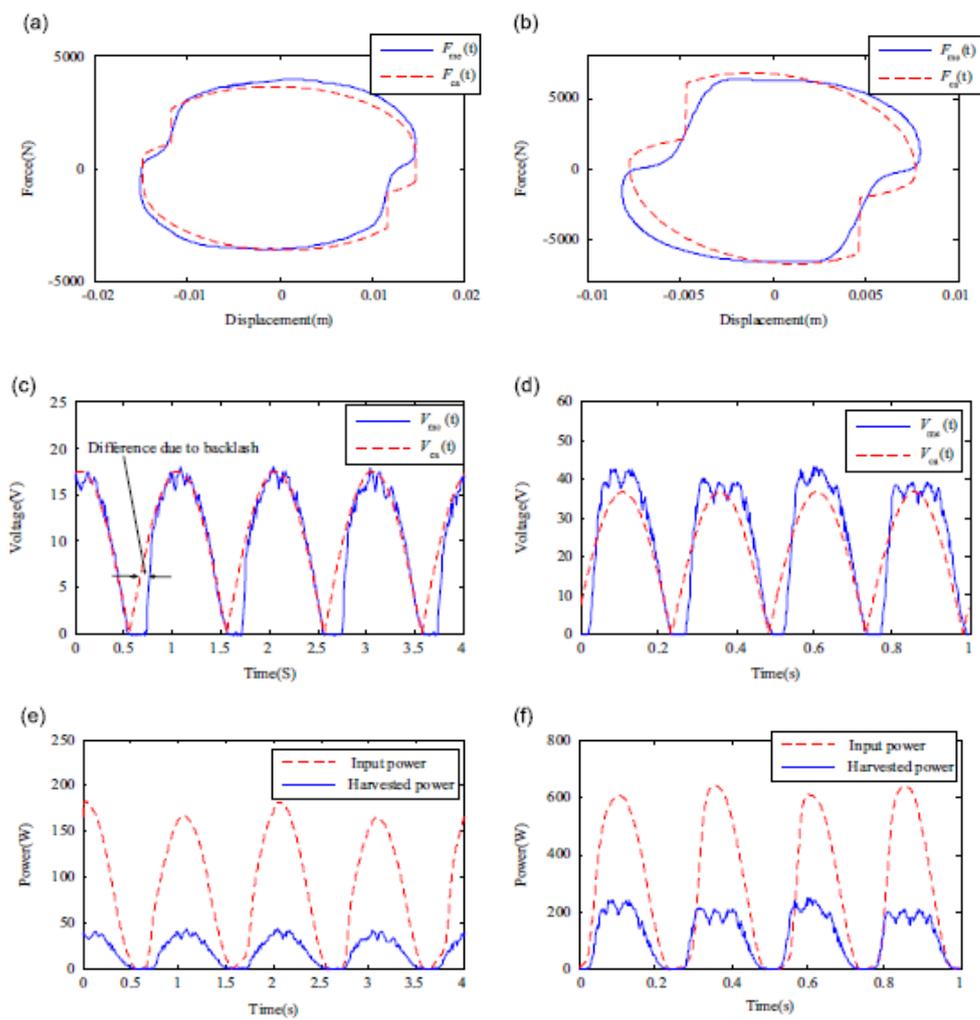
Hydraulic shock absorbers telah banyak digunakan untuk menghilangkan energi kinetik dari guncangan ke lingkungan sekitarnya. Dengan menggunakan gerakan osilasi untuk menggerakkan generator listrik, energi kejutan dapat dikonversi menjadi listrik untuk digunakan kembali. Namun, osilasi dua arah dari generator yang dapat menyebabkan gaya benturan yang besar. Hal ini dapat menyebabkan kinerja regenerasi energi yang memburuk, kelelahan pada beberapa bagian yang bergerak, dan bahkan berakibat kegagalan sistem. Penelitian tentang regenerative shock absorber pernah dilakukan oleh Chuan Li dari Universitas Chongqing Technology and Business pada tahun 2014. Pada penelitian ini menggunakan empat *Check valve* untuk menyearahkan aliran hidrolik dan mengintegrasikan fungsi penyerapan guncangan dan juga meregenerasi energi. Osilasi dua arah akibat dari getaran diubah menjadi rotasi searah untuk menggerakkan generator. Mengikuti konsep yang diusulkan, *prototype shock absorber* untuk meregenerasi energi telah dirancang dan dibuat. Model elektromekanis juga telah dikembangkan untuk menguji perilaku respons perangkat *prototype*.



Gambar 2.2 Diagram skema regenerative shock absorber



Gambar 2.3 Prototype RSA



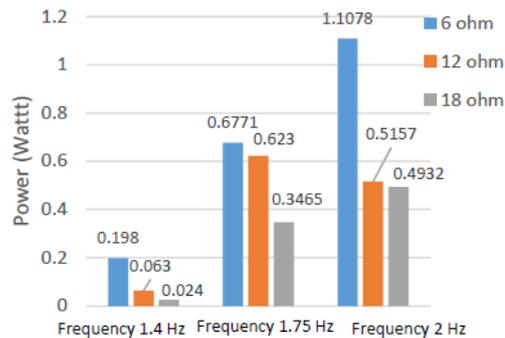
Gambar 2.4 Hasil analisa $0.015\sin \pi t$ (“excitation5”) dan $0.008\sin 4\pi t$ (“excitation6”), (a) dan (b) Respon mekanik, (c) dan (d) elektrik respon, (e) dan (f) perbandingan input dan energi regenerative

Dalam penelitian ini penyearah hidrolik telah digunakan dalam pengembangan perangkat yang terintegrasi untuk penyerapan guncangan simultan dan regenerasi energi. Kejutan dua arah yang bekerja pada dua terminal *hydraulic absorber* diubah menjadi rotasi searah oleh empat *check valve*. Rotasi searah ini kemudian digunakan untuk menggerakkan generator listrik untuk meregenerasi energi kejut. Hal ini meningkatkan keandalan dan daya tahan generator dengan menghilangkan frekuensi kejut yang terbalik. Model elektromekanis juga dikembangkan untuk menganalisis perilaku struktur.

Sebuah prototipe dibuat dan diuji menggunakan tiga pengaturan pengujian dan pendekatan pemuatan siklik (dalam pengaturan pengujian kedua dan ketiga). Hasil pengujian telah menunjukkan bahwa maksimum daya yang dihasilkan adalah 248,8W dengan rata-rata 114,1W yang dapat disimpan. maksimum Efisiensi regenerasi energi adalah 38,81% yang dapat dicapai dengan menggabungkan tahanan beban optimal ($7,5 \Omega$) pada eksitasi harmonik dengan amplitudo 8mm dan frekuensi 2Hz. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa eksitasi getaran dan beban listrik berhubungan langsung dengan respons elektromekanis sistem. Efisiensi regenerasi energi dapat lebih ditingkatkan dengan mengurangi arus hidraulik yang tidak searah, faktor-faktor mekanik dan listrik yang hilang dari sistem. Karena sifat hidrolik dipertahankan dari perangkat terintegrasi, keandalan dan daya tahan yang melekat pada *hydraulic shock absorber* dapat dipertahankan selama penyerapan guncangan dan regenerasi energi dalam aplikasi nyata.

Penelitian Regenerative absorber juga pernah dilakukan oleh Kaspul Anuar dari Universitas Riau pada tahun 2017. Dalam penelitiannya, pengujian akan dilakukan terhadap sistem suspensi yang telah dirancang oleh para peneliti dan diberi nama Hydraulic Motor - Regenerative Shock Absorber (HM RSA). Tes akan dilakukan secara statis dan dinamis. Tujuan dari pengujian statis adalah untuk mendapatkan nilai konstanta pegas dan nilai konstan redaman dari HM RSA. Dalam pengujian dinamis, eksitasi diberikan dalam bentuk periodik dan impuls. Eksitasi periodik bervariasi antara frekuensi 1.4Hz, 1.75 Hz dan 2 Hz, beban resistivitas listrik bervariasi pada eksitasi berkala dengan masing-masing

beban resistif s 6 ohm, 12 ohm, dan 18 ohm. Dari pengujian dinamis, nilai daya listrik dan akselerasi sprung's mass yang dihasilkan oleh sistem suspensi HMERSA pada setiap frekuensi dan resistivitas listrik akan diperoleh. Nilai percepatan massa sprung akan menjadi dasar tentang bagaimana menganalisis kenyamanan berkendara yang dihasilkan oleh sistem suspensi HMERSA.



Gambar 2.5 Daya electrical yang dihasilkan oleh HMERSA

Dari gambar 2.5 di atas, diketahui bahwa daya listrik yang dihasilkan suspensi HMERSA sangat kecil yaitu berkisar antara 0,024 watt hingga 1,1078 watt. Tenaga listrik kecil yang dihasilkan oleh suspensi HMERSA adalah karena amplitudo eksitasi kecil yang digunakan adalah 1,5 cm. Selain itu, rotasi generator listrik dari suspensi HMERSA relatif lambat. Ini berbanding terbalik dengan spesifikasi generator HMERSA yang merupakan pembangkit listrik berkecepatan tinggi. Dilihat dari sisi frekuensi yang meningkat, umumnya daya listrik yang dihasilkan oleh suspensi HMERSA terus meningkat seiring meningkatnya frekuensi. Daya tertinggi yang dihasilkan oleh HMERSA terjadi pada frekuensi eksitasi 2 Hz dan hambatan listrik 6 ohm yaitu 1,1078 watt.

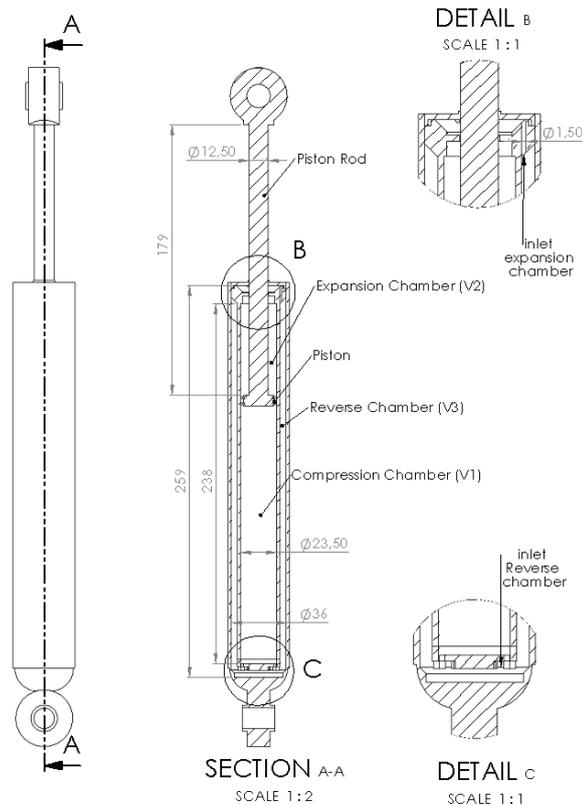
2.3 Pemodelan dan Simulasi Sistem

Penulisan tugas akhir ini dilakukan untuk mengetahui respon dinamis berupa perpindahan, kecepatan, dan percepatan terhadap sistem *Hydro Magneto Electric Regenerative Shock Absorber* (HMERSA). Dalam proses analisis dilakukan beberapa langkah yang dilakukan untuk mendapatkan grafik karakteristik menurut simulasi menggunakan software Simulink Matlab. Yang pertama adalah pembuatan model dinamis dari CSA dan HMERSA beserta persamaan gaya redamnya, lalu pembuatan model dinamis seperempat kendaraan

untuk meninjau gaya-gaya yang ada pada setiap DOF dan menghasilkan persamaan matematis yang diubah dalam bentuk *state variable*.

2.3.1 Pemodelan Dinamis Conventional Shock Absorber

Tipe absorber yang digunakan dalam penelitian ini adalah absorber tipe *twin tube*. Dimana objectnya berbeda dengan tipe absorber sebelumnya yaitu tipe *mono tube*. Pemodelan dinamis untuk sistem suspensi hidraulis dijabarkan pada gambar 2.6.



Gambar 2.6 Pemodelan conventional shock absorber hydraulic system

Persamaan yang digunakan pada sistem *Conventional Shock Absorber*:

- a. Untuk persamaan silinder hidraulis, menggunakan persamaan Bernoulli.

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{p_3}{\rho} + \frac{v_3^2}{2} + gh_3$$

Asumsi $h_1 = h_3$, sehingga persamaan menjadi:

$$\frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} = \frac{p_3}{\rho} + \frac{v_3^2}{2}$$

$$p_1 - p_3 = \frac{\rho}{2}(v_3^2 - v_1^2)$$

$$p_3 = \left(-\frac{\rho}{2}(v_3^2 - v_1^2)\right) + p_1$$

$$\frac{p_3}{\rho} + \frac{v_3^2}{2} + gh_3 = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2} + gh_2$$

Asumsi $h_1 = h_3$, sehingga persamaan menjadi:

$$\frac{p_3}{\rho} + \frac{v_3^2}{2} = \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2}$$

$$p_3 - p_2 = \frac{\rho}{2}(v_2^2 - v_3^2)$$

$$p_3 = \left(\frac{\rho}{2}(v_2^2 - v_3^2)\right) + p_2$$

$$\left(-\frac{\rho}{2}(v_3^2 - v_1^2)\right) + p_1 = \left(\frac{\rho}{2}(v_2^2 - v_3^2)\right) + p_2$$

$$\left(-\frac{\rho}{2}(v_3^2 - v_1^2)\right) - \left(\frac{\rho}{2}(v_2^2 - v_3^2)\right) = p_2 - p_1$$

$$p_2 - p_1 = \frac{\rho}{2}(v_1^2 - v_2^2)$$

$$\Delta p = \frac{\rho}{2}(v_1^2 - v_2^2) \tag{2.1}$$

dimana 1 : saat kondisi awal dan 2 : saat kondisi akhir.

b. Hubungan silinder hidrolik dengan *tube* menggunakan persamaan konservasi massa

- Saat kondisi ekspansi

$$Q_1 = Q_{tube}$$

$$v_1 A_1 = v_{tube} A_{tube}$$

$$v_{tube} = \frac{A_1}{A_{tube}} \times v_1 \tag{2.2}$$

Kemudian dilakukan substitusi persamaan (2.2) ke persamaan (2.1) dengan catatan kondisi 2 pada pipa dan kondisi 1 pada silinder hidrolik sehingga persamaan menjadi:

$$\begin{aligned}\Delta p &= \frac{\rho}{2} (v_1^2 - v_{tube}^2) \\ \Delta p &= \frac{\rho}{2} \left(v_1^2 - \left(\frac{A_1}{A_{tube}} v_1 \right)^2 \right) \\ \Delta p &= \frac{\rho}{2} v_1^2 \left(1 - \left(\frac{A_1}{A_{tube}} \right)^2 \right)\end{aligned}\quad (2.3)$$

Persamaan gaya redaman dari persamaan (2.3), yaitu:

$$\begin{aligned}F_d &= \Delta p \times A_1 \\ F_d &= \frac{\rho}{2} A_1 v_1^2 \left(1 - \left(\frac{A_1}{A_{tube}} \right)^2 \right)\end{aligned}\quad (2.4)$$

- Saat kondisi kompresi

$$\begin{aligned}Q_2 &= Q_{tube} \\ v_2 A_2 &= v_{tube} A_{tube} \\ v_{tube} &= \frac{A_2}{A_{tube}} \times v_2\end{aligned}\quad (2.5)$$

Kemudian dilakukan substitusi persamaan (2.5) ke persamaan (2.1) dengan catatan kondisi 2 pada pipa dan kondisi 1 pada silinder hidrolik sehingga persamaan menjadi:

$$\begin{aligned}\Delta p &= \frac{\rho}{2} (v_2^2 - v_{tube}^2) \\ \Delta p &= \frac{\rho}{2} \left(v_2^2 - \left(\frac{A_2}{A_{tube}} v_2 \right)^2 \right) \\ \Delta p &= \frac{\rho}{2} v_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 \right)\end{aligned}\quad (2.6)$$

Persamaan gaya redaman dari persamaan (2.6), yaitu:

$$\begin{aligned}F_d &= \Delta p \times A_2 \\ F_d &= \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 \right)\end{aligned}\quad (2.7)$$

dimana:

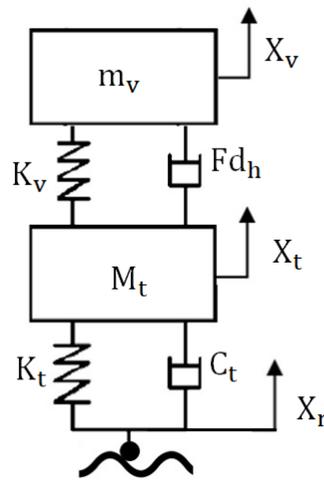
$$A_1 = \frac{\pi}{4} (D^2 - d^2)$$

$$A_2 = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$A_{tube} = \frac{\pi d_{tube}^2}{4}$$

2.3.2 Pemodelan Dinamis Sistem *Conventional Shock Absorber* pada ¼ Kendaraan

Model dinamis dari sistem HMERSA memiliki dua massa. Massa yang pertama (m_v) adalah massa dari body, frame, interior, mesin, dan massa lainnya yang berada diatas suspensi. Sedangkan massa kedua (M_t) merupakan massa suspensi, roda, *bearing*, rem, dan lain-lain.



Gambar 2.7 Pemodelan dinamis conventional shock absorber

Keterangan Gambar:

X_v : *Displacement* massa kendaraan

M_v : Massa Kendaraan

K_v : Koefisien pegas dari Kendaraan

Fd_h : Gaya redam yang dihasilkan dari sistem suspensi konvensional

X_t : *Displacement* massa ban

M_t : Massa ban

K_t : Koefisien pegas dari ban

C_t : Koefisien redaman ban

X_r : *Displacement* kontur jalan

Persamaan matematis dari m_v adalah sebagai berikut:

$$m_v \ddot{x}_v + Fd_h + Fk_v = 0$$

$$m_v \ddot{x}_v + Fd_h + k_v(x_v - x_t) = 0$$

$$m_v \ddot{x}_v = -\frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 \right) - k_v (x_v - x_t)$$

$$\dot{x}_v = \frac{1}{m_v} \left[-\frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 \right) - k_v (x_v - x_t) \right]$$

Persamaan *state variable* dari persamaan 2.8 yaitu:

$$\begin{aligned} \dot{x}_v &= v_v \\ \dot{v}_v &= \frac{1}{m_v} \left[-\frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 \right) - k_v (x_v - x_t) \right] \end{aligned} \quad (2.8)$$

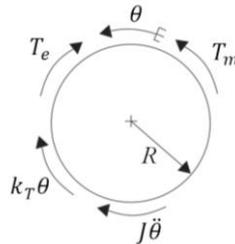
Persamaan matematis dari m_t adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} m_t \ddot{x}_t + Fd_t - Fd_h + Fk_t - Fk_v &= 0 \\ m_t \ddot{x}_t + c_t (\dot{x}_t - \dot{x}_r) - \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 \right) + k_t (x_t - x_r) - k_v (x_v - x_t) &= 0 \\ m_t \ddot{x}_t &= -c_t (\dot{x}_t - \dot{x}_r) + \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 \right) - k_t (x_t - x_r) + k_v (x_v - x_t) \\ \ddot{x}_t &= \frac{1}{m_t} \left[-c_t (\dot{x}_t - \dot{x}_r) + \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 \right) - k_t (x_t - x_r) + \right. \\ &\left. k_v (x_v - x_t) \right] \end{aligned} \quad (2.9)$$

Persamaan *state variable* dari persamaan 2.9 yaitu:

$$\begin{aligned} \dot{x}_t &= v_t \\ \dot{v}_t &= \frac{1}{m_t} \left[-c_t (v_t - v_r) + \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 \right) - k_t (x_t - x_r) + \right. \\ &\left. k_v (x_v - x_t) \right] \end{aligned} \quad (2.10)$$

Perancangan dalam tugas akhir ini menggunakan generator hidraulis dimana motor hidraulis dan generator sudah menjadi satu kesatuan dalam poros yang sama. Tujuannya adalah agar *losses* yang terjadi antara motor dan generator menjadi kecil. Dari model matematis pada gambar 2.8, didapatkan *free body diagram* (FBD) pada gambar 2.10



Gambar 2.8 FBD untuk poros generator hidraulis

Persamaan untuk FBD :

$$J\ddot{\theta} + k_T\theta + T_e = T_m$$

Asumsi inersia poros sangat kecil dan poros sangat *rigid*, sehingga $J\ddot{\theta} \approx 0$ dan $k_T\theta \approx 0$

$$T_e = T_m$$

$$(3.11)$$

$$T_e = \Delta p_m q \eta_m$$

$$\Delta p_m = \frac{T_e}{q \eta_m} \quad (2.12)$$

Pada rangkaian listrik generator, tegangan dan torsi elektrik yang dihasilkan dirumuskan sebagai berikut :

$$U_e = k_v \omega \quad (2.13)$$

$$T_e = k_t I \quad (2.14)$$

$$I = \frac{V_e}{R} \quad (2.15)$$

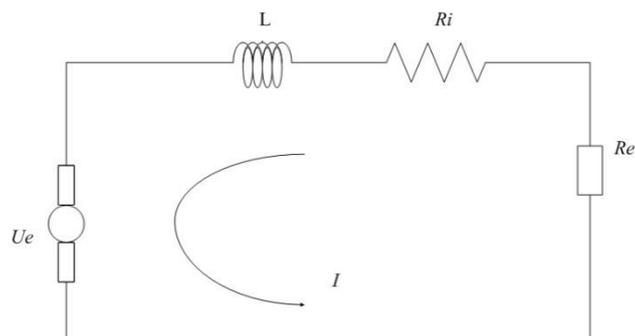
Dimana:

$K_v =$ back emf coefficient

$K_T =$ torque coefficient

$\omega =$ kecepatan putaran motor hidrolik

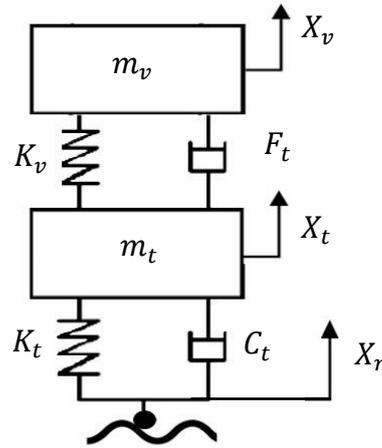
$R =$ hambatan eksternal generator



Gambar 2.9 Skema RL circuit untuk generator

Untuk pemodelan elektrik generator, generator DC 3 fasa dapat dimodelkan menjadi rangkaian RL Circuit atau generator DC seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.8.

2.3.3 Pemodelan Dinamis Regenerative Shock Absorber Pada ¼ Kendaraan



Keterangan Gambar :

- X_v : Displacement massa kendaraan
- M_v : Massa Kendaraan
- K_v : Koefisien pegas dari Kendaraan
- F_t : Gaya redam yang dihasilkan dari sistem HMERSA
- X_t : Displacement massa ban
- M_t : Massa ban
- K_t : Koefisien pegas dari ban
- C_t : Koefisien redaman ban
- X_r : Displacement kontur jalan

Gambar 2.10 Pemodelan dinamis HMERSA pada ¼ kendaraan

- a. Persamaan matematis dari m_v adalah sebagai berikut:

$$m_v \ddot{x}_v + F_t + Fk_v = 0$$

$$m_v \ddot{x}_v + k_v(x_v - x_t) + F_t = 0$$

Memasukkan gaya-gaya yang menjadi peredam piston untuk bergerak

$$m_v \ddot{x}_v = -k_v(x_v - x_t) - \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 \right) - \frac{2 T_e}{q \eta_m} - \rho A_2 h l$$

$$\ddot{x}_v = \frac{1}{m_v} \left[-k_v(x_v - x_t) - \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 \right) - \frac{2 T_e}{q \eta_m} - \rho A_2 h l \right] \quad (2.13)$$

- b. Persamaan matematis dari m_t adalah sebagai berikut:

$$m_t \ddot{x}_t + F d_t - F_t - F k_v + F k_t = 0$$

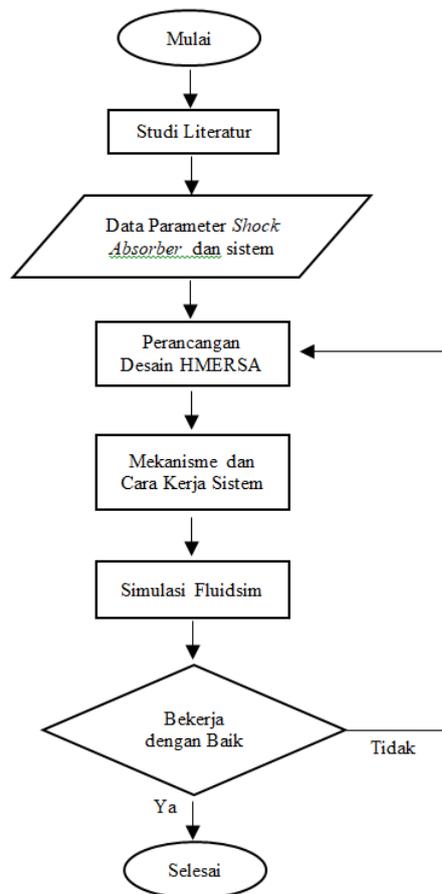
$$m_t \ddot{x}_t + c_t(\dot{x}_t - \dot{x}_r) - \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 \right) - \frac{2 T_e A_2}{q \eta_m} - \rho A_2 h l - k_v(x_v - x_t) + k_t(x_t - x_r) = 0$$

$$\begin{aligned}
m_t \ddot{x}_t &= -c_t(\dot{x}_t - \dot{x}_r) + \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 \right) + \frac{2T_e A_2}{q\eta_m} + \rho A_2 h l \\
&\quad + k_v(x_v - x_t) - k_t(x_t - x_r) \\
\ddot{x}_t &= \frac{1}{m_t} \left[-c_t(\dot{x}_t - \dot{x}_r) + \frac{\rho}{2} A_2 v_2^2 \left(1 - \left(\frac{A_2}{A_{tube}} \right)^2 \right) + \frac{2T_e A_2}{q\eta_m} + \rho A_2 h l + \right. \\
&\quad \left. k_v(x_v - x_t) - k_t(x_t - x_r) \right] \tag{2.14}
\end{aligned}$$

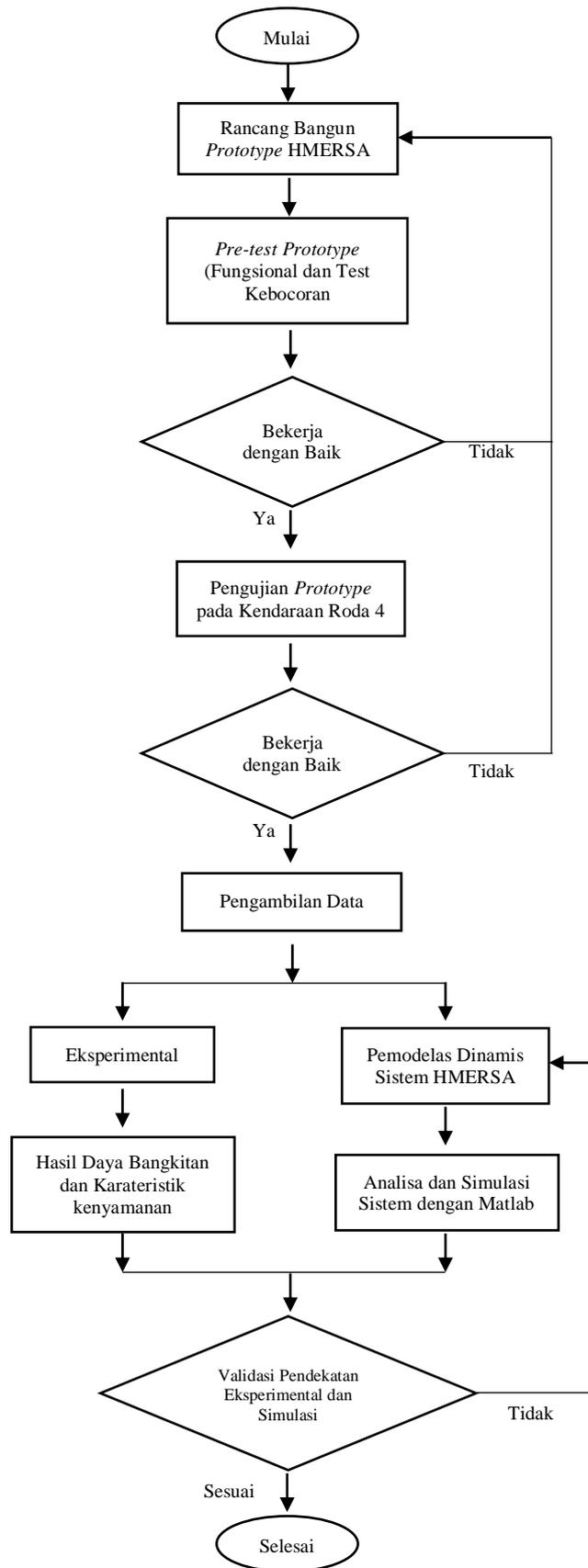
BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Penelitian dan pengembangan *regenerative shock absorber* (RSA) ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik keberhasilan desain terhadap gaya redam pada *shock absorber* dan energi bangkitan dari *hydraulic generator* yang digunakan pada sistem. Untuk memastikan langkah-langkah dalam pembuatan desain hingga pengambilan data sesuai dengan yang diharapkan, diagram alir penelitian dibuat untuk memastikan proses yang dijalankan sesuai prosedur atau tidak. diagram alir berfungsi sebagai kontrol terhadap masalah yang akan timbul saat melakukan penelitian.



Gambar 3.1 Diagram Alir Perancangan HMERSA



Gambar 3.2 Diagram Alir Perancangan HMERSA

3.2 Studi Literatur

Sebelum merancang desain HMERSA langkah pertama yang perlu dilakukan adalah studi literatur tentang penelitian sebelumnya. Hal ini perlu dilakukan agar penembangan desain dari HMERSA menjadi semakin lebih baik dari sebelumnya dan mencari solusi terhadap permasalahan penelitian sebelumnya. Studi literature mencakup menganalisa penelitian sebelumnya dan menyelaraskan dengan teori yang ada sehingga didapat desain yang lebih baik dan lebih bermanfaat dalam penggunaanya

3.3 Data Parameter sistem

Data parameter system sangat diperlukan sebagai acuan perancangan desain dari HMERSA. Hal ini berkaitan dengan ketersediaan tempat dan part part yang akan digunakan dalam system. Informasi ini sangat penting agar dalam instalasi pada kendaraan roda 4 tidak mengalami kendala atau mengganggu fungsi lain dari kendaraan tersebut.

3.3.1 Parameter Shock Absorber

Parameter yang akan digunakan untuk simulasi ini mengacu pada shock absorber bagian belakang dari kendaraan Toyota Avanza type S. Berikut pada Gambar 3.2 adalah shock absorber yang digunakan pada kendaraan tersebut.



Gambar 3.3 Shock Absorber Belakang

Tabel 3.1 Data spesifikasi HMERSA

Parameter	Notasi	Nilai	Satuan
A. Silinder Hidrolik dan Pipa			
1. Diameter <i>bore</i> piston	D_b	23.5	cm
2. Diameter <i>rod</i> piston	D_r	12.5	cm
3. Diameter <i>check valve</i>	D_{cv}	1/4	Inch
4. Diameter Pipa	D_p	1/4	Inch
B. Motor Hidrolik (BMM-8)			
<i>Displacement</i>	Q	8,2	cc/rev
Efisiensi mekanis	η_m	0,90	
Efisiensi volumetris	η_v	0,75	
C. Cairan Hidrolik (ISO VG 10)			
Viskositas kinematik	μ	1,6	mm ² /s
Densitas	ρ	874	kg/m ³

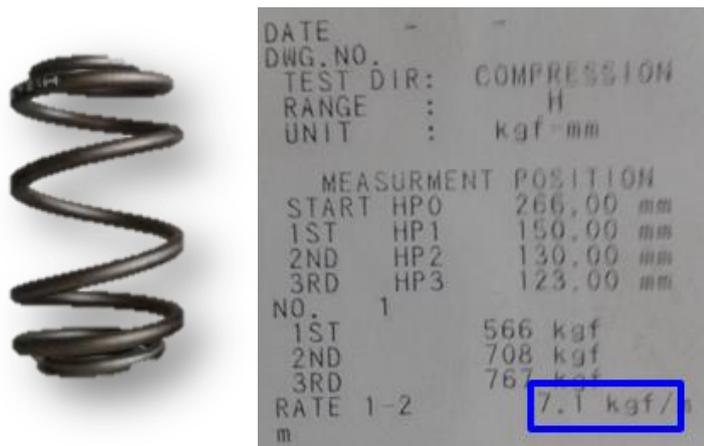
3.3.2 Parameter Pegas

Pegas berfungsi untuk menerima getaran atau guncangan roda akibat dari kondisi jalan yang dilalui dengan tujuan agar getaran atau guncangan dari roda tidak menyalur ke bodi atau rangka kendaraan.

Beberapa tipe pegas yang digunakan pada sistem suspensi:

- Pegas ulir (*coil spring*), jenis yang digunakan adalah pegas ulir tekan atau pegas ulir untuk menerima beban tekan.
- Pegas daun (*leaf spring*), umumnya digunakan pada kendaraan berat atau niaga dengan sistem suspensi dependen.
- Pegas puntir atau dikenal dengan nama pegas batang torsi (*torsion bar spring*), umumnya digunakan pada kendaraan dengan beban tidak terlalu berat.

Dalam penilitan ini *object* yang digunakan adalah pegas tipe ulir atau *coil Spring*. *Coil Spring* memiliki berbagai kelebihan diantaranya pembuatannya yang cukup simple, pemasangan yang tidak membutuhkan banyak tempat dan juga ketangguhannya tidak kalah dengan *leaf spring*. Tipe *coil spring* yang digunakan adalah tipe *double pigtail* dimana kedua ujungnya seperti ekor babi. Berikut data parameter *coil spring* dengan *part number* 48231-BZ440.



Gambar 3.4 Coil Spring Avanza Belakang

Tabel 3.2 Data spesifikasi coil spring

Part Number 48231-BZ440			
Deskripsi			
Setting & Testing Load Result			
Condition	Length Of Spring (mm)	Note	Load at (N)
Free Height	266	Spring dengan tanpa Beban	0
Rebound	258	Spring diinstal pada kendaraan dengan beban Chasis	373
Set	206	Spring diinstal pada kendaraan dengan beban total kendaraan	2765,48
Jounce	123	Spring diinstal pada kendaraan dengan beban total kendaraan + Full Passanger	8531,79
Solid	64,5	Spring diinstal pada kendaraan dengan beban maximum yang mampu ditahan oleh spring	12572,13

3.3.3 Parameter Hydraulic Generator

Generator merupakan alat yang dapat merubah energi mekanik menjadi energi listrik biasanya menggunakan induksi elektromagnetik. Sebagaimana generator listrik bekerja, prinsipnya berkebalikan dengan motor listrik. Berdasarkan arus yang dihasilkan, generator dapat dibedakan menjadi dua macam, yaitu generator AC dan generator DC. Generator AC menghasilkan arus bolak-balik (AC) dan generator DC menghasilkan arus searah (DC).



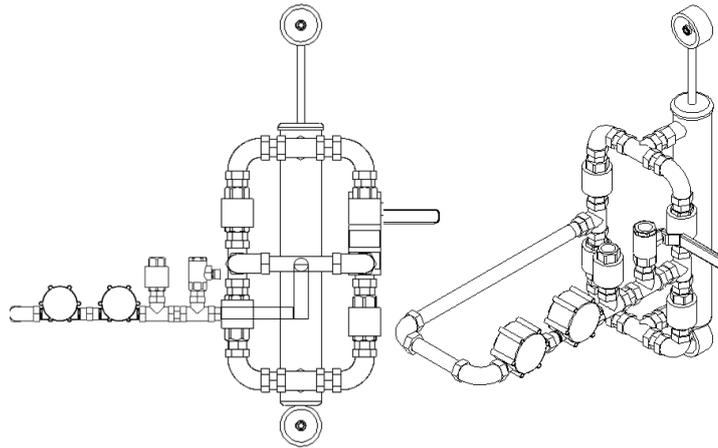
Gambar 3.5 (a) Dimensi generator hidraulis (b) Generator hidraulis tampak belakang

3.4 Perancangan Desain HMERSA

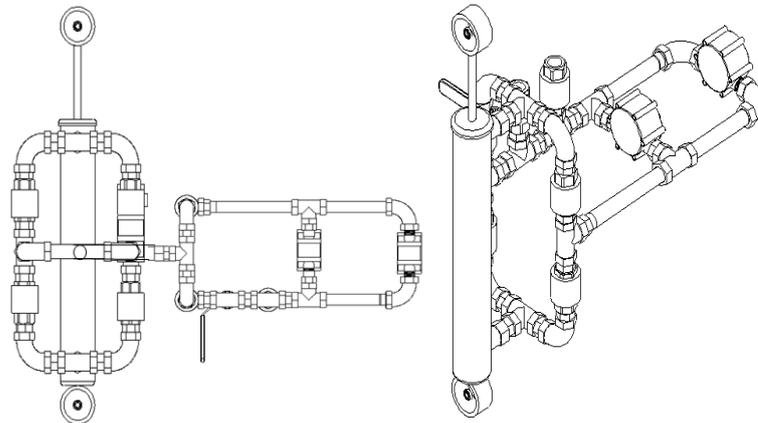
Desain HMERSA dirancang berdasarkan tema yang diangkat pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan 1 input *Hydraulic shock absorber* dan 2 output *Hydraulic generator* yang terpasang seri dan Paralel. Dalam system ini generator dan motor hidrolik menjadi satu kesatuan untuk menghindari banyaknya *loses* yang terjadi pada system. *Hydraulic generator* akan digerakkan melalui putaran aliran fluida yang diakibatkan oleh pergerakan silinder hidrolik akibat gaya eksitasi dari luar.

Untuk dapat menyearahkan putaran dari *Hydraulic generator* digunakan system hydraulic rectifier system ini menggunakan check valve untuk menyearahkan aliran dalam *system hydraulic*. Fungsi dari *check valve* ini supaya aliran dapat terhenti dan mengikuti jalur aliran rangkaian yang sudah ditentukan dan dirancang.

Tujuan dari perancangan system ini adalah untuk menyempurnakan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Skryptian [3]. Pada penelitiannya Skryptian juga menggunakan prinsip kerja hidrolik untuk menggerakkan motor hidrolik yang dihubungkan dengan generator. Pengembangan yang dilakukan pada penelitian ini adalah penambahan dan perubahan hydraulic generator yang berjumlah 2 dan dipasang seri dan Paralel untuk mengetahui perbandingan energi bangkitan dari ke 2 sistem mana yang lebih baik.



Gambar 3.6 Perancangan Desain HMERSA dengan Hydraulic generator yang terpasang seri



Gambar 3.7 Perancangan Desain HMERSA dengan Hydraulic generator yang terpasang seri

Untuk meyakinkan desain sudah aman dan sesuai maka sebelum digunakan desain akan diuji menggunakan Hydraulic pressure test dengan tekanan sebesar 3 bar. Berikut alat uji yang akan digunakan.

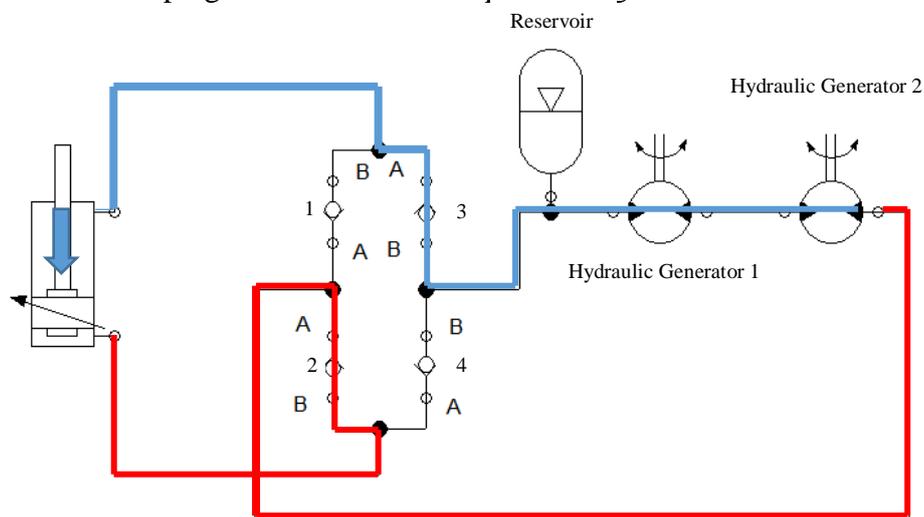


Gambar 3.8 Hydraulic Pressure Test

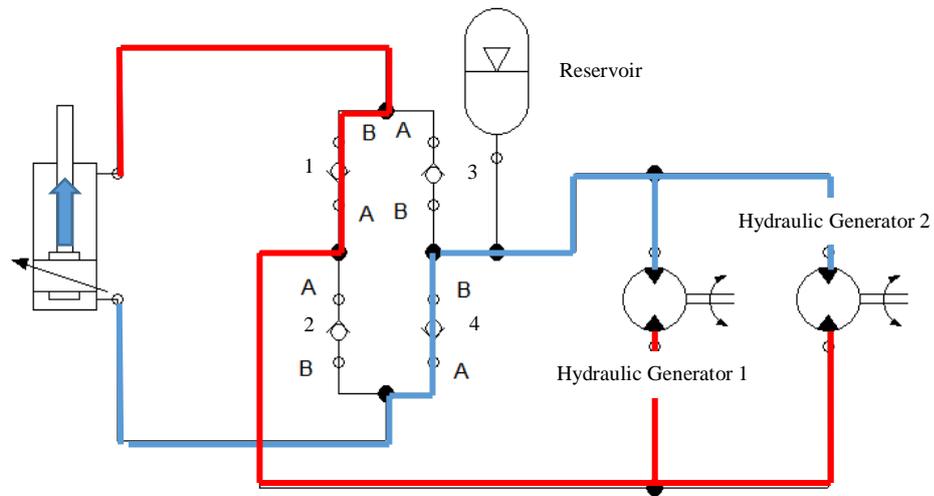
3.4.1 Prinsip Kerja

Kondisi piston bergerak kebawah atau disebut kompresi, fluida yang terdapat pada silinder hidrolik 1 keluar menuju *check valve* (katup searah) nomor 2. pada katup searah nomor 4, fluida tertahan (efek penggunaan katup searah). Aliran fluida pada katup searah nomor 2 diteruskan ke Hydraulic generator. Aliran inilah yang membuat Hydraulic generator berputar dan menghasilkan energi bangkitan listrik. Aliran yang keluar dari motor hidrolik diteruskan ke katup searah nomor 3. Aliran ini terus didorong menuju tabung silinder hidrolik. Berikut ini adalah ilustrasi proses aliran fluida saat piston bergerak ke bawah (kompresi) yang ditunjukkan oleh Gambar 3.7.

Pada saat piston bergerak keatas (ekspansi), fluida yang terdapat pada silinder keluar menuju katup searah nomor 1. Fluida hanya bisa melewati katup searah nomor 1. pada katup searah nomor 3, fluida tertahan. Aliran fluida pada katup searah nomor 1 ke Hydraulic generator. Aliran inilah yang membuat Hydraulic generator berputar dan menghasilkan energi bangkitan listrik. Aliran ini terus didorong menuju tabung silinder hidrolik 1. Berikut pada Gambar 3.8 ditunjukkan alur dari pergerakan fluida ketika piston bergerak ke atas.



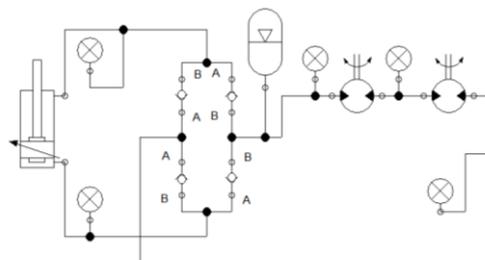
Gambar 3.9 Ilustrasi pergerakan fluida saat kompresi



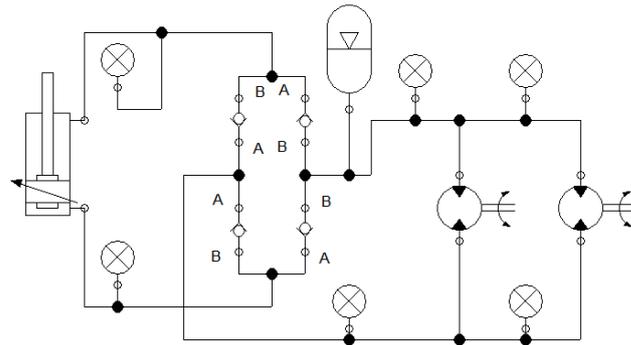
Gambar 3.10 Ilustrasi pergerakan fluida saat ekspansi

3.5 Perancangan Simulasi HMERSA

Pada tahap ini dibuat perancangan simulasi dari *hydro-magneto-electric regenerative shock absorber* (HMERSA) yaitu *1 input Shock Absorber dengan 2 output Hydro Generator* yang terpasang seri dan Paralel. Software aplikasi yang digunakan dalam simulasi HMERSA ini adalah *software* FluidSim. Langkah pertama yang dilakukan adalah dibuatnya skema rangkaian simulasi dari HMERSA pada FluidSim dimana ini mengacu dari perancangan disain HMERSA yang telah dibuat. Kemudian dibuat skema simulasi pada *software* FluidSim menggunakan komponen yang terdapat pada *library software* FluidSim. Langkah selanjutnya adalah dimasukkannya nilai-nilai parameter yang digunakan pada komponen simulasi. Langkah terakhir adalah melakukan pengujian data hasil simulasi dan membuat analisa juga laporannya.



Gambar 3.11 skema simulasi pada software FluidSim 1 input Shock Absorber dengan 2 output Hydro Generator yang terpasang seri



Gambar 3.12 skema simulasi pada software FluidSim 1 input Shock Absorber dengan 2 output Hydro Generator yang terpasang Paralel

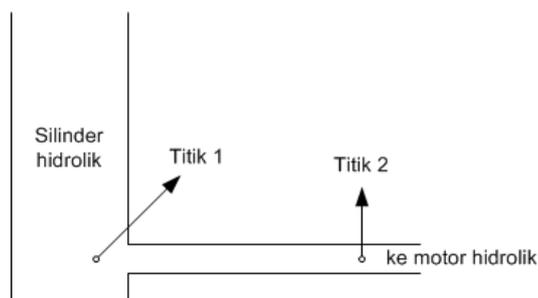
3.5.1 Perancangan Skema Simulasi HMERSA

Perancangan skema simulasi HMERSA yaitu *1 input Shock Absorber dengan 2 output Hydro Generator* yang terpasang seri ditunjukkan Gambar 3.9. dan Skema *1 input Shock Absorber dengan 2 output Hydro Generator* yang terpasang Paralel ditunjukkan Gambar 3.10. Dari simulasi ini nanti akan didapatkan data dari pergerakan piston silinder hidrolik, tekanan pada silinder hidrolik ketika terjadi ekspansi dan kompresi, kecepatan motor hidrolik dan arah aliran dari rangkaian hidrolik pada motor hidrolik.

Fluida diasumsikan sebagai *incompressible fluid* (massa jenis nya tetap / konstan) maka debit pada titik 1 (silinder hidrolik) sama dengan debit pada titik 2 (pipa inlet motor hidrolik), sehingga :

$$Q_1 = Q_2 \quad (3.1)$$

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (3.2)$$



Gambar 3.13 Skema Perhitungan Fluida

Luas permukaan silinder hidrolik (A_1), dimana D_1 adalah diameter silinder hidrolik:

$$A_1 = \frac{\pi}{4} D_1^2 \quad (3.3)$$

Luas permukaan pipa inlet motor hidrolik (A_2) :

$$A_2 = \frac{\pi}{4} D_2^2 \quad (3.4)$$

Kecepatan di titik 1 (v_1), dimana x adalah amplitude, t adalah waktu :

$$v_1 = \frac{x}{t} \quad (3.5)$$

Sehingga kecepatan di titik 2 (v_2):

$$v_2 = \frac{A_1 v_1}{A_2} \quad (3.6)$$

Persamaan Bernouli :

$$\frac{p_1}{\rho} + \alpha \frac{v_1^2}{2} + gh_1 = \frac{p_2}{\rho} + \alpha \frac{v_2^2}{2} + gh_2 + h_T \quad (3.7)$$

Persamaan *head loss* total (h_T) :

$$h_T = h_l + h_{lm} \quad (3.8)$$

Persamaan *head loss mayor* (h_l) aliran laminar, L adalah panjang pipa :

$$h_l = \frac{64 L v_2^2}{Re D_2} \quad (3.9)$$

Persamaan *reynold number* (Re), dimana ν adalah viskositas fluida :

$$Re = \frac{v_2 D_2}{\nu} \quad (3.10)$$

Substitusikan persamaan (3.10) ke persamaan (3.9), sehingga persamaan h_l menjadi:

$$h_l = 32\nu \frac{L v_2}{D_2^2} \quad (3.11)$$

Persamaan *head loss minor* (h_{lm}), dimana Le/D adalah *Minor Losses* dari tabel *representative dimensionless equivalent lengths (Le/D) for valves and fittings data* :

$$h_{lm} = f \frac{L_e v_2^2}{D} \quad (3.12)$$

atau

$$h_{lm} = K \frac{v_2^2}{2} \quad (3.13)$$

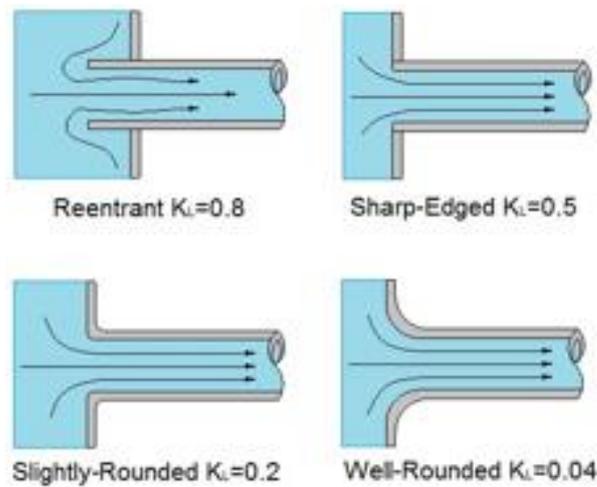
K adalah *coefisien minor loss* yang didapatkan dari Gambar 3.8 berikut ini:

Dari persamaan 3.11, 3.12 dan 3.13 didapatkan *head loss total* adalah sebagai

$$\text{berikut : } h_T = h_l + h_{lm1} + h_{lm2}$$

Dimana, h_{lm1} : nilai dari *head loss minor*

h_{lm2} : nilai dari *minor losses* pada *entrance pipe*



Gambar 3.14 Nilai Coefisien Minor Loss

Jika dari persamaan (3.7) diasumsikan tidak ada perbedaan ketinggian pada kedua titik maka persamaan untuk mencari nilai p_2 (tekanan / *pressure*) adalah :

$$\begin{aligned} \frac{p_2}{\rho} &= \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2} - \frac{v_2^2}{2} - h_T \\ p_2 &= p_1 - \rho \left(\frac{v_2^2 - v_1^2}{2} \right) - \rho h_T \end{aligned} \quad (3.14)$$

Dengan perhitungan secara statis, nilai gaya redaman (F_d) yaitu :

$$F_d = W = m \cdot g$$

$$\text{Nilai tekanan pada titik 1 (} p_1 \text{): } p_1 = \frac{F_d}{A_1}$$

$$\text{Torsi motor hidrolik (} T_{mh} \text{), dimana } p_2 \text{ nilai tekanan di titik 2 : } T_{mh} = \frac{p_2 d}{2\pi}$$

$$\text{Flowrate (} Q \text{): } Q = v_1 \cdot A_1$$

$$\text{Shaft speed motor hidrolik (} n_{mh} \text{): } n_{mh} = \frac{Q}{d}$$

$$\text{Daya motor hidrolik (} P_{mh} \text{): } P_{mh} = T_{mh} \cdot n_{mh}$$

3.6 Pengujian pada Kendaraan Roda 4

Pengujian pada kendaraan minibus menggunakan Toyota Avanza tipe s. HMERSA dipasang pada suspensi kanan belakang. Gambar 3.15 menunjukkan lokasi pemasangan HMERSA. Terdapat *Shaft Balancer* yang mengakibatkan berkurangnya akses dalam pemasangan HMERSA. Kendaraan minibus akan melewati 2 tipe jalan yaitu polisi tidur dan *speed trap*. Lokasi pengambilan data adalah di sekitar Jl Kenjeran, Surabaya. Masing-masing variasi kecepatan akan diambil datanya sebanyak 1 kali.

Sebelum dilakukan pemasangan HMERSA pada kendaraan minibus, akan dilakukan perekaman respon dinamis kendaraan dengan menggunakan konvensional *shock absorber* pada masing-masing variasi kecepatan dan tipe jalan. Sehingga akan dibandingkan respon dinamis kendaraan antara konvensional *shock absorber* dengan HMERSA. Berikut merupakan tipe jalan yang digunakan dan variasi kecepatan uji:

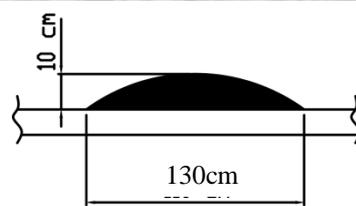


Gambar 3.15 Lokasi Pemasangan HMERSA Bagian Kanan Belakang Minibus

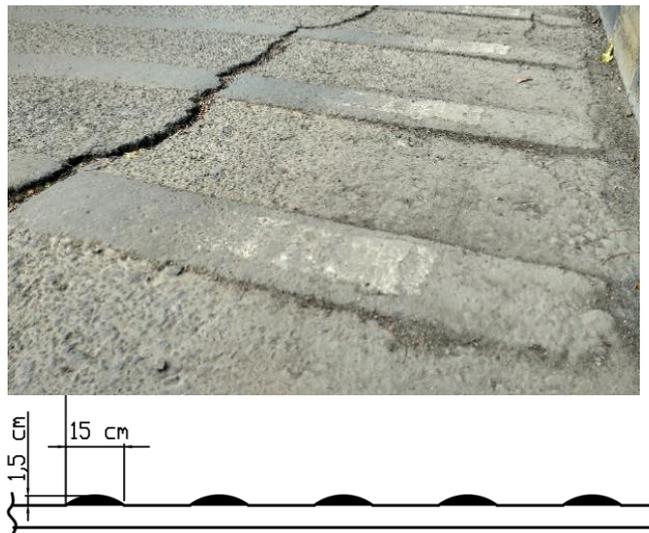
- Pengujian Melewati Polisi Tidur (*Speed Bump*)
Kendaraan pickup akan diuji melewati polisi tidur dengan ketinggian 10 cm dan lebar 130 cm. Profil dari polisi tidur dipilih yang cukup landai dan tidak terlalu curam agar dapat dilewati dengan beberapa variasi kecepatan. dimensi profil polisi tidur ditunjukkan pada Gambar 3.16. Variasi kecepatan ujinya adalah 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam.

- Pengujian Melewati *Speed Trap*

Dimensi dari *speed trap* adalah tinggi 1,5 cm dan lebar 15 cm dengan jumlah *speed trap* sebanyak 5 buah. Jarak total keseluruhan antara *speed trap* pertama hingga terakhir adalah 2,5 m. Gambar 3.15 menunjukkan profil dari *speed trap* yang dilalui minibus saat pengujian. Variasi kecepatan uji yang digunakan adalah 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam.



Gambar 3.16 Profil Polisi Tidur untuk Pengujian



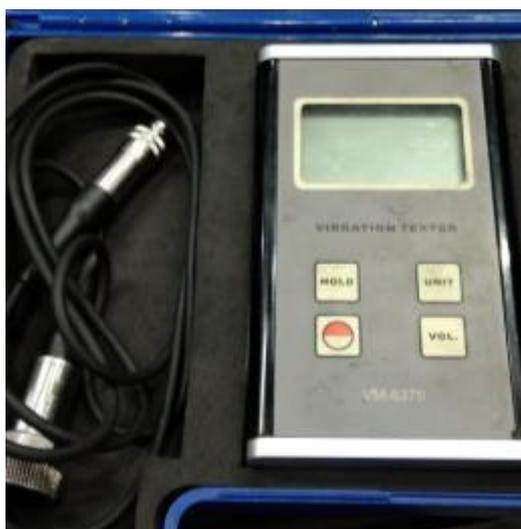
Gambar 3.17 Profil Speed Trap untuk Pengujian

Untuk mengetahui energi bangkitan yang dihasilkan oleh HMERSA digunakan alat yaitu *Oscilloscope* dan juga Avometer. Fungsi dari *oscilloscope* adalah untuk mengetahui besarnya tegangan yang dihasilkan, sedangkan avometer berfungsi untuk mengetahui nilai dari arus yang dihasilkan. Rumus untuk mencari daya (watt) adalah $P = V \times I$, dimana V adalah tegangan yang dihasilkan HMERSA, dan i adalah arus yang dihasilkan oleh HMERSA.



Gambar 3.18 Osiloskop SIGLENT SHS820

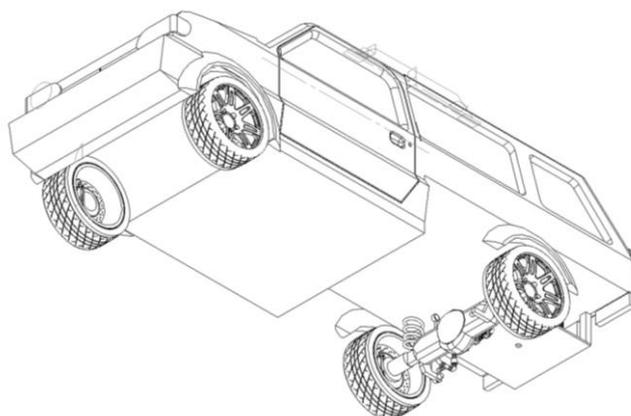
Selain itu pengujian respon dinamis juga akan direkam datanya. Pengujian respon dinamis akan diukur dibagian pengemudi diatas suspensi untuk mengetahui kenyamanan yang dihasilkan sudah sesuai standart apa belum. Berikut alat uji yang akan digunakan untuk mengetahui getaran yang dihasilkan.



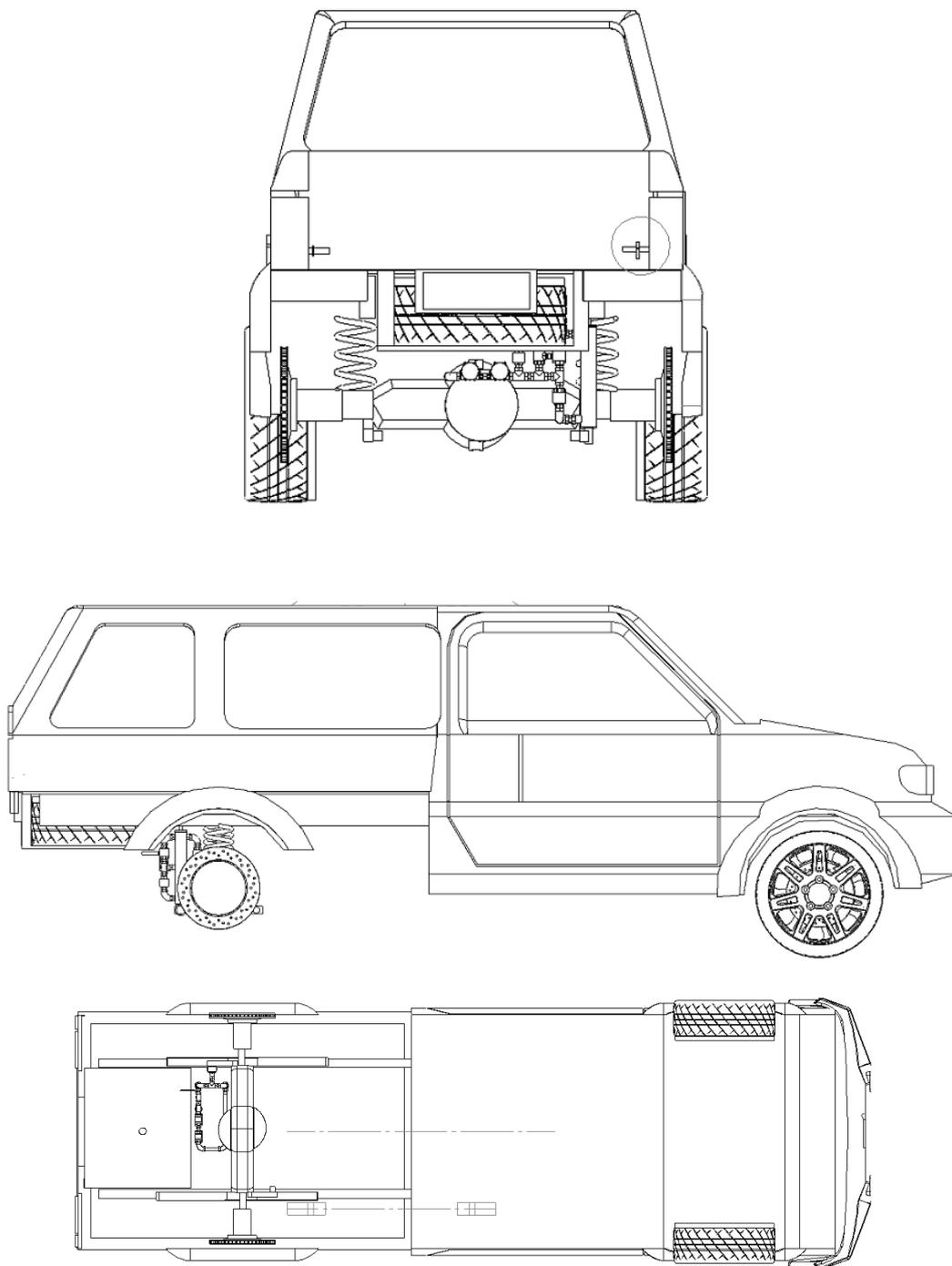
Gambar 3.19 Vibration Tester VM-6370

3.7 Analisa Hasil

Dari keseluruhan tahapan dan proses pengujian eksperimen dan simulasi akan dapat dianalisa dan ditarik kesimpulan dari data yang sudah didapatkan dari pengujian secara eksperimen. Hasil dari analisa ini akan merujuk pada kesimpulan dari penelitian ini yang akan dituliskan di laporan buku tesis.



Gambar 3.20 Penempatan HMERSA Pada Kendaraan



Gambar 3.21 Back View Penempatan HMERSA Pada Kendaraan, b) Left view Penempatan HMERSA Pada Kendaraan, c) Below view Penempatan HMERSA Pada Kendaraan

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Simulasi Karakteristik HMERSA

4.1.1 Hubungan Dimensi Pipa dengan Koefisien Redaman HMERSA

Simulasi karakteristik dari HMERSA dilakukan dengan menggunakan *software* MATLAB Simulink. Sebelum dilakukan simulasi, perlu diketahui hubungan antara pemilihan dimensi pipa dengan koefisien redaman yang dihasilkan sistem HMERSA. Hal ini perlu dilakukan untuk mengetahui perbandingan berapa nilai daya bangkitan generator yang dihasilkan terhadap koefisien percepatan redaman dari pemilihan dimensi pipa yang akan digunakan dalam pembuatan HMERSA. nilai koefisien redaman yang akan digunakan pada simulasi seperti pada persamaan (4.1) berikut:

$$Fd_{HMERSA} = \frac{\rho}{2} \times v^2 \left\{ \left[\frac{A_{11}}{A_{cv}} \right]^2 - 1 \right\} + \left\{ \left[\frac{8 \times A_{11}}{\pi^2 \times D_p^4} \right] \times K \times \rho \times A_{11} \times v^2 \right\} + \left\{ \left[\frac{8 \times A_{11}}{\pi^2 \times D_p^4} \right] \times 16 \times \mu \times \pi \times L \times v \right\} \quad (4.1)$$

Pemilihan dimensi pipa dan *fitting* juga disesuaikan dengan kondisi dari instalasi pada kendaraan. Karakteristik dari desain harus mampu dan kuat menahan tekanan hidrolik akibat adanya perubahan *displacement* dari *absorber* setelah mendapatkan beban eksternal. Dari kedua faktor tersebut yang memungkinkan untuk digunakan adalah pipa dengan dimensi 0.5 inch dan 0.25 inch.

Koefisien redaman HMERSA sangat berpengaruh terhadap percepatan redaman dari *absorber*. Berikut nilai Koefisien Redaman dari HMERSA Dengan memasukkan masing-masing nilai parameter pada persamaan (4.1), didapatkan hubungan antara nilai koefisien redaman HMERSA dengan dimensi pipa seperti ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Perbandingan Nilai Koefisien Redaman Terhadap Dimensi Pipa

Dimensi Pipa	Koefisien Redaman HMERSA (Ns/m)
½ inch	1.102
¼ inch	1.846

Data yang terdapat pada Tabel 4.1 dapat digunakan sebagai acuan dalam mendesain HMERSA. Untuk mobil perkotaan, nilai koefisien redaman yang diperlukan adalah pada kisaran *range* 1.800 Ns/m hingga 2.000 Ns/m. Sehingga apabila mendesain HMERSA dengan target mobil perkotaan, maka dimensi pipa yang digunakan adalah ¼ inch dengan nilai koefisien redaman sebesar 1.846 Ns/m. Sedangkan untuk kendaraan *pickup*, *range* nilai koefisien redaman lebih bervariasi yaitu antara 2.800 Ns/m hingga 4.000 Ns/m. dikarenakan objek yang digunakan dalam penelitian ini adalah kendaraan minibus atau termasuk dalam kategori mobil perkotaan maka digunakan koefisien redaman yang terdapat pada kisaran *range* 1.800 Ns/m hingga 2.000 Ns/m.

4.1.2 Karakteristik HMERSA dengan Menggunakan Pipa ¼ Inch

HMERSA dengan menggunakan pipa ¼ inch, didapatkan nilai koefisien redaman sebesar 1.846 Ns/m. Nilai koefisien redaman ini mendekati nilai koefisien redaman pada mobil perkotaan. Dalam melakukan simulasi karakteristik HMERSA, digunakan inputan model matematis profil dari polisi tidur dengan kecepatan mobil sebesar 10 km/jam. Dalam penelitiannya, Kanjanavapastit (2013) melakukan penelitian pendekatan model matematis profil dari polisi tidur. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$y(t) = -\frac{1}{2}H \left(\cos \left(2\pi \frac{v t}{L} \right) - 1 \right) , \text{ untuk } 0 \leq x \leq L \quad (4.2)$$

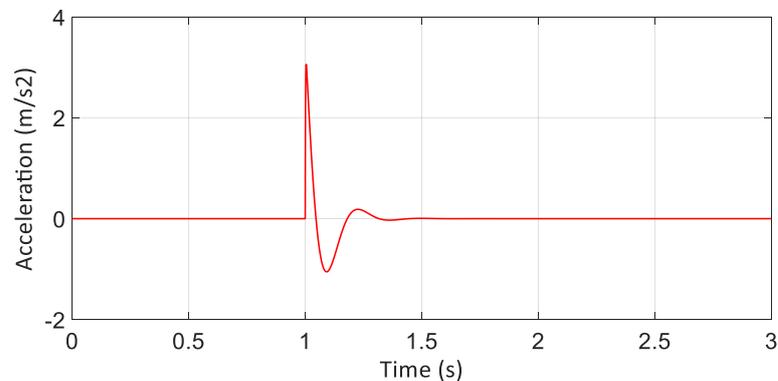
dimana :

- H : ketinggian polisi tidur (m)
- L : panjang polisi tidur (m)
- v : kecepatan kendaraan (m/s)
- t : *range* waktu melewati polisi tidur (s)

Tabel 4.2 Parameter Simulasi Seperempat Kendaraan

Parameter	Keterangan	Nilai	Unit
m_v	¼ massa kendaraan + 1 passenger	291.5	kg
K_v	koefisien pegas kendaraan	76000	N/m
m_w	massa ban	24	kg
K_w	koefisien kekakuan ban	295000	N/m
C_w	koefisien redaman ban	25500	N.s/m

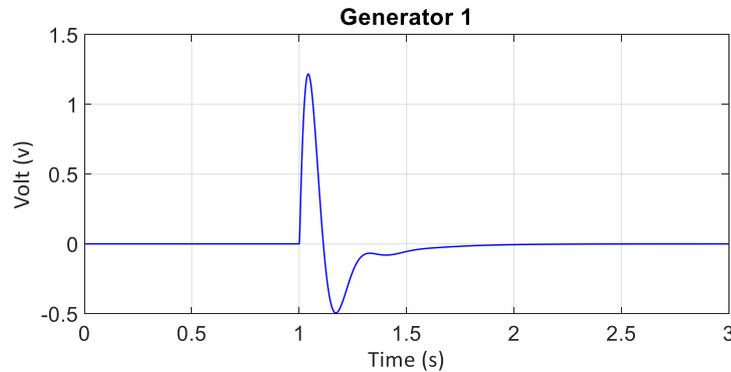
Tabel diatas adalah parameter yang akan digunakan pada simulasi matlab. Parameter disesuaikan dengan aktual kondisi dan juga dari penelitian sebelumnya. untuk simulasi inputan berupa model matematis yang telah dijabarkan diatas. Parameter lainnya yang digunakan pada simulasi ini adalah berupa kecepatan kendaraan yang digunakan sebesar 10 km/jam. dari simulasi didapatkan respon percepatan dari HMERSA sebesar 3.034 m/s^2 . Dimana pada Tabel 4.4. tentang kriteria kenyamanan berdasarkan *root mean square* akselerasi, nilai tersebut merupakan parameter kenyamanan yang tidak sangat nyaman. Pada grafik tersebut HMERSA beresilasi cukup kecil, stabil pada waktu 1.5 s.



Gambar 4.1 Plot Grafik Respon Acceleration HMERSA dengan menggunakan pipa ¼ inch

Selain melihat respon percepatan dari HMERSA perlu dilihat juga apakah pemilahan dimensi pipa sudah cukup baik untuk energi bangkitan yang dihasilkan oleh HMERSA. Untuk itu simulasi terhadap energi bangkitan yang dihasilkan

perlu juga ditampilkan. Dengan menggunakan parameter yang sama berikut grafik respon HMERSA terhadap energi bangkitan yang dihasilkan.

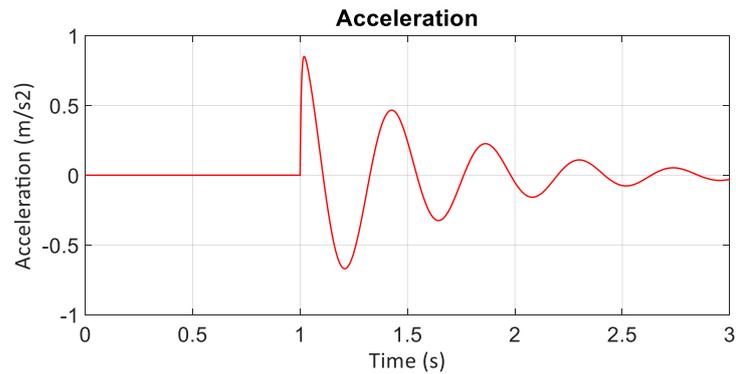


Gambar 4.2 Plot Grafik Respon HMERSA terhadap energi bangkitan yang dihasilkan dengan menggunakan pipa ¼ inch

Dengan menggunakan inputan berupa model matematis yang telah dijabarkan diatas dan kecepatan kendaraan yang digunakan sebesar 10 km/jam didapat voltase dari generator 1 sebesar 1.302 volt. Nilai tersebut akan menjadi perbandingan terhadap pemilihan dimensi pipa yang sesuai.

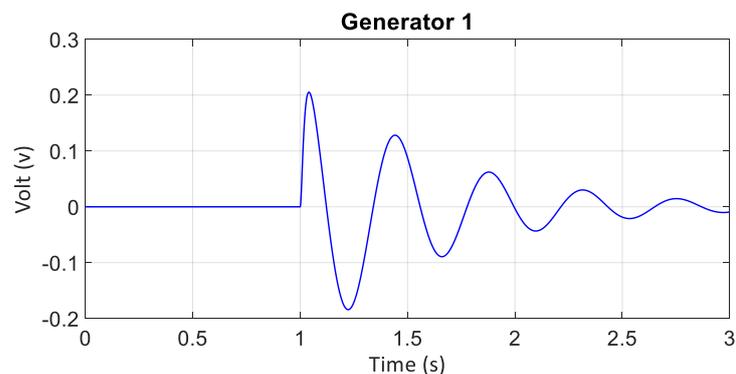
4.1.3 Karakteristik HMERSA dengan Menggunakan Pipa ½ Inch

HMERSA dengan menggunakan pipa ½ inch, didapatkan nilai koefisien redaman sebesar 1.102 Ns/m. Nilai koefisien redaman ini dibawah nilai koefisien redaman pada mobil perkotaan. Dalam melakukan simulasi karakteristik HMERSA, digunakan inputan model matematis profil dari polisi tidur dengan kecepatan mobil sebesar 10 km/jam.



Gambar 4.3 Plot Grafik Respon Acceleration HMERSA dengan menggunakan pipa ½ inch

untuk simulasi inputan juga berupa model matematis. Parameter lainnya yang digunakan pada simulasi ini adalah berupa kecepatan kendaraan yang digunakan sebesar 10 km/jam. dari simulasi didapatkan respon percepatan dari HMERSA sebesar 0.84 m/s^2 . Dimana pada Tabel 2.1. tentang kriteria kenyamanan berdasarkan *root mean square* akselerasi, nilai tersebut merupakan parameter kenyamanan yang agak tidak nyaman. Pada grafik tersebut HMERSA beresilasi cukup besar, stabil pada waktu 3 s. dari hasil simulasi ini dapat disimpulkan jika respon acceleration dari HMERSA lebih baik menggunakan dimensi pipa 1/2 inch.



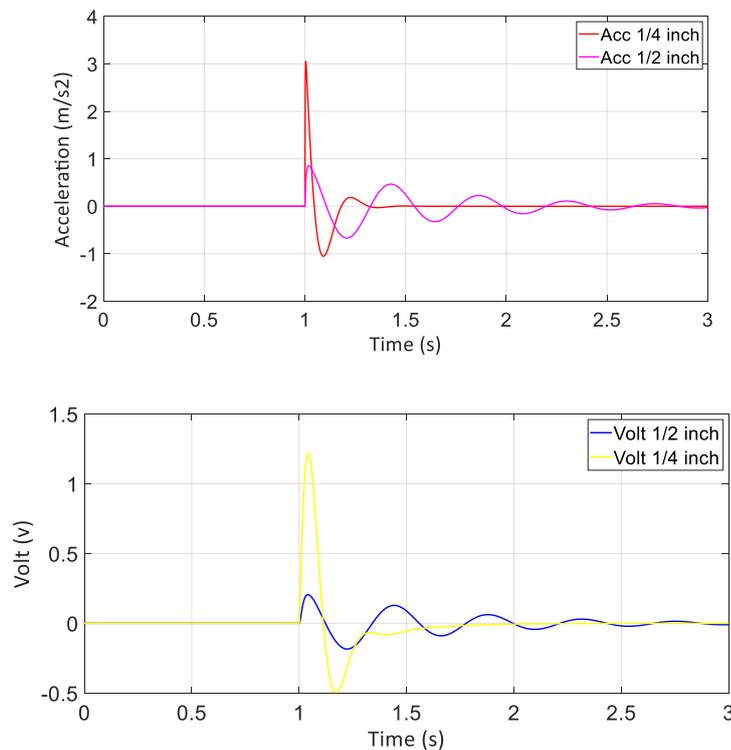
Gambar 4.4 Plot Grafik Respon HMERSA terhadap energi bangkitan yang dihasilkan dengan menggunakan pipa ½ inch

Selain melihat respon percepatan dari HMERSA untuk memastikan dimensi pipa mana yang akan digunakan perlu dilihat juga nilai energi bangkitan yang dihasilkan HMERSA. Dari gambar grafik diatas untuk desain HMERSA dengan menggunakan pipa ½ inch didapat voltase dari generator 1 sebesar 0.2196

volt. Dari nilai energi bangkitan juga dapat disimpulkan jika pipa dengan dimensi $\frac{1}{4}$ inch lebih baik untuk digunakan.

4.1.4 Perbandingan Desain dan Karakteristik HMERSA

Secara umum untuk masing-masing pemilihan dimensi pipa dari HMERSA memiliki karakteristik yang sama. Semakin besar nilai gaya Redam dari HMERSA terhadap beban yang sama maka HMERSA akan memiliki respon percepatan yang lebih baik, begitu pula dengan energi bangkitan yang dihasilkan terutama pada voltase generator 1, semakin besar gaya redam maka semakin baik pula nilai voltase yang dihasilkan. Berikut perbandingan HMERSA menggunakan pipa dengan dimensi $\frac{1}{2}$ inch dan $\frac{1}{4}$ inch.

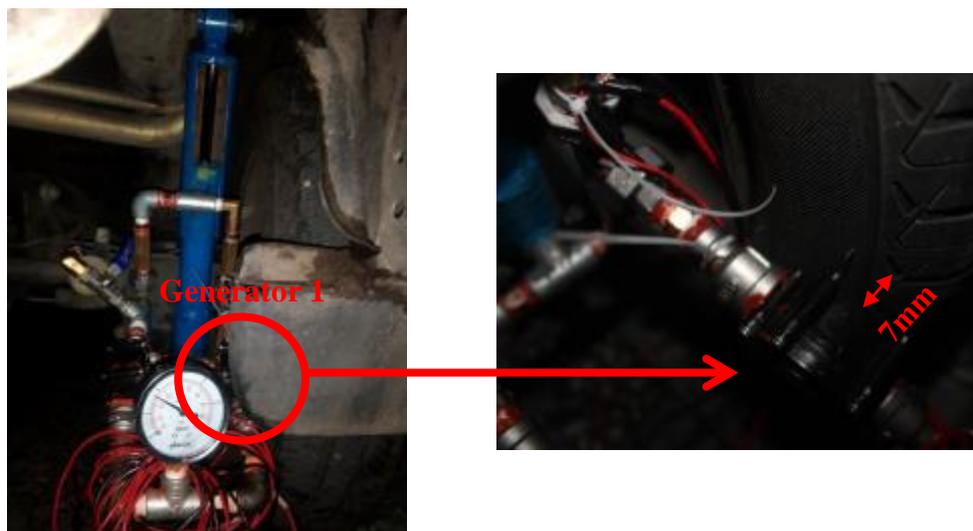


Gambar 4.5 (a) Grafik Perbandingan Respon percepatan HMERSA yang dihasilkan dengan menggunakan pipa $\frac{1}{2}$ inch dan pipa $\frac{1}{4}$ inch (b) Grafik Perbandingan Respon HMERSA terhadap energi bangkitan yang dihasilkan dengan menggunakan pipa $\frac{1}{2}$ inch dan pipa $\frac{1}{4}$ inch

Tabel 4.3 Perbandingan Karakteristik HMERSA

Dimensi pipa (inch)	Koefisien Redaman (Ns/m)	Acceleration (m/s^2)	Energi Bangkitan Voltase (v)
1/2	1.102	0.85	0.2196
1/4	1.846	3.03	1.3

Dari tabel perbandingan tersebut dapat disimpulkan dengan menggunakan pipa 1/4 inch. Respon dari HMERSA lebih baik dari pada desain HMERSA dengan menggunakan pipa 1/2 inch. Selain nilai karakteristik yang dihasilkan dari desain perlu diperhatikan juga dimensi saat instalasi pada kendaraan. Desain harus dipastikan bisa dipasang dan juga tidak mengganggu part-part lain yang ada disekitar, desain harus dipastikan dapat digunakan pada kondisi mobil diam ataupun pada saat bergerak.



Gambar 4.6 Instalasi HMERSA dengan desain pipa 1/4 inch pada kendaraan minibus.

Dari gambar tersebut instalasi HMERSA dengan desain pipa 1/4 inch pada kendaraan minibus, terlihat gap antara generator 1 HMERSA dan roda minibus sangat kecil yaitu 7mm. dapat disimpulkan jika desain minimal yang dapat di install pada kendaraan jenis minibus Avanza tahun 2011 adalah desain HMERSA dengan desain pipa 1/4 inch.

4.2 Hasil Simulasi Pemodelan Seperempat Kendaraan

Pemodelan yang dilakukan adalah dengan menggunakan model seperempat kendaraan 2 DOF dengan ban. Simulasi ini dilakukan untuk mengetahui respon dinamis dan potensi daya bangkitan yang dihasilkan dari kendaraan apabila HMERSA dipasang pada sistem suspensi kendaraan. Hasil simulasi juga akan digunakan sebagai referensi dan pembandingan data antara hasil experimental. Pada simulasi, kendaraan yang digunakan sebagai referensi adalah Toyota Avanza Tahun 2011 Type s sesuai dengan kendaraan yang akan digunakan saat experimental. Tipe jalan yang akan digunakan dalam simulasi adalah polisi tidur dan *speed trap*.

4.2.1 Simulasi dengan Profil Jalan Polisi Tidur

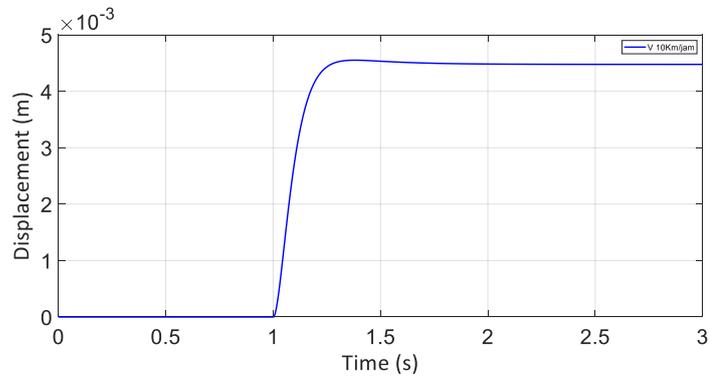
4.2.1.1 Simulasi HMERSA dengan Output 2 Generator Terpasang Seri pada Profil Jalan Polisi Tidur

Simulasi melewati tipe jalan polisi tidur dilakukan untuk mengetahui potensi daya bangkitan yang dihasilkan melewati tipe jalan ini. Selain digunakan sebagai pembandingan antara hasil simulasi dan experimental. Hasil simulasi ini akan digunakan sebagai pembandingan antara HMERSA dengan output 2 generator yang terpasang Paralel. Hasil akhir yang didapat dari simulasi ini adalah respon dinamis berupa perpindahan body kendaraan, percepatan vertikal kendaraan, dan daya bangkitan pada kendaraan minibus.

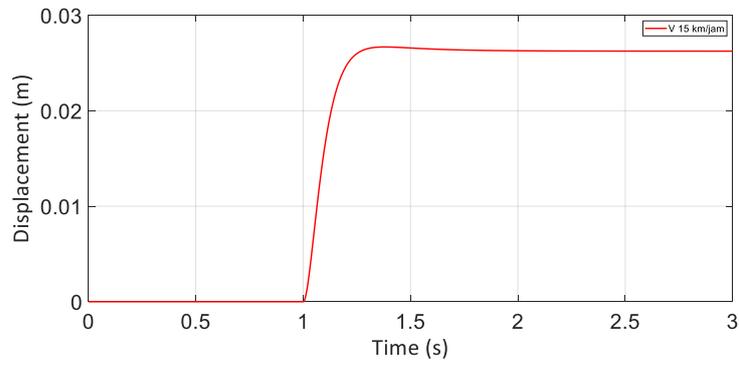
Dimensi dari polisi tidur adalah $H = 100$ mm dan $L = 1300$ mm sesuai pada Gambar 3.14. Kecepatan kendaraan yang digunakan adalah 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam, 25 km/jam dan 30 km/jam. Dari data tersebut akan dimasukkan ke persamaan 4.2 sebagai inputan dari simulasi

Gambar 4.7 menunjukkan respon dinamis berupa perpindahan dari body kendaraan untuk masing-masing kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam, 25 km/jam dan 30 km/jam. Nilai perpindahan body kendaraan tertinggi terjadi pada kecepatan 30 km/jam, yaitu sebesar 78 mm. Dengan tinggi polisi tidur 100 mm, maka nilai perpindahan yang ditransfer ke body kendaraan cukup tinggi. Dengan meningkatnya kecepatan, nilai perpindahan akan semakin tinggi, Pada kecepatan

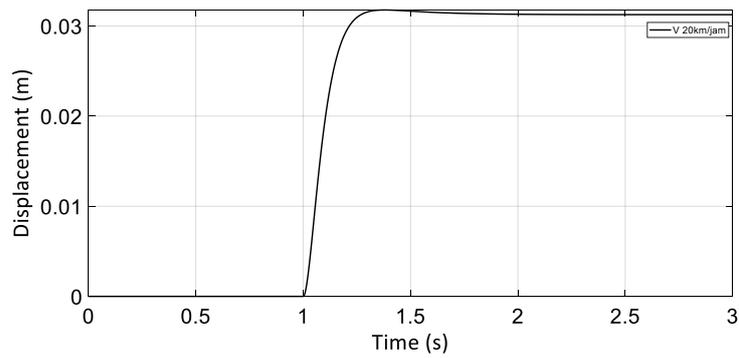
10 km/jam nilai perpindahan maksimal sebesar 4.54 mm, pada kecepatan 15 km/jam sebesar 26 mm, pada kecepatan 20 km/jam sebesar 31,7 mm dan pada kecepatan 25 km/jam sebesar 63 mm.



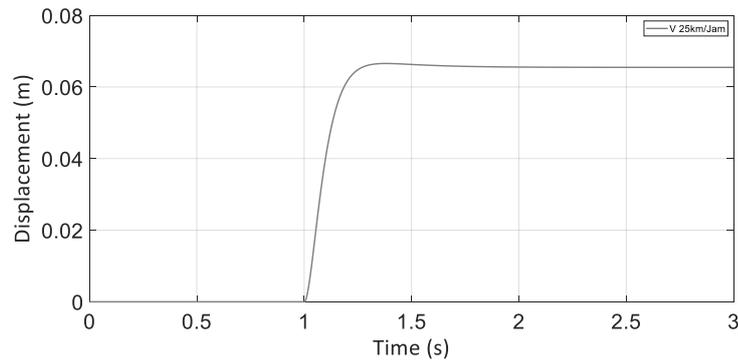
(a)



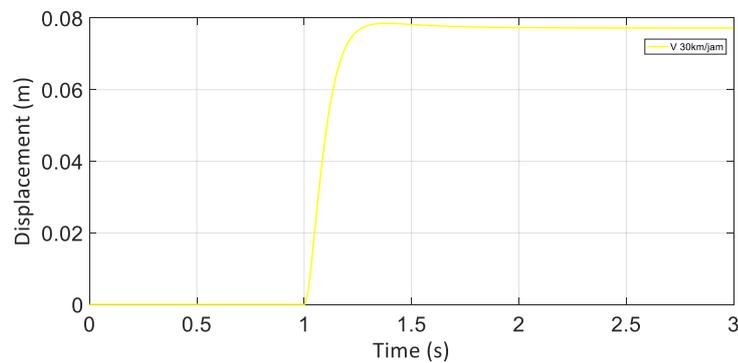
(b)



(c)



(d)



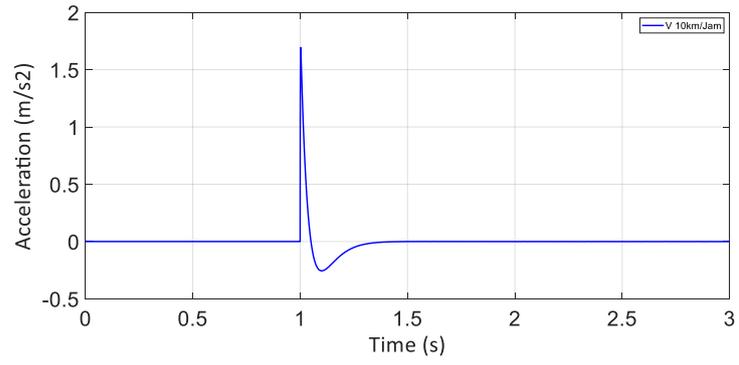
(e)

Gambar 4.7 Simulasi HMERSA Seri terhadap Respon Dinamis Perpindahan Body Kendaraan Polisi Tidur pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam, (d) 25 km/jam dan (e) 30 km/jam.

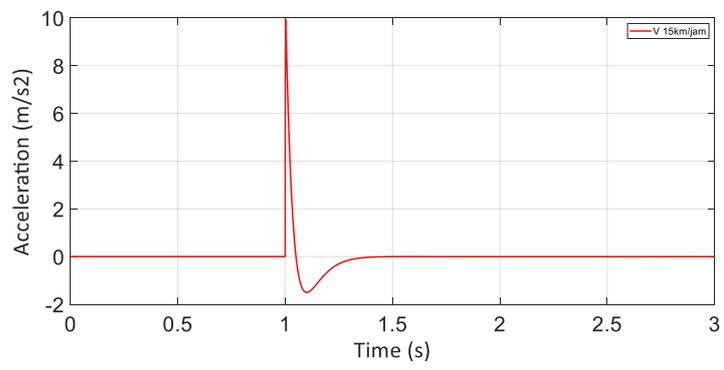
Hasil simulasi selanjutnya adalah percepatan vertikal body kendaraan. Nilai percepatan vertikal dapat digunakan sebagai acuan dalam menentukan derajat kenyamanan dalam berkendara. Berdasarkan ISO 2631, derajat kenyamanan berkendara mengacu pada percepatan vertikal kendaraan terdapat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai Acuan Kenyamanan Pengendara Terhadap Percepatan

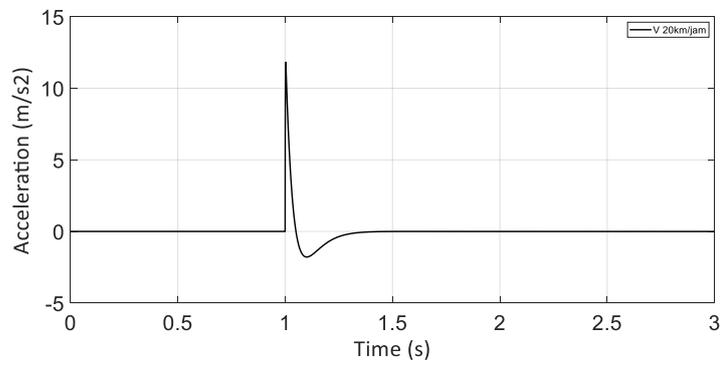
Nilai Acuan Percepatan	Parameter Kenyamanan
$a < 0,315 \text{ m/s}^2$	Tidak ada keluhan
$0,315 \text{ m/s}^2 - 0,63 \text{ m/s}^2$	Sedikit tidak nyaman
$0,5 \text{ m/s}^2 - 1 \text{ m/s}^2$	Agak tidak nyaman
$0,8 \text{ m/s}^2 - 1,6 \text{ m/s}^2$	Tidak nyaman
$1,25 \text{ m/s}^2 - 2,5 \text{ m/s}^2$	Sangat tidak nyaman
$a > 2,5 \text{ m/s}^2$	Amat sangat tidak nyaman



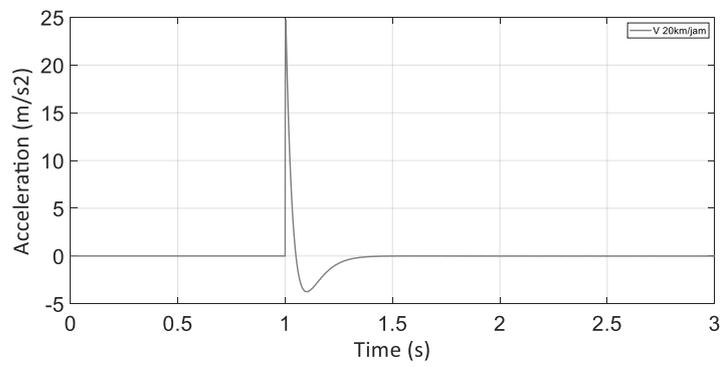
(a)



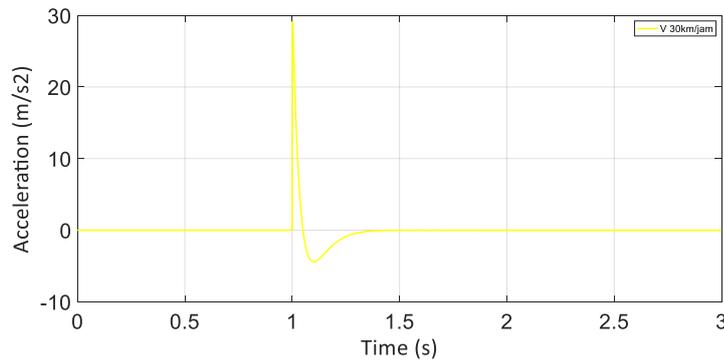
(b)



(c)



(d)

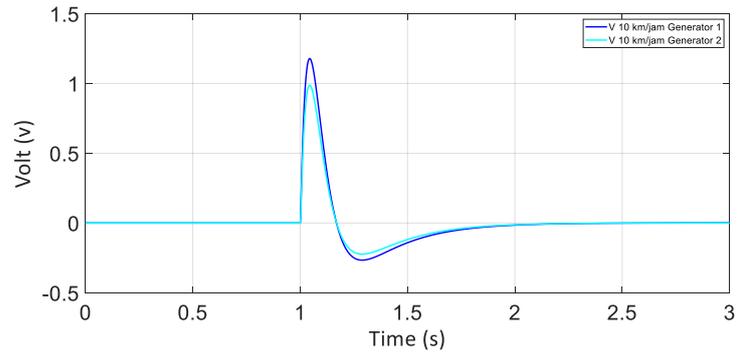


(e)

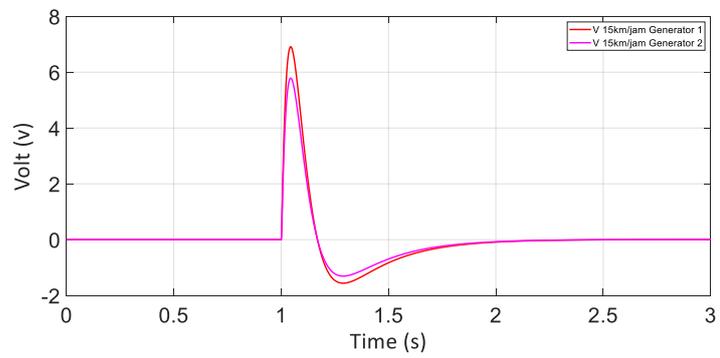
Gambar 4.8 Simulasi HMERSA Seri terhadap Respon Dinamis Percepatan Body Kendaraan Polisi Tidur pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam, (d) 25 km/jam dan (e) 30 km/jam.

Gambar 4.8 merupakan respon dinamis berupa percepatan vertikal body kendaraan. Terlihat bahwa percepatan dari body kendaraan masing masing adalah $1,67 \text{ m/s}^2$; $9,8 \text{ m/s}^2$; $11,7 \text{ m/s}^2$; $24,6 \text{ m/s}^2$ dan $28,3 \text{ m/s}^2$ masing-masing untuk kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam, 25 km/jam dan 30 km/jam. Berdasarkan tingkat kenyamanan pengemudi yang ada pada Tabel 4.2, pada kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam, 25 km/jam dan 30 km/jam ada pada level amat sangat tidak nyaman. Namun demikian hal ini hanya berlangsung singkat, yaitu hanya ketika kendaraan melewati polisi tidur.

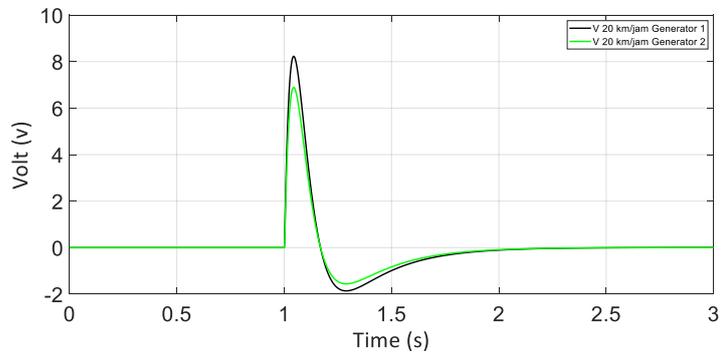
Gambar 4.9 menunjukkan daya bangkitan yang dihasilkan pada generator 1 dan Generator 2 dengan kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam, 25 km/jam dan 30 km/jam. Tegangan terbesar terjadi pada kecepatan 30 km/jam yaitu mencapai 20,8 Volt pada generator 1. Untuk kecepatan 10 km/jam pada generator 1 tegangan yang dihasilkan yaitu 1,17 volt. Pada kecepatan 15 km/jam tegangan pada generator 1 sebesar 6,9 volt. Pada kecepatan 20 km/jam tegangan pada generator 1 sebesar 8,22 volt. Pada kecepatan 25 km/jam tegangan pada generator 1 sebesar 16,9 volt. Sedangkan untuk generator 2 tegangan yang dihasilkan untuk masing masing kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam, 25 km/jam dan 30 km/jam adalah 0,98 volt, 5,7 volt, 6,8 volt, 14,3 volt dan 16,6 volt.



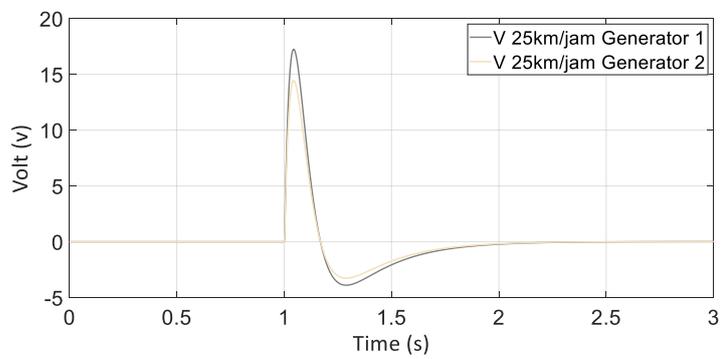
(a)



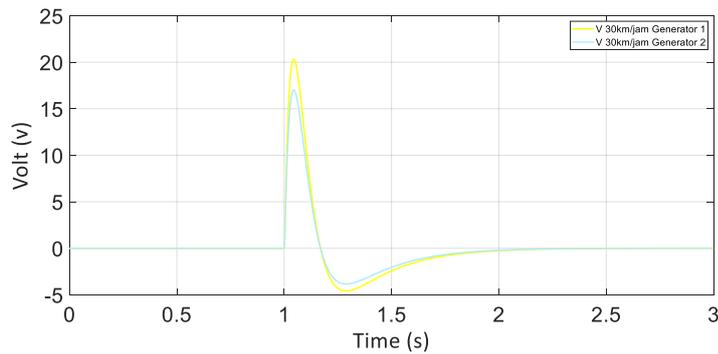
(b)



(c)



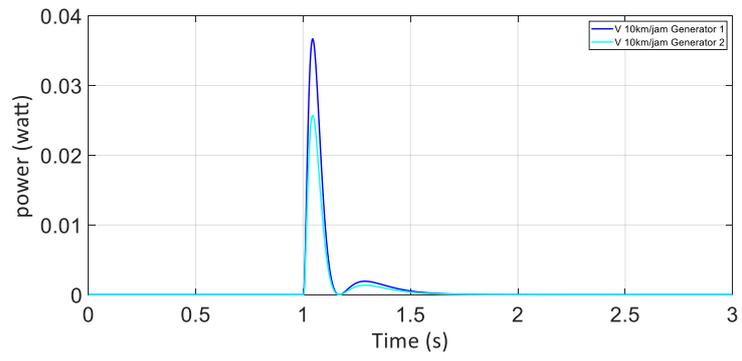
(d)



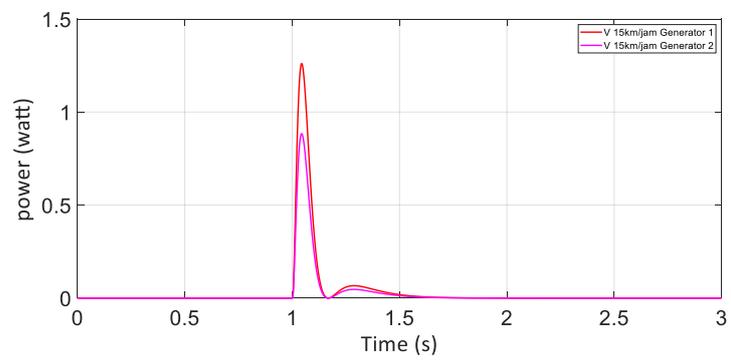
(e)

Gambar 4.9 Simulasi HMERSA Seri Terhadap Tegangan yang dihasilkan Melewati Polisi Tidur pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam, (d) 25 km/jam dan (e) 30 km/jam.

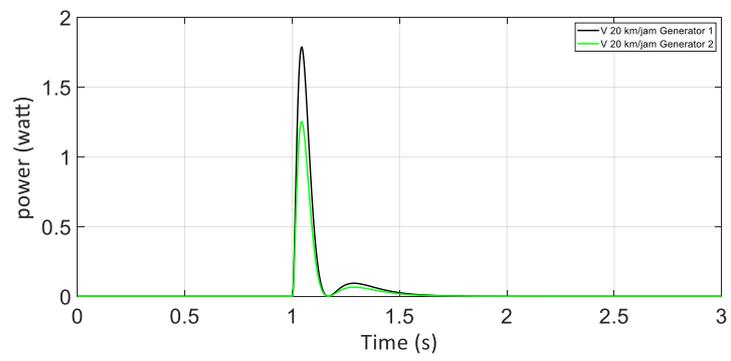
Gambar 4.10 menunjukkan daya bangkitan yang dihasilkan pada generator 1 dan Generator 2 dengan kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam, 25 km/jam dan 30 km/jam. Daya terbesar terjadi pada kecepatan 30 km/jam yaitu mencapai 11,6 watt pada generator 1. Untuk kecepatan 10 km/jam pada generator 1 daya yang dihasilkan yaitu 0,036 watt. Pada kecepatan 15 km/jam daya pada generator 1 sebesar 1,26. Pada kecepatan 20 km/jam daya pada generator 1 sebesar 1,78 watt. Pada kecepatan 25 km/jam daya pada generator 1 sebesar 7,89 watt. Sedangkan untuk generator 2 daya yang dihasilkan untuk masing masing kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam, 25 km/jam dan 30 km/jam adalah 0,0256 watt, 0,8 watt, 1,2 watt, 5,2 watt dan 7,81 watt. Dengan meningkatnya kecepatan, maka getaran yang terjadi pada body kendaraan semakin besar, sehingga berpengaruh terhadap daya bangkitan yang dihasilkan. Dengan meningkatnya potensi daya bangkitan yang dihasilkan maka respon percepatan juga akan semakin besar.



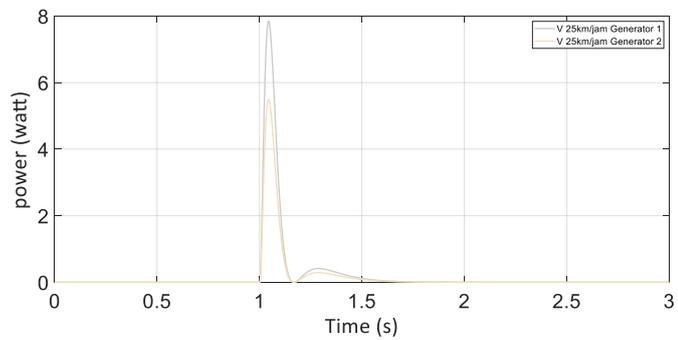
(a)



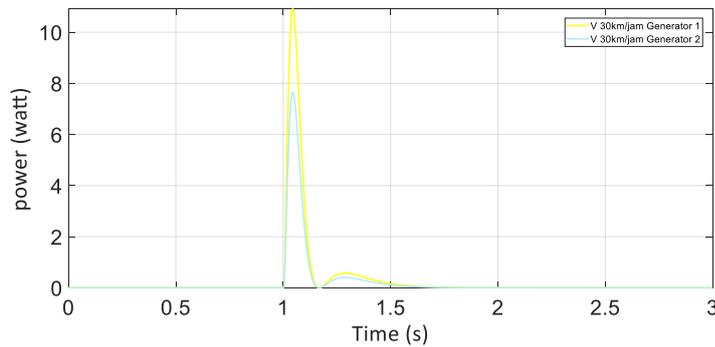
(b)



(c)



(d)



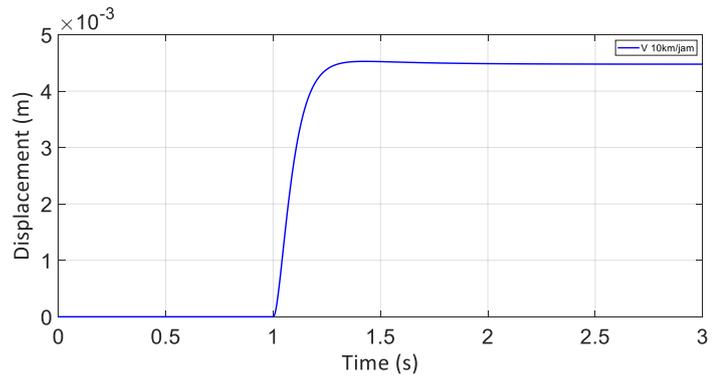
(e)

Gambar 4.10 Simulasi HMERSA Seri terhadap Daya Bangkitan Kendaraan melewati Polisi Tidur pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam, (d) 25 km/jam dan (e) 30 km/jam.

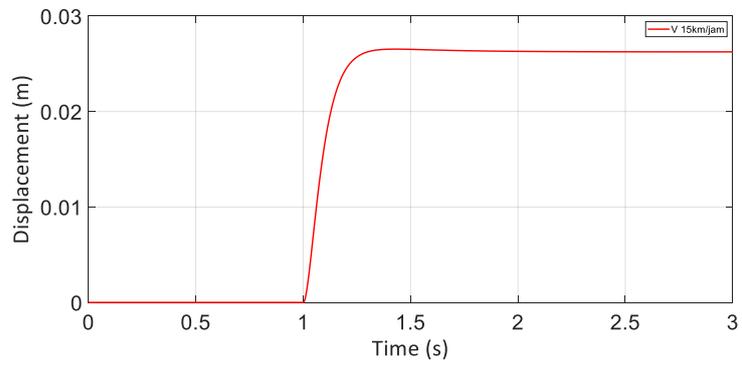
4.2.1.2 Simulasi HMERSA dengan Output 2 Generator Terpasang Paralel pada Profil Jalan Polisi Tidur

Simulasi melewati tipe jalan polisi tidur dilakukan untuk mengetahui potensi daya bangkitan yang dihasilkan melewati tipe jalan ini. Selain digunakan sebagai pembandingan antara hasil simulasi dan eksperimental. Hasil simulasi ini akan digunakan sebagai pembandingan antara HMERSA dengan output 2 generator yang terpasang seri. Hasil akhir yang didapat dari simulasi ini adalah respon dinamis berupa perpindahan body kendaraan, percepatan vertikal kendaraan, dan daya bangkitan pada kendaraan minibus.

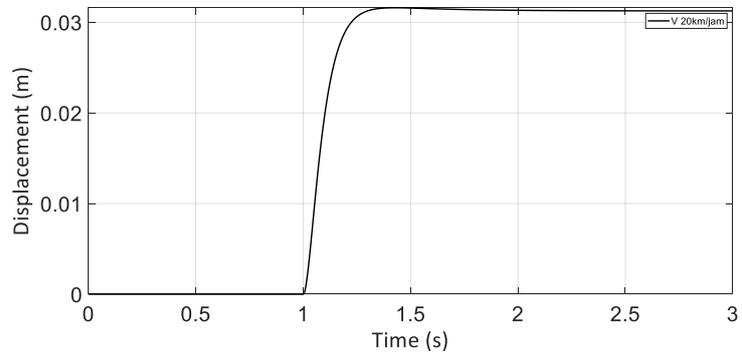
Gambar 4.11 menunjukkan respon dinamis berupa perpindahan dari body kendaraan untuk masing-masing kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam, 25 km/jam dan 30 km/jam. Nilai perpindahan body kendaraan tertinggi terjadi pada kecepatan 30 km/jam, yaitu sebesar 79,4 mm. Dengan tinggi polisi tidur 100 mm, maka nilai perpindahan yang ditransfer ke body kendaraan cukup tinggi. Dengan meningkatnya kecepatan, nilai perpindahan akan semakin tinggi, Pada kecepatan 10 km/jam nilai perpindahan maksimal sebesar 4,6 mm, pada kecepatan 15 km/jam sebesar 27,6 mm, pada kecepatan 20 km/jam sebesar 33,2 mm, dan pada kecepatan 25 km/jam sebesar 66,7 mm,



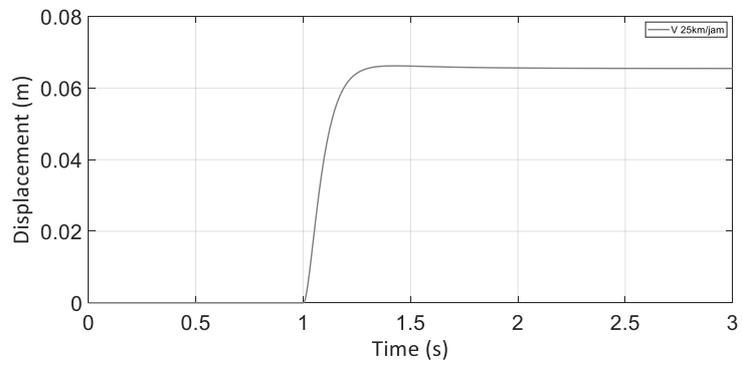
(a)



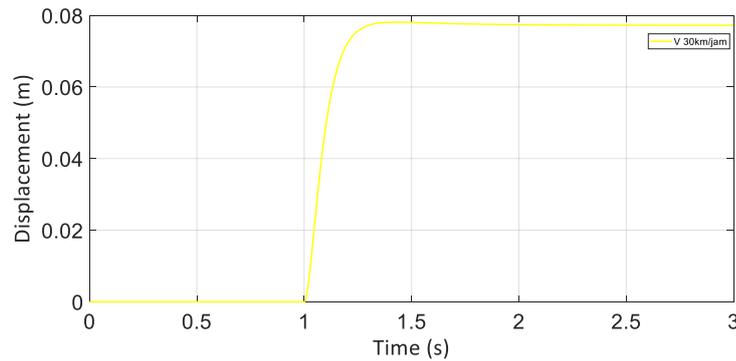
(b)



(c)



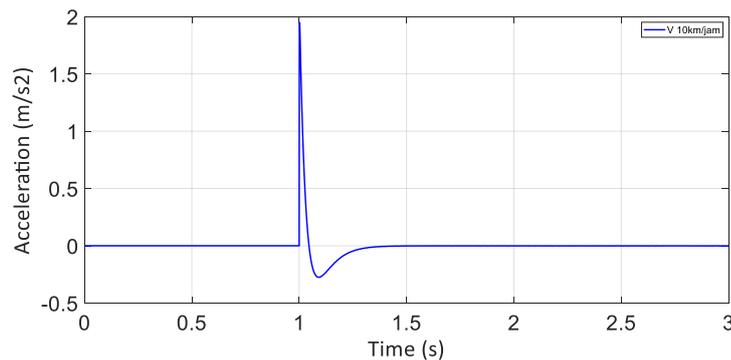
(d)



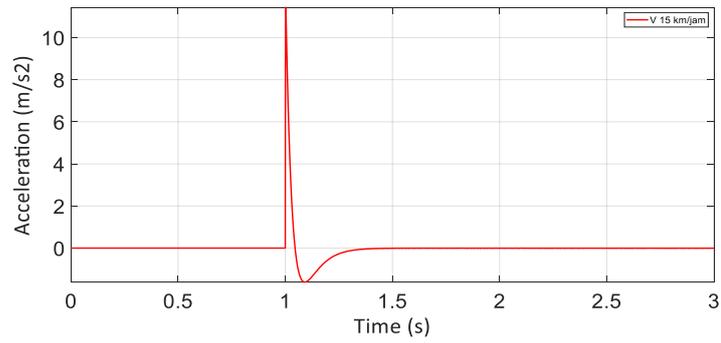
(e)

Gambar 4.11 Simulasi HMERSA Parallel terhadap Respon Dinamis Perpindahan Body Kendaraan Polisi Tidur pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam, (d) 25 km/jam dan (e) 30 km/jam.

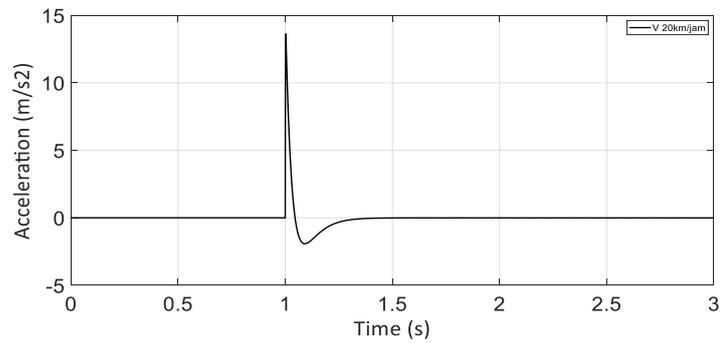
Gambar 4.12 merupakan respon dinamis berupa percepatan vertikal body kendaraan. Terlihat bahwa percepatan dari body kendaraan masing masing adalah $1,9 \text{ m/s}^2$; $11,4 \text{ m/s}^2$; $13,8 \text{ m/s}^2$; $28,5 \text{ m/s}^2$; dan $33,6 \text{ m/s}^2$ masing-masing untuk kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam, 25 km/jam dan 30 km/jam. Berdasarkan tingkat kenyamanan pengemudi yang ada pada Tabel 4.2, pada kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam, 25 km/jam dan 30 km/jam ada pada level amat sangat tidak nyaman. Namun demikian hal ini hanya berlangsung singkat, yaitu hanya ketika kendaraan melewati polisi tidur.



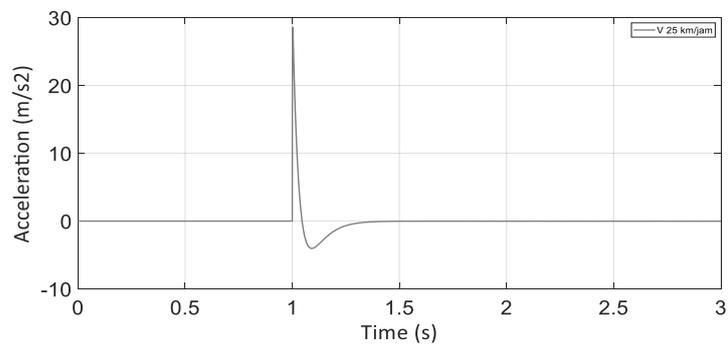
(a)



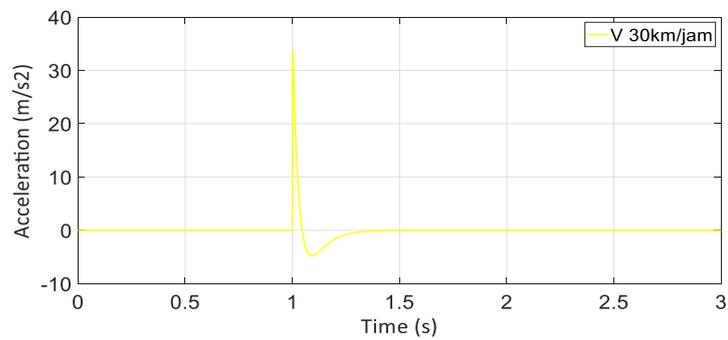
(b)



(c)



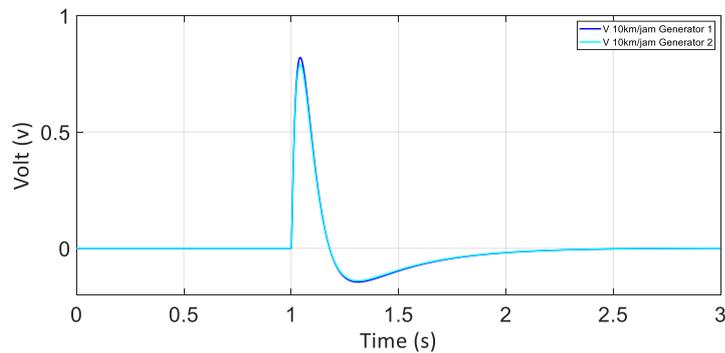
(d)



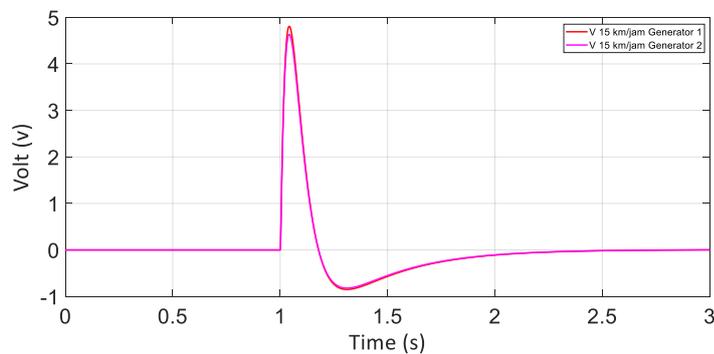
(e)

Gambar 4.12 Simulasi HMERSA Parallel terhadap Respon Dinamis Percepatan Body Kendaraan Polisi Tidur pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam, (d) 25 km/jam dan (e) 30 km/jam.

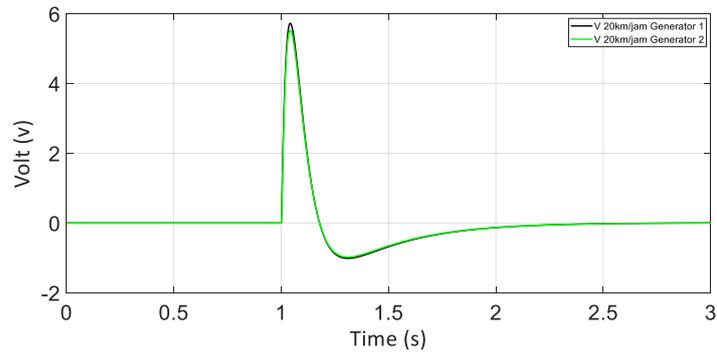
Gambar 4.13 menunjukkan daya bangkitan yang dihasilkan pada generator 1 dan Generator 2 dengan kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam, 25 km/jam dan 30 km/jam. Tegangan terbesar terjadi pada kecepatan 30 km/jam yaitu mencapai 14,29 Volt pada generator 1. Untuk kecepatan 10 km/jam pada generator 1 tegangan yang dihasilkan yaitu 0,72 volt. Pada kecepatan 15 km/jam tegangan pada generator 1 sebesar 4,82 volt. Pada kecepatan 20 km/jam tegangan pada generator 1 sebesar 5,7 volt. Pada kecepatan 25 km/jam tegangan pada generator 1 sebesar 12,6 volt. Sedangkan untuk generator 2 tegangan yang dihasilkan untuk masing masing kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam, 25 km/jam dan 30 km/jam adalah 0,66 volt, 4,61 volt, 5,2 volt, 11,3 volt dan 13,2 volt. Dengan meningkatnya kecepatan, maka getaran yang terjadi pada body kendaraan semakin besar, sehingga berpengaruh terhadap daya bangkitan yang dihasilkan. Dengan meningkatnya potensi daya bangkitan yang dihasilkan maka respon percepatan juga akan semakin besar.



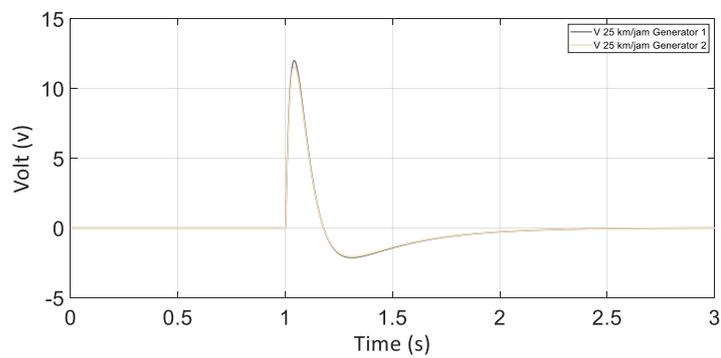
(a)



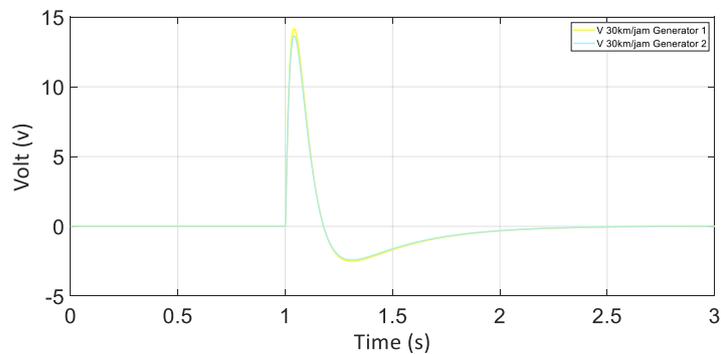
(b)



(c)



(d)

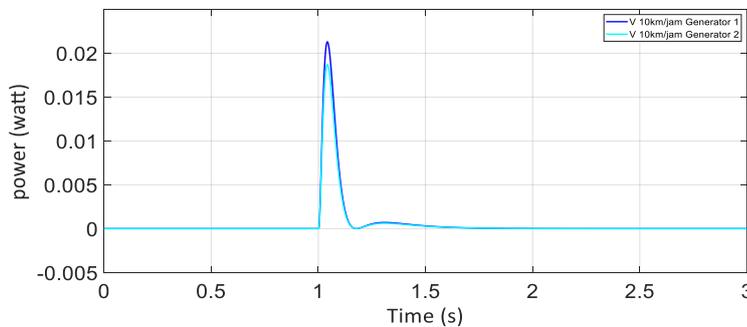


(e)

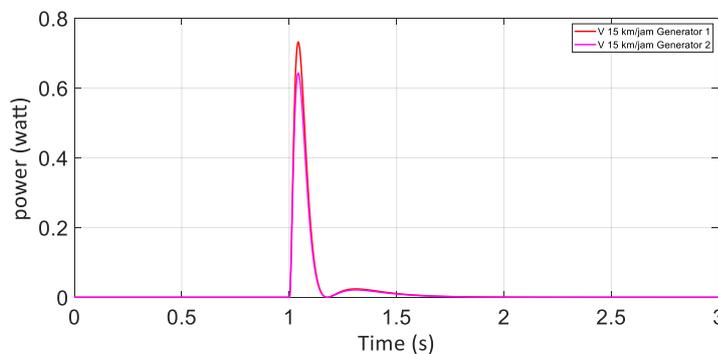
Gambar 4.13 Simulasi HMERSA Parallel Terhadap Tegangan yang dihasilkan Melewati Polisi Tidur pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam, (d) 25 km/jam dan (e) 30 km/jam

Gambar 4.14 menunjukkan daya bangkitan yang dihasilkan pada generator 1 dan Generator 2 dengan kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam, 25 km/jam dan 30 km/jam. Daya terbesar terjadi pada kecepatan 30 km/jam yaitu mencapai 6,15 watt pada generator 1. Untuk kecepatan 10 km/jam pada generator 1 daya yang dihasilkan yaitu 0,022 watt. Pada kecepatan 15 km/jam daya pada

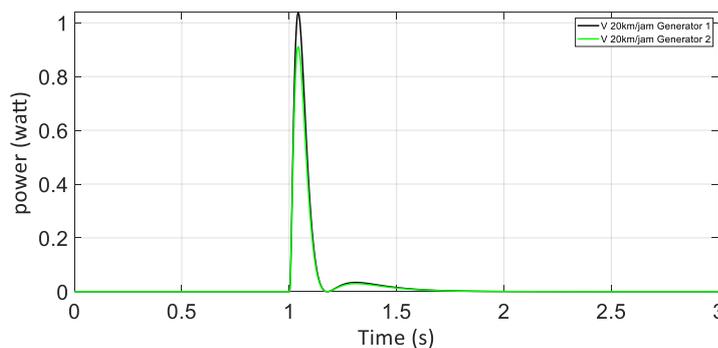
generator 1 sebesar 0,72. Pada kecepatan 20 km/jam daya pada generator 1 sebesar 1,08 watt. Pada kecepatan 25 km/jam daya pada generator 1 sebesar 4,57 watt. Sedangkan untuk generator 2 daya yang dihasilkan untuk masing masing kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, 20 km/jam, 25 km/jam dan 30 km/jam adalah 0,019 watt, 0,65 watt, 0,89 watt, 3,92 watt dan 5,71 watt. Dengan meningkatnya kecepatan, maka getaran yang terjadi pada body kendaraan semakin besar, sehingga berpengaruh terhadap daya bangkitan yang dihasilkan. Dengan meningkatnya potensi daya bangkitan yang dihasilkan maka respon percepatan juga akan semakin besar.



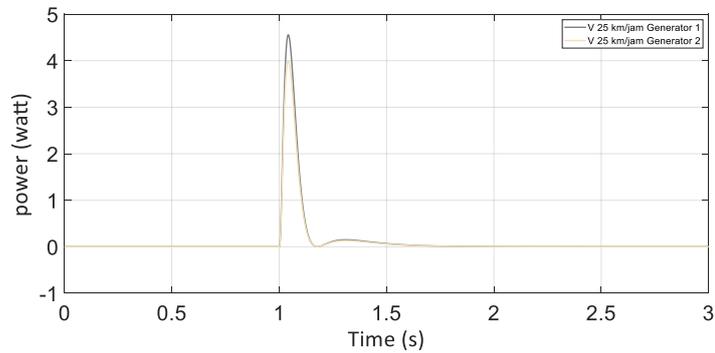
(a)



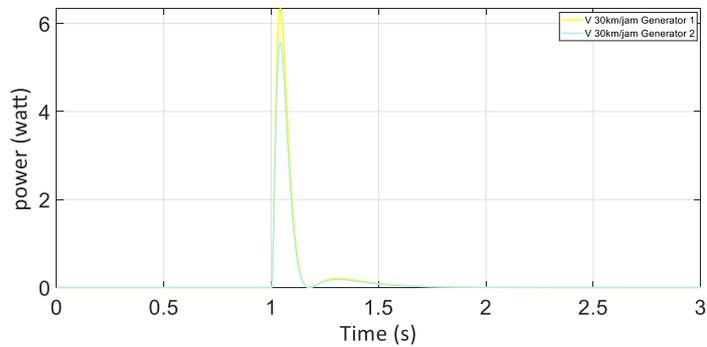
(b)



(c)



(d)



(e)

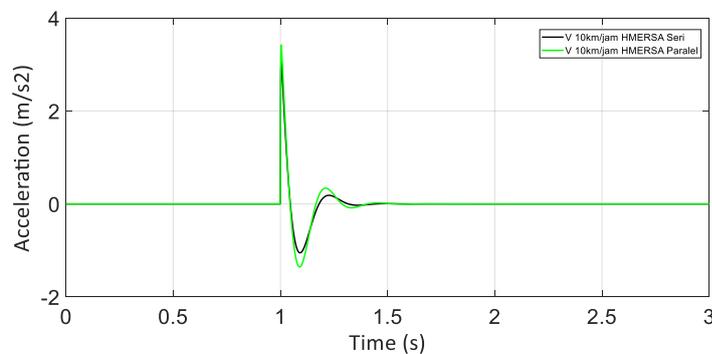
Gambar 4.14 Simulasi HMERSA Paralel terhadap Daya Bangkitan Kendaraan melewati Polisi Tidur pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, (c) 20 km/jam, (d) 25 km/jam dan (e) 30 km/jam.

4.2.1.3 Perbandingan Simulasi HMERSA dengan Output 2 Generator Terpasang Seri dan Paralel pada Profil Jalan Polisi Tidur

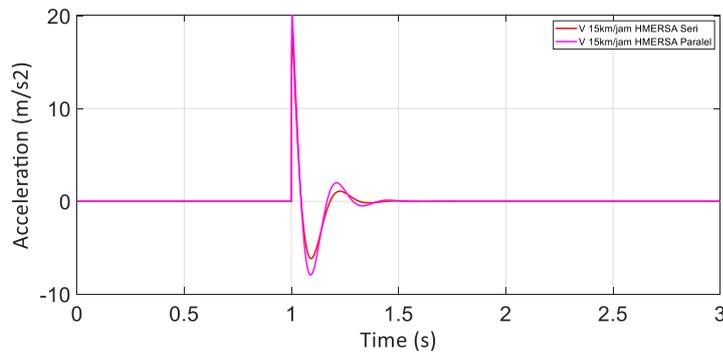
Seperti yang dijelaskan pada sub bab diatas hasil simulasi HMERSA dengan output 2 generator terpasang seri dan Paralel akan menjadi perbandingan system manakah yang lebih baik, baik itu terhadap respon dinamis maupun daya bangkitan yang dihasilkan. Hasil simulasi yang ditampilkan adalah berupa percepatan vertikal bodi kendaraan dan tegangan yang dihasilkan dari generator 1.

Gambar 4.15 merupakan perbandingan respon dinamis berupa percepatan vertikal body kendaraan. Pada HMERSA dengan output 2 generator terpasang seri terlihat bahwa percepatan dari bodi kendaraan masing masing adalah $1,67 \text{ m/s}^2$; $9,8 \text{ m/s}^2$; dan $11,7 \text{ m/s}^2$ masing-masing untuk kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam

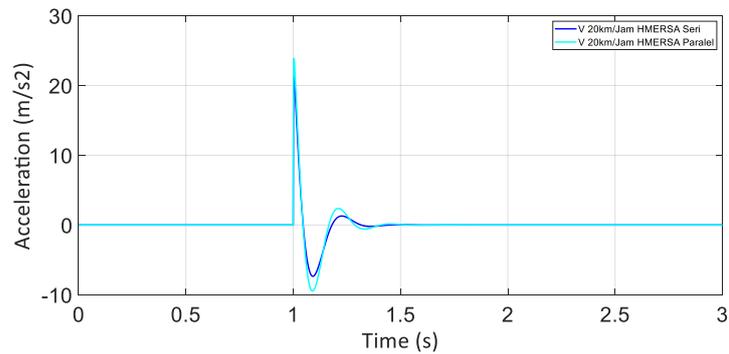
dan 20 km/jam. Sedangkan pada HMERSA dengan output 2 generator terpasang Paralel terlihat bahwa percepatan dari bodi kendaraan masing masing adalah $1,9 \text{ m/s}^2$; $11,4 \text{ m/s}^2$; dan $13,8 \text{ m/s}^2$ masing-masing untuk kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam dan 20 km/jam. Percepatan vertikal body tertinggi terdapat pada HMERSA dengan output 2 generator yang terpasang Paralel yaitu $13,8 \text{ m/s}^2$ Hal tersebut menjelaskan bahwa HMERSA dengan output 2 generator yang terpasang seri daya redamnya lebih baik dari pada HMERSA dengan output 2 generator yang terpasang Paralel.



(a)



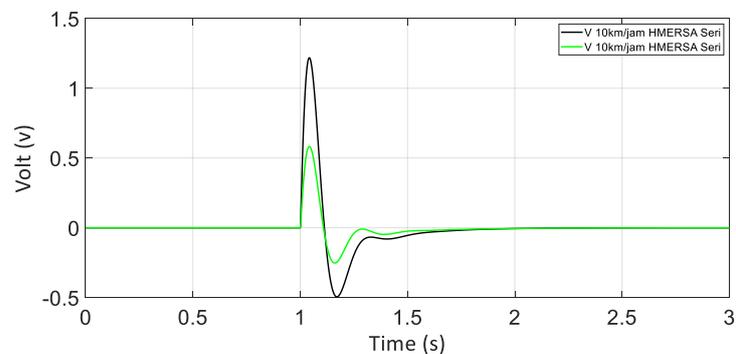
(b)



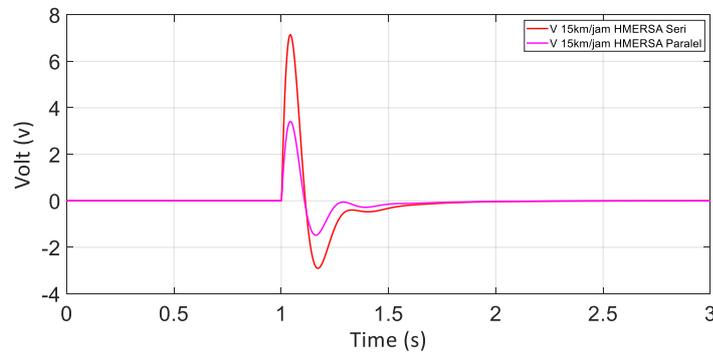
(c)

Gambar 4.15 Perbandingan Hasil Simulasi HMERSA Seri dan Paralel terhadap Percepatan Vertikal Body Kendaraan melewati Polisi Tidur pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.

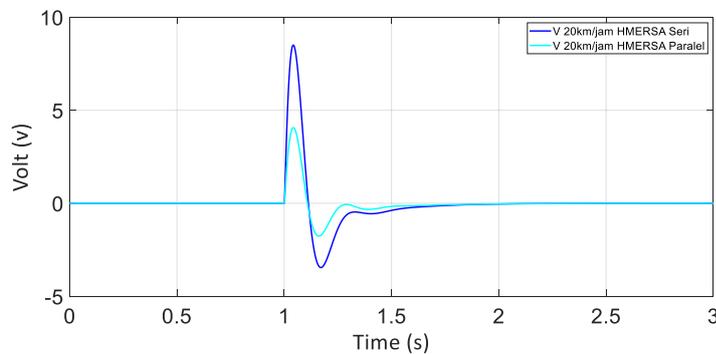
Gambar 4.16 merupakan perbandingan simulasi daya bangkitan yang dihasilkan oleh HMERSA Seri dan Paralel. HMERSA dengan output 2 generator terpasang seri terlihat bahwa daya bangkitan tegangan dari generator 1 masing masing adalah 1,17 volt ; 6,9 volt ; dan 8,22 volt masing-masing untuk kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam dan 20 km/jam. Sedangkan pada HMERSA dengan output 2 generator terpasang Paralel terlihat daya bangkitan tegangan dari generator 1 masing masing adalah 0,72 volt ; 4,82 volt ; dan 5,7 volt, masing-masing untuk kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam dan 20 km/jam. Daya bangkitan tertinggi terdapat pada HMERSA dengan output 2 generator yang terpasang seri yaitu 8,22 volt. Hal tersebut menjelaskan bahwa HMERSA dengan output 2 generator yang terpasang seri daya bangkitannya lebih baik dari pada HMERSA dengan output 2 generator yang terpasang Paralel.



(a)



(b)



(c)

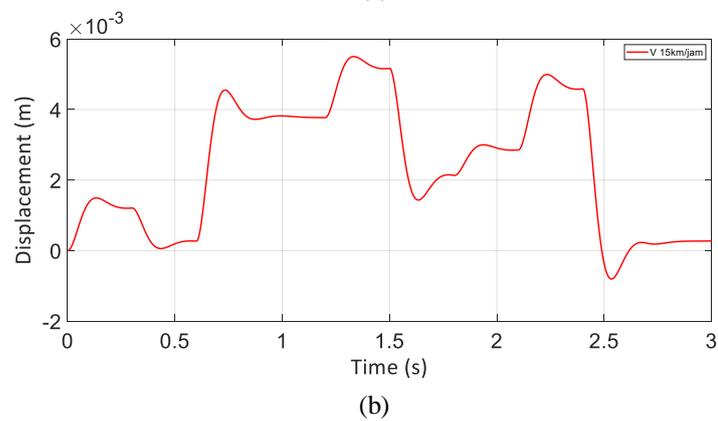
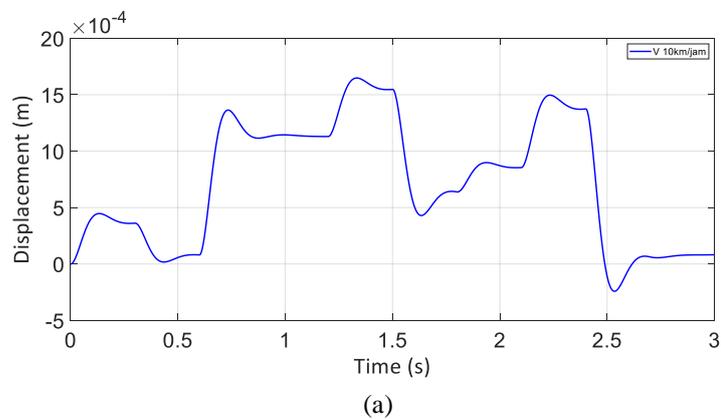
Gambar 4.16 Perbandingan Hasil Simulasi HMERSA Seri dan Paralel terhadap Daya Bangkitan Generator 1 pada Kendaraan melewati Polisi Tidur pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.

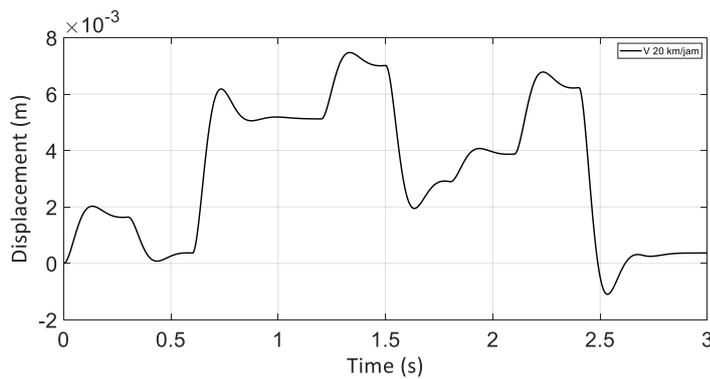
4.2.2 Simulasi dengan Profil Jalan Speed Trap

4.2.2.1 Simulasi HMERSA dengan Output 2 Generator Terpasang Seri pada Profil Jalan Speed Trap

Profil jalan *speed trap* pada dasarnya sama dengan polisi tidur. Hal yang menjadi perbedaan adalah ukuran dari *speed trap* yang lebih kecil, namun jumlahnya yang banyak. Dalam hal ini dimensi dari *speed trap* untuk simulasi mengikuti dimensi *speed trap* pengujian. Dimensi dari *speed trap* adalah $H = 15$ mm dan $L = 150$ mm sesuai pada Gambar 3.14. Terdapat 5 buah *speed trap* dengan jarak masing-masing *speed trap* 350 mm.

Gambar 4.17 menunjukkan respon dinamis berupa perpindahan dari body kendaraan untuk masing-masing kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Tren dari perpindahan pada body kendaraan adalah perpindahan bernilai positif selama kendaraan melewati *speed trap*. Nilai perpindahan maksimal yang ditransfer pada body kendaraan maksimal 7,4 mm pada kecepatan 20 km/jam. Dengan meningkatnya kecepatan, maka nilai perpindahan body akan semakin meningkat untuk kecepatan 10km/jam perpindahan bodynya sebesar 0,4 mm dan untuk kecepatan 15km/jam perpindahan bodynya sebesar 5.5 mm

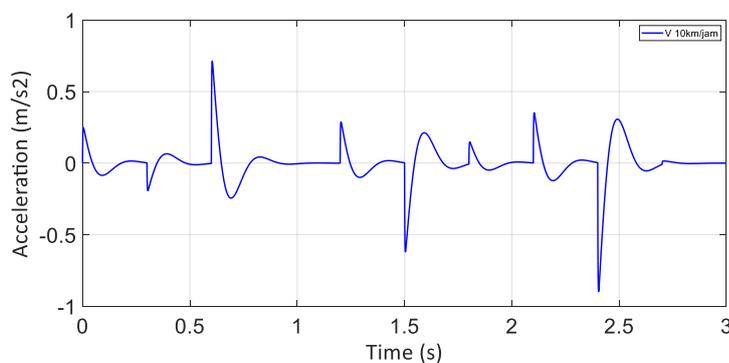




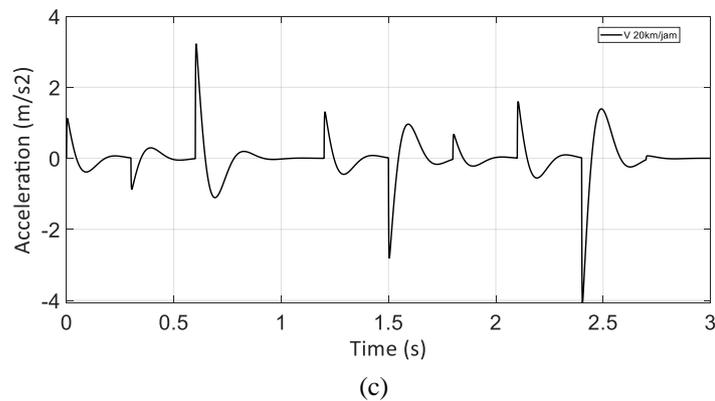
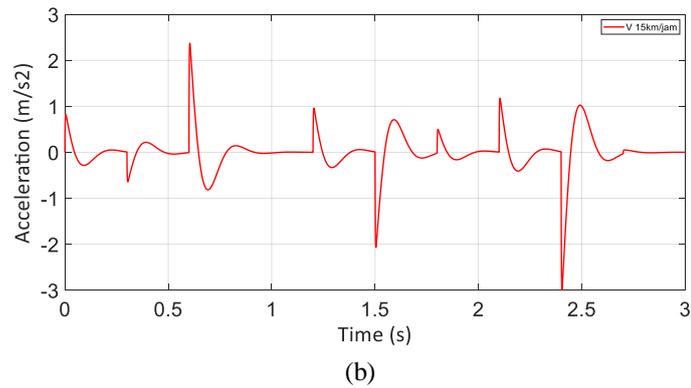
(c)

Gambar 4.107 Simulasi HMERSA Seri Respon Dinamis Perpindahan Body Kendaraan Speed Trap pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.

Gambar 4.18 merupakan respon dinamis berupa percepatan vertikal body kendaraan melewati *speed trap* pada masing-masing kecepatan. Nilai respon percepatan mengikuti kontur jalan *speed trap*, yaitu terjadi getaran berulang-ulang dalam waktu yang singkat. Nilai percepatan maksimal yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan polisi tidur yaitu $3,2 \text{ m/s}^2$ pada kecepatan 20 km/jam. Seiring dengan meningkatnya kecepatan, maka respon percepatan maksimal akan semakin besar proporsional dengan daya bangkitan yang dihasilkan. Berdasarkan tingkat kenyamanan pengemudi yang ada pada Tabel 4.2, pada kecepatan 10 km/jam respon percepatan body yaitu sebesar $0,7 \text{ m/s}^2$ maka level kenyamanannya adalah sedikit tidak nyaman. pada kecepatan 15 km/jam respon percepatan body yaitu sebesar $2,3 \text{ m/s}^2$ maka level kenyamanannya adalah sangat tidak nyaman. pada kecepatan 20 km/jam respon percepatan body yaitu sebesar $3,2 \text{ m/s}^2$ maka level kenyamanannya adalah amat sangat tidak nyaman.

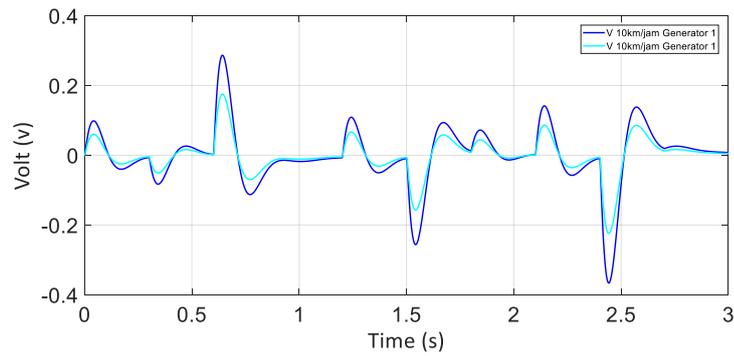


(a)

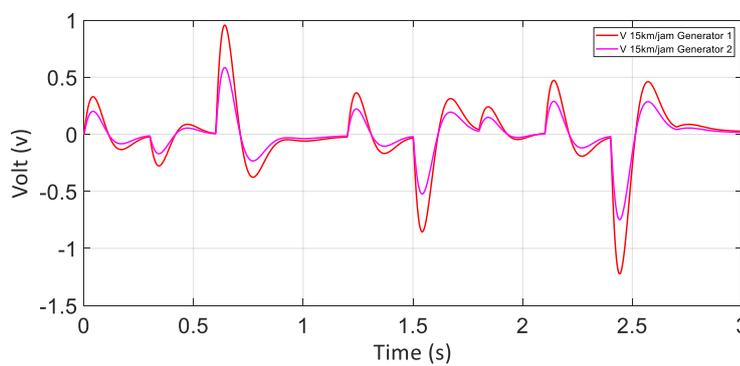


Gambar 4.118 Simulasi HMERSA Seri Respon Dinamis Percepatan Body Kendaraan Speed Trap pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam dan (c) 20 km/jam.

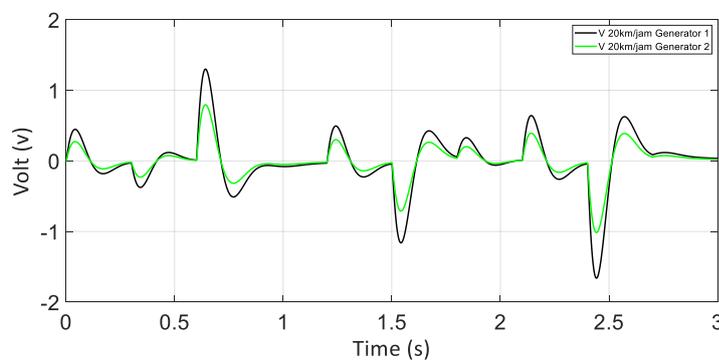
Gambar 4.19 menunjukkan daya bangkitan yang dihasilkan melewati *speed trap* pada kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Pola daya bangkitan yang dihasilkan sesuai dengan profil eksitasi jalan. Tegangan maksimal terjadi pada kecepatan 20 km/jam yaitu mencapai 1,29 Volt. Tegangan yang dihasilkan pada generator 1 adalah 0,28 Volt ; 0,95 Volt ; dan 1,29 Volt masing-masing untuk kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam Tegangan yang dihasilkan pada generator 2 adalah 0,17 Volt ; 0,58 Volt ; dan 0,79 Volt masing-masing untuk kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Dengan meningkatnya kecepatan maka daya bangkitan yang dihasilkan akan semakin besar. Tegangan yang dihasilkan melewati *speed trap* lebih kecil dibandingkan dengan polisi tidur



(a)



(b)



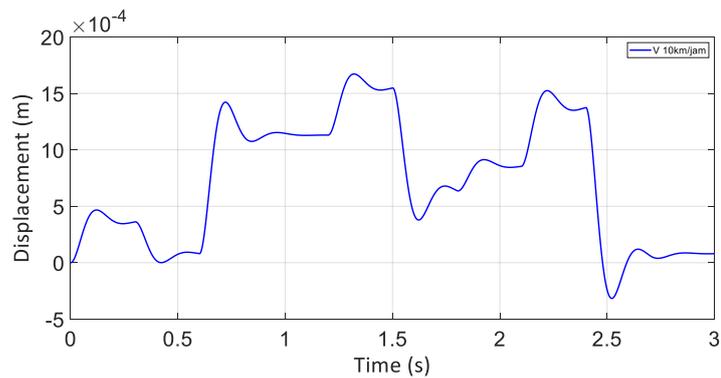
(c)

Gambar 4.129 Simulasi HMERSA Seri Daya Bangkitan Melewati Speed Trap pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.

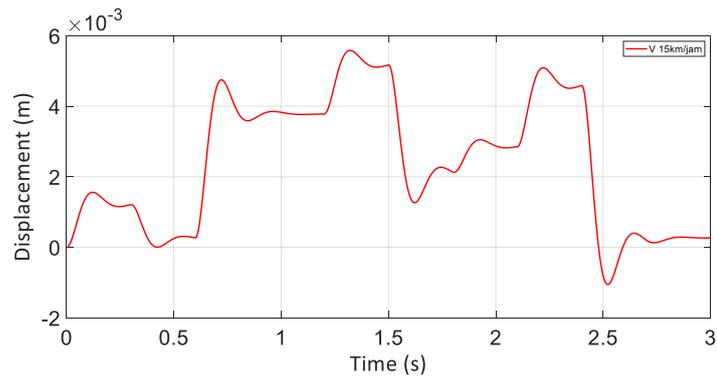
4.2.2.2 Simulasi HMERSA dengan Output 2 Generator Terpasang Parallel pada Profil Jalan Speed Trap

Gambar 4.20 menunjukkan respon dinamis berupa perpindahan dari body kendaraan untuk masing-masing kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Tren dari perpindahan pada body kendaraan adalah perpindahan bernilai positif selama kendaraan melewati *speed trap*. Nilai perpindahan maksimal yang

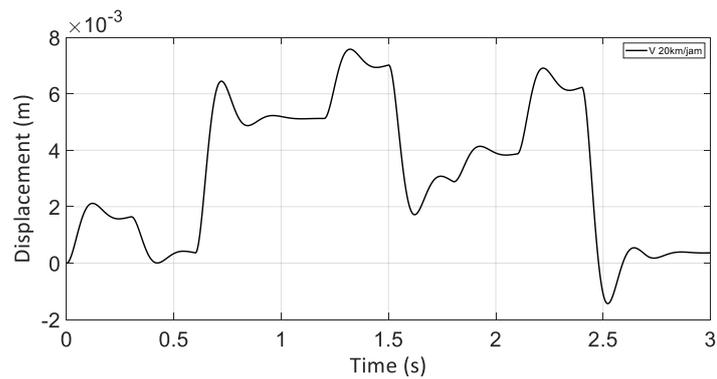
ditransfer pada body kendaraan maksimal 7,58 mm pada kecepatan 10 km/jam. Dengan meningkatnya kecepatan, maka nilai perpindahan body akan semakin meningkat untuk kecepatan 10km/jam perpindahan bodynya sebesar 1,6 mm dan untuk kecepatan 15km/jam perpindahan bodynya sebesar 5.58 mm



(a)



(b)

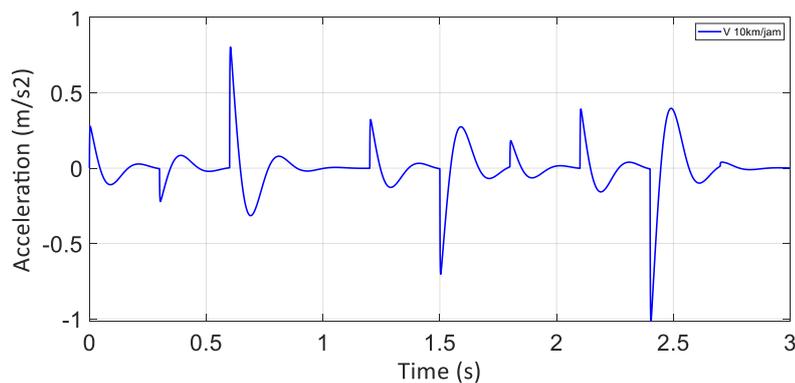


(c)

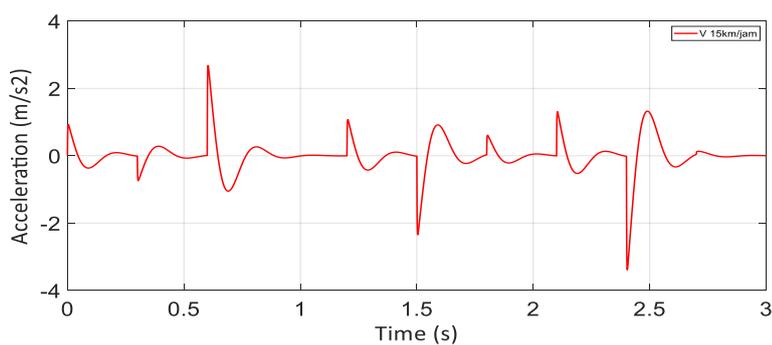
Gambar 4.20 Simulasi HMERSA Parallel Respon Dinamis Perpindahan Body Kendaraan Speed Trap pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.

Gambar 4.21 merupakan respon dinamis berupa percepatan vertikal body kendaraan melewati *speed trap* pada masing-masing kecepatan. Nilai respon

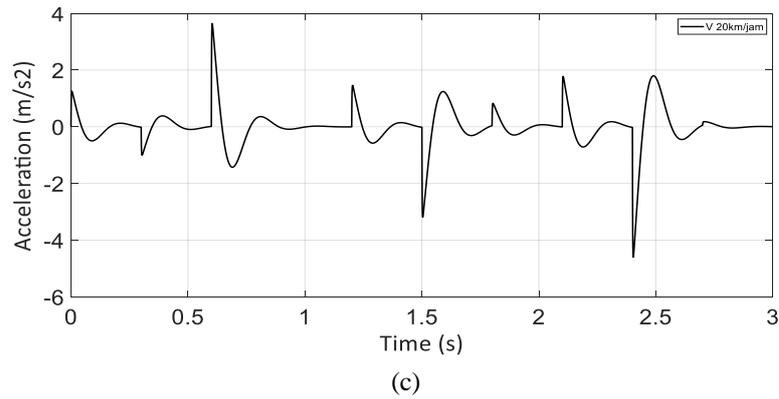
percepatan mengikuti kontur jalan *speed trap*, yaitu terjadi getaran berulang-ulang dalam waktu yang singkat. Nilai percepatan maksimal yang dihasilkan lebih kecil dibandingkan dengan polisi tidur yaitu $3,612 \text{ m/s}^2$ pada kecepatan 20 km/jam. Seiring dengan meningkatnya kecepatan, maka respon percepatan maksimal akan semakin besar proporsional dengan daya bangkitan yang dihasilkan. Berdasarkan tingkat kenyamanan pengemudi yang ada pada Tabel 4.2, pada kecepatan 10 km/jam respon percepatan body yaitu sebesar $0,79 \text{ m/s}^2$ maka level kenyamanannya adalah sedikit tidak nyaman. pada kecepatan 15 km/jam respon percepatan body yaitu sebesar $2,6 \text{ m/s}^2$ maka level kenyamanannya adalah amat sangat tidak nyaman. pada kecepatan 20 km/jam respon percepatan body yaitu sebesar $3,612 \text{ m/s}^2$ maka level kenyamanannya adalah amat sangat tidak nyaman.



(a)

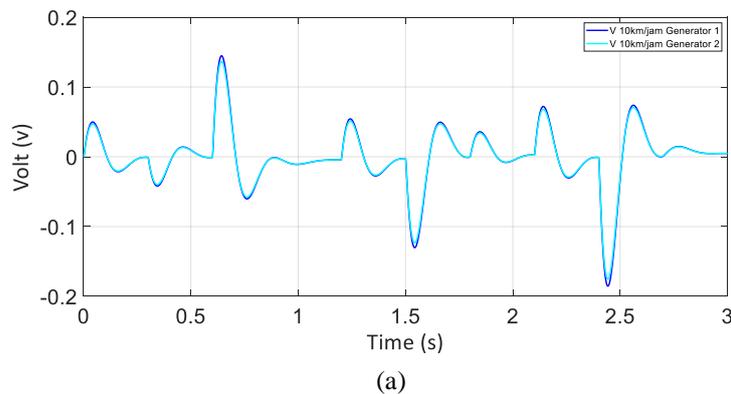


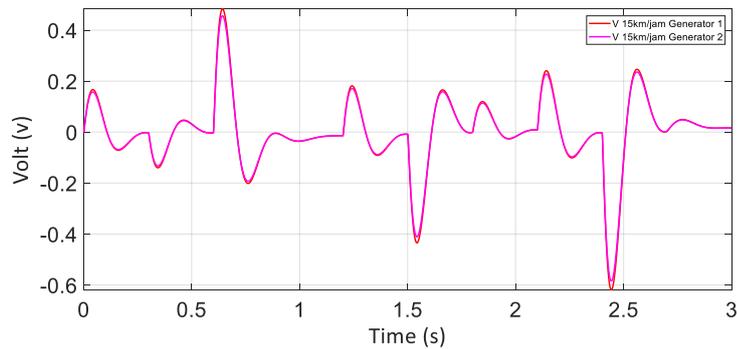
(b)



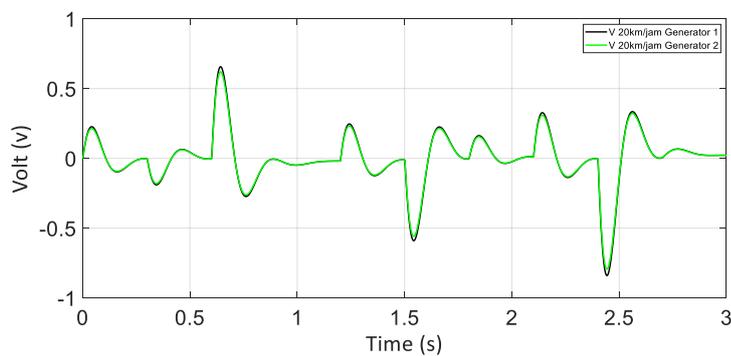
Gambar 4.21 Simulasi HMERSA Parallel Respon Dinamis Percepatan Body Kendaraan Speed Trap pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam dan (c) 20 km/jam.

Gambar 4.22 menunjukkan daya bangkitan yang dihasilkan melewati *speed trap* pada kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Pola daya bangkitan yang dihasilkan sesuai dengan profil eksitasi jalan. Tegangan maksimal terjadi pada kecepatan 20 km/jam yaitu mencapai 0,65 Volt. Tegangan yang dihasilkan pada generator 1 adalah 0,14 Volt ; 0,48 Volt ; dan 0,65 Volt masing-masing untuk kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam Tegangan yang dihasilkan pada generator 2 adalah 0,13 Volt ; 0,45 Volt ; dan 0,61 Volt masing-masing untuk kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Dengan meningkatnya kecepatan maka daya bangkitan yang dihasilkan akan semakin besar. Tegangan yang dihasilkan melewati *speed trap* lebih kecil dibandingkan dengan polisi tidur





(b)



(c)

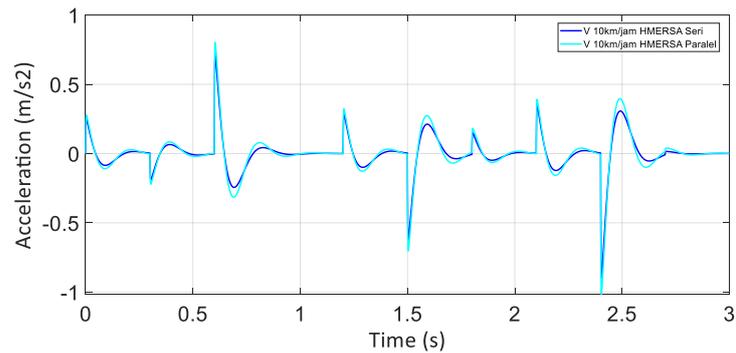
Gambar 4.22 Simulasi HMERSA Paralel Daya Bangkitan Melewati Speed Trap pada Kecepatan 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.

4.2.2.3 Perbandingan Simulasi HMERSA dengan Output 2 Generator Terpasang Seri dan Paralel pada Profil Jalan *Speed Trap*

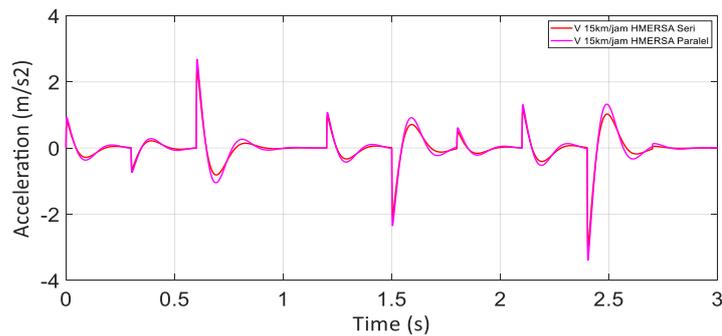
Seperti yang dijelaskan pada sub bab diatas hasil simulasi HMERSA dengan output 2 generator terpasang seri dan Paralel akan menjadi perbandingan sistem manakah yang lebih baik, baik itu terhadap respon dinamis maupun daya bangkitan yang dihasilkan. Hasil simulasi yang ditampilkan adalah berupa percepatan vertikal bodi kendaraan dan tegangan yang dihasilkan dari generator 1.

Gambar 4.23 merupakan perbandingan respon dinamis berupa percepatan vertikal body kendaraan. Pada HMERSA dengan output 2 generator terpasang seri terlihat bahwa percepatan dari body kendaraan masing masing adalah $0,7 \text{ m/s}^2$; $2,3 \text{ m/s}^2$; dan $3,2 \text{ m/s}^2$ masing-masing untuk kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam dan 20 km/jam. Sedangkan pada HMERSA dengan output 2 generator terpasang Paralel terlihat bahwa percepatan dari body kendaraan masing masing adalah $0,79 \text{ m/s}^2$; $2,6 \text{ m/s}^2$; dan $3,612 \text{ m/s}^2$ masing-masing untuk kecepatan 10 km/jam,

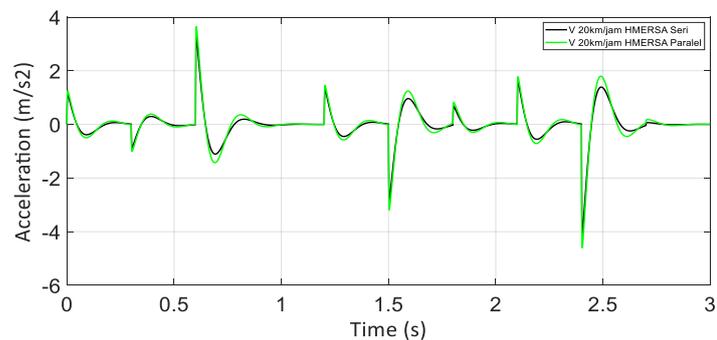
15 km/jam dan 20 km/jam. Percepatan vertical body tertinggi terdapat pada HMERSA dengan output 2 generator yang terpasang Paralel yaitu $3,612 \text{ m/s}^2$ Hal tersebut menjelaskan bahwa HMERSA dengan output 2 generator yang terpasang seri daya redamnya lebih baik dari pada HMERSA dengan output 2 generator yang terpasang Paralel.



(a)



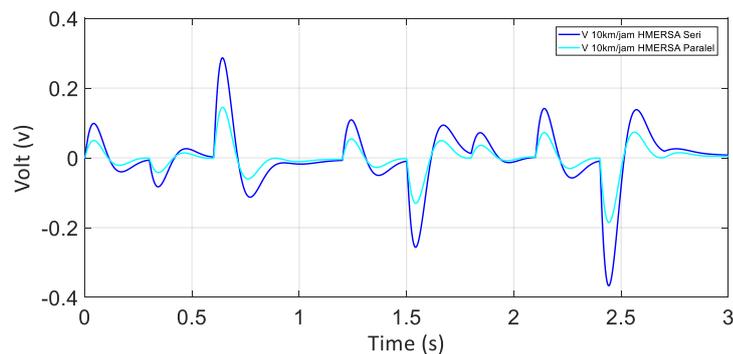
(b)



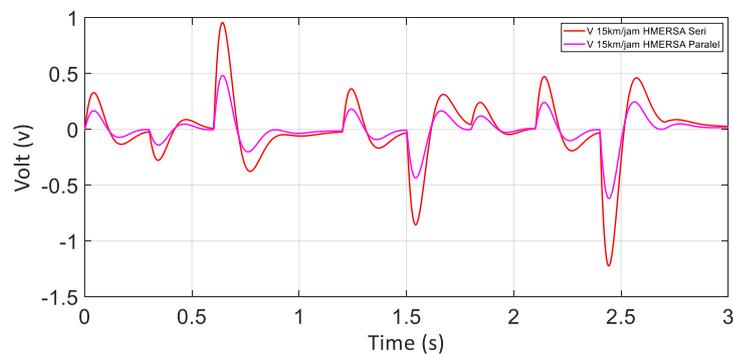
(c)

Gambar 4.133 Perbandingan Hasil Simulasi HMERSA Seri dan Paralel terhadap Percepatan Vertikal Body Kendaraan melewati Speed Trap pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.

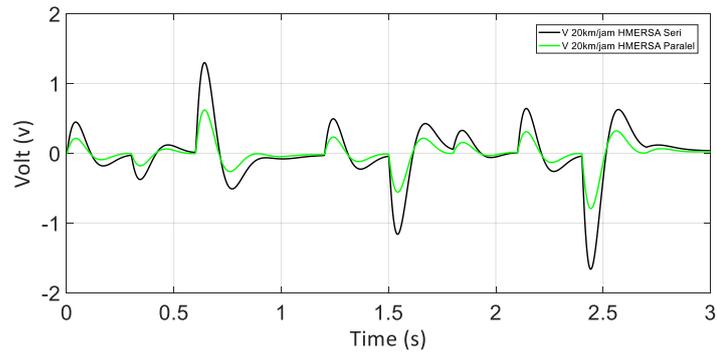
Gambar 4.24 merupakan perbandingan simulasi daya bangkitan yang dihasilkan oleh HMERSA Seri dan Paralel. HMERSA dengan output 2 generator terpasang seri terlihat bahwa daya bangkitan tegangan dari generator 1 masing masing adalah 0,28 volt ; 0,95 volt ; dan 1,29 volt masing-masing untuk kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam dan 20 km/jam. Sedangkan pada HMERSA dengan output 2 generator terpasang Paralel terlihat daya bangkitan tegangan dari generator 1 masing masing adalah 0,14 volt ; 0,48 volt ; dan 0,65 volt, masing-masing untuk kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam dan 20 km/jam. Daya bangkitan tertinggi terdapat pada HMERSA dengan output 2 generator yang terpasang seri yaitu 1,29 volt. Hal tersebut menjelaskan bahwa HMERSA dengan output 2 generator yang terpasang seri daya bangkitannya lebih baik dari pada HMERSA dengan output 2 generator yang terpasang Paralel.



(a)



(b)

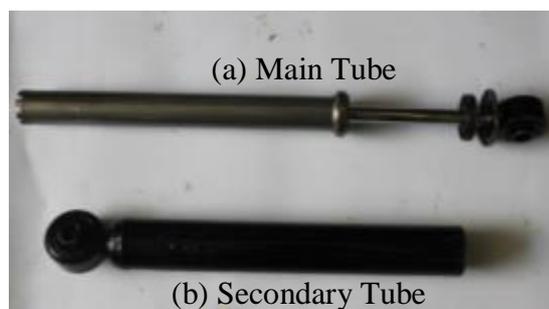


(c)

Gambar 4.144 Perbandingan Hasil Simulasi HMERSA Seri dan Paralel terhadap Daya Bangkitan Generator 1 pada Kendaraan melewati Speed Trap pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.

4.3 Perancangan dan Pembuatan Prototipe HMERSA Seri dan Paralel

Pembuatan Prototipe ini terbagi menjadi 2 yaitu HMERSA dengan 2 Output Generator yang terpasang Seri dan Paralel. Sebelum membuat prototype secara lengkap, perlu dilakukannya modifikasi pada absorber agar prototype dapat berjalan dengan baik. Pertama yaitu melakukan pemotongan pada *secondary tube*. Pemotongan ini bertujuan untuk membuat separator antara *reverse chamber* dan *expansion chamber*



Gambar 4.25 Pemotongan pada Secondary Tube (a) Main Tube (b) Secondary Tube

Pembuatan separator antara *reverse chamber* dan *expansion chamber* dilakukan dengan menambahkan *gland packing* seperti pada gambar 4.26 (b). *seal gland packing* biasanya digunakan sebagai *seal* pompa, dimana *seal* ini cocok untuk material fluida. Setelah *gland packing* terpasang kemudian ditambahkan *red silicon*, hal ini bertujuan sebagai *double* proteksi kebocoran separator. Pemilihan *red silicone* sebagai *seal* kedua adalah sifatnya yang tahan panas. Setelah absorber selesai ditambahkan separator maka absorber disambung kembali dengan

pengelasan. Penggunaan *red silicone* ini bertujuan agar seal tidak rusak saat disambung dengan las.



Gambar 4.156 Modifikasi tabung shock absorber (a) tanpa separator (b) Separator dengan karbon gland packing, (c) Penambahan red silicone

Langkah selanjutnya adalah penyambungan modifikasi absorber dengan pengelasan. Perlu diperhatikan saat pengelasan harus menggunakan ampere yang rendah mengingat tebal dari *secondary tube* 1,5mm rentan berlubang dan mengakibatkan kebocoran pada absorber. Setelah absorber tersambung langkah selanjutnya adalah *finishing*. Memperbaiki permukaan pengelasan, memberikan lapisan epoxy untuk mejamin dan sebagai *double protection* jika pengelasan kurang baik. Setelah itu adalah *re-painting* absorber agar terlihat lebih menarik.



Gambar 4.167 Penyambungan dan Re-Painting Absorber

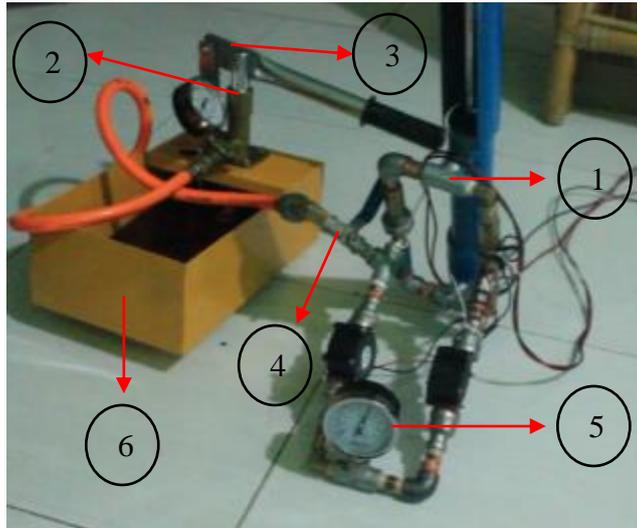
Untuk memastikan proses penyambungan dan proses pembuatan separator berjalan dengan baik maka proses selanjutnya adalah test kebocoran. Gambar 4.28 menunjukkan absorber ditest dengan *pressure* 5 bar selama 4 jam. Setelah 4 jam dilihat kembali apakah terjadi penurunan tekanan pada *pressure gauge*. Jika terjadi penurunan tekanan menandakan absorber masih mengalami kebocoran.



Gambar 4.178 Test Kebocoran Absorber yang telah dimodifikasi

Proses perakitan awal HMERSA, terpasang 4 buah check valve yang membuat aliran menjadi searah. Tujuannya agar tekanan yang dihasilkan oleh pergerakan shock absorber dapat lebih maksimal saat memutar generator. Disamping itu, dengan aliran satu arah, putaran generator juga akan searah sehingga tidak merusak generator. Perancangan saluran di desain dengan memperhatikan maintenance sehingga dibuat agar semua komponen dapat di lepas dan di ganti.

Setelah HMERSA selesai di rakit, dilakukan percobaan untuk mengetahui apakah alat tersebut sudah layak di uji coba pada kendaraan. Oli suspensi dimasukkan kembali kedalam HMERSA menggunakan alat *Hydro pressure static test*. Gambar 4.29 menunjukkan bagaimana konsep kerja dari *hydro static pressure test* sebagai pompa oil sekaligus sebagai alat test kebocoran. Oli hydraulic dimasukkan dalam *chamber hydro static pressure test*. Sebelum dipompa pastikan selang sudah tersambung pada HMERSA. Untuk mengetahui HMERSA mengalami Kebocoran atau tidak, HMERSA diberikan tekanan sebesar 5 bar dan ditunggu selama 4 jam sama seperti pengetesan pada absorber diatas.



Gambar 4.189 Oil Filling dan Test Kebocoran HMERSA

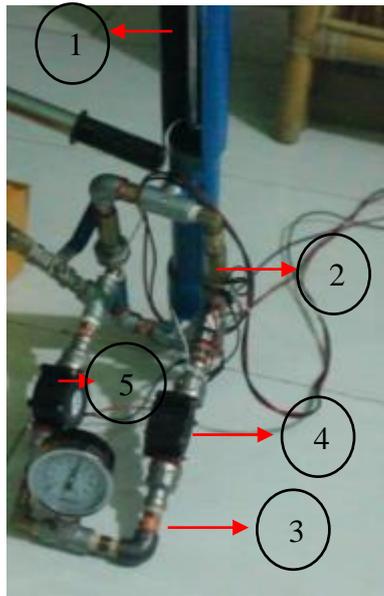
Keterangan gambar:

- 1 = *Shock Absorber* HMERSA
- 2 = *Hydraulic Pump*
- 3 = *Manual Handle Hydraulic Pump*
- 4 = *Selang Penghubung*
- 5 = *Pressure Gauge*
- 6 = *Chamber Hydraulic Static Pressure Test*

4.4 Pengujian HMERSA pada Kendaraan

4.4.1 Pemasangan HMERSA pada Kendaraan

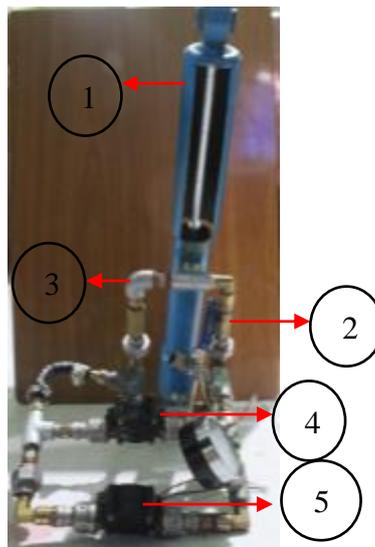
HMERSA yang akan dipasang kendaraan terdapat 2 tipe yaitu HMERSA dengan 2 output generator terpasang seri dan HMERSA dengan 2 output generator terpasang Paralel. Pada gambar 4.30 dan gambar 4.31 terlihat jelas perbedaan antara HMERSA dengan 2 output generator terpasang seri dan HMERSA dengan 2 output generator terpasang Paralel. Perbedaannya hanya terdapat pada generator yang terpasang seri dan Paralel. Tekanan yang di input pada kedua HMERSA ini adalah sebesar 1.8 bar.



Gambar 4.30 Sistem HMERSA dengan 2 Output Generator Terpasang Seri

Keterangan gambar:

- 1 = *shock absorber* HMERSA
- 2 = *check valve*
- 3 = pipa \varnothing 1/4 in
- 4 = generator hidraulis 1
- 5 = generator hidraulis 2



Gambar 4.31 Sistem HMERSA dengan 2 Output Generator Terpasang Paralel

Keterangan gambar:

- 1 = *shock absorber* HMERSA
- 2 = *check valve*
- 3 = pipa Ø 1/4 in
- 4 = generator hidraulis 1
- 5 = generator hidraulis 2

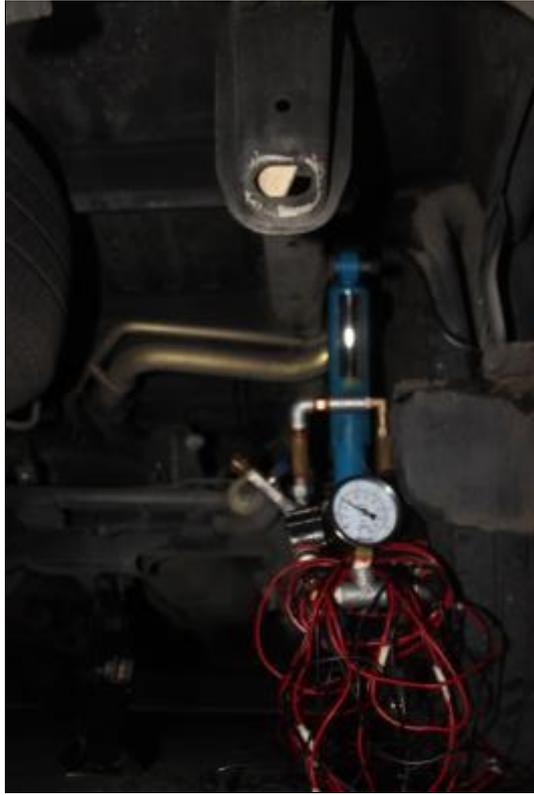
4.4.2 Pemasangan Sistem HMERSA pada Kendaraan Minibus

Pengujian sistem HMERSA dilakukan pada kendaraan minibus Toyota avanza type s. Minibus Toyota avanza dipilih karena merupakan salah satu jenis kendaraan yang paling banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia sebagai alat transportasi antar kota, provinsi maupun antar pulau. proses pemasangan HMERSA dapat dilihat pada gambar 4.32 dan 4.33.

Proses pemasangan HMERSA dimulai dengan melepas *Conventional Shock Absorber* pada sebelah kanan belakang kendaraan. Sisi sebelah kanan kendaraan dipilih karena bentuk dari sistem HMERSA yang cocok untuk dipasang pada sebelah kanan, dan juga karena posisi *shock absorber* sebelah kanan tidak tertutup oleh as roda, sehingga proses pemasangan akan lebih mudah. Setelah *shock absorber* dilepas, sistem HMERSA dipasang menggantikan tempat *shock absorber*.



(a)



(b)

Gambar 4.192 HMERSA Seri yang Terpasang pada Kendaraan (a) Tampak Samping (b) Tampak Belakang



(a)



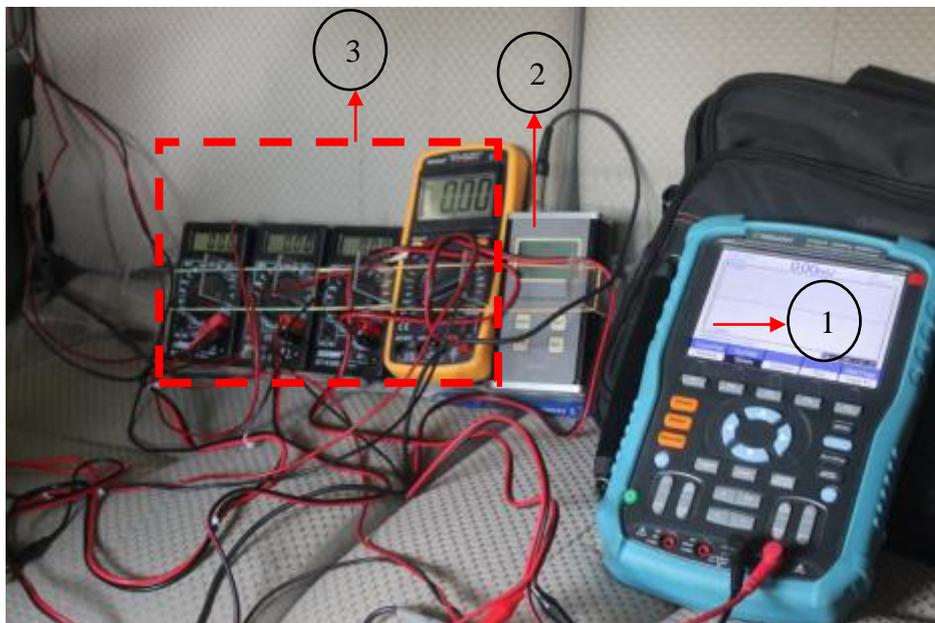
(b)

Gambar 4.203 HMERSA Parallel yang Terpasang pada Kendaraan (a) Tampak Samping

(b) Tampak Belakang

4.4.3 Instalasi Peralatan Pengambilan Data

Setelah HMERSA dipasang, peralatan lain untuk menunjang proses pengambilan data juga dipasang dan diatur baik posisi maupun pengaturan rangkaian. Alat-alat yang digunakan untuk mengambil data ditunjukkan pada gambar 4.34.



Gambar 4.214 Instalasi Peralatan Pengambilan Data

Keterangan gambar:

- 1 = *oscilloscope* SIGLENT SHS 820
- 2 = Vibrasi meter VM6370

3 = Avometer

Saat pengambilan data, semua peralatan diletakkan di tempat duduk penumpang bagian tengah. Semua peralatan pengambilan data yang digunakan berupa digital dan portable sehingga mudah untuk meletakkannya. Probe vibrasi meter diletakkan dibawah tempat duduk pengemudi seperti ditunjukkan pada gambar 4.35



Gambar 4.225 Probe Vibrasi Meter

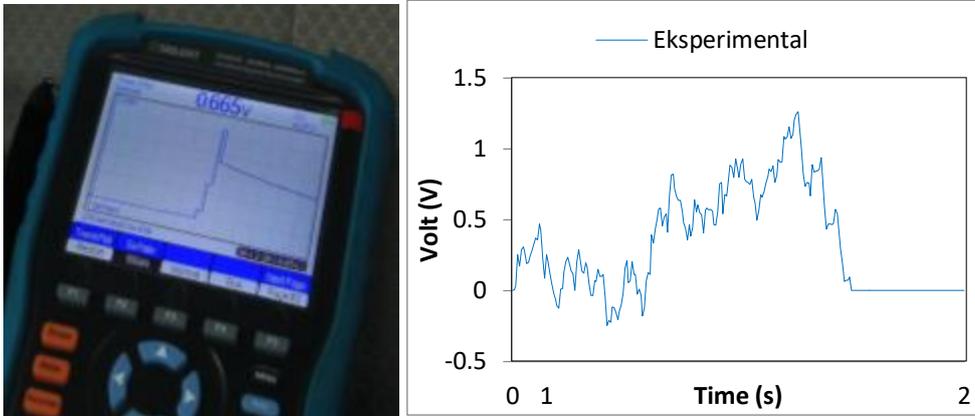
4.4.4 Pengujian Melewati Polisi Tidur

4.4.4.1 Voltase dan Daya Bangkitan yang Dihasilkan HMERSA Seri

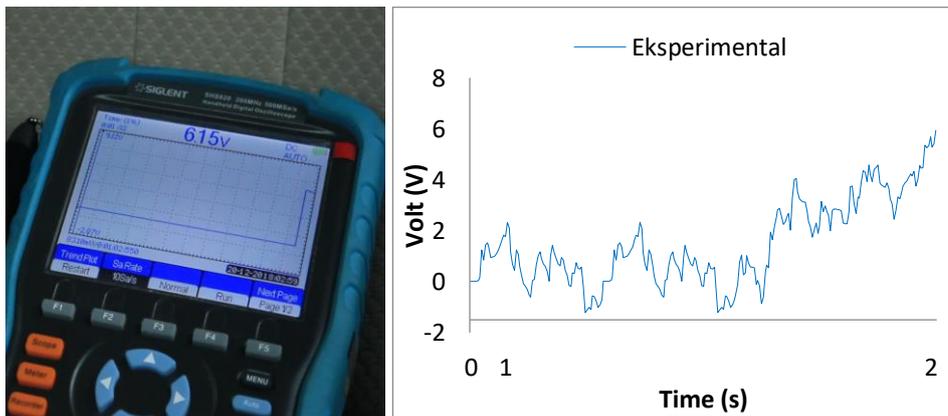
Pada pengujian kendaraan melewati polisi tidur, terdapat 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Masing-masing dari variasi kecepatan dilakukan pengambilan data sebanyak 1 kali. Profil polisi tidur dan lokasi yang digunakan dalam pengambilan data telah dijelaskan pada sub bab 3.7. Terdapat data berupa voltase bangkitan untuk masing-masing variasi kecepatan dan pengambilan data, serta respon dinamis berupa percepatan *chassis*. Hasil dari percepatan *chassis* kendaraan dengan pemasangan HMERSA akan dibandingkan dengan konvensional *shock absorber*.

Gambar 4.36 menunjukkan voltase dan daya bangkitan yang dihasilkan HMERSA ketika melewati polisi tidur dengan kecepatan 10 km/jam. Voltase bangkitan maksimal yang dihasilkan adalah 1,29 Volt dengan daya bangkitan maksimal 0,24 Watt Untuk Generator 1. Dan 0,6 Volt dengan daya maksimal 0,21watt Untuk Generator 2. Apabila dilihat dari nilai maksimal daya yang

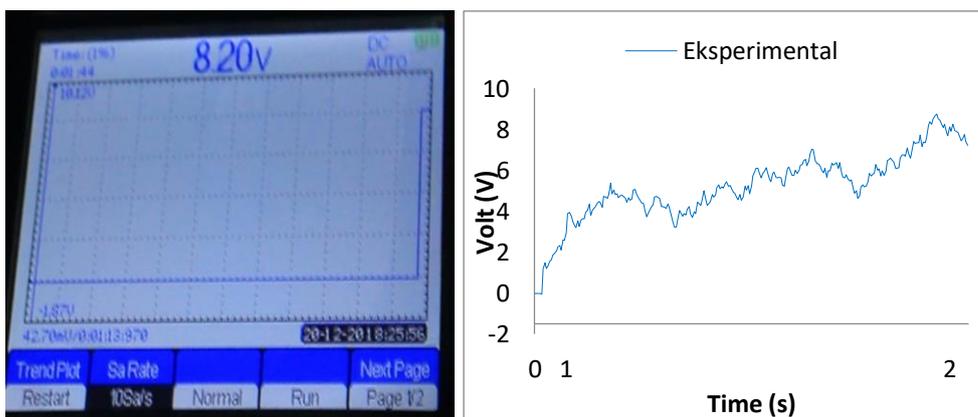
dihasilkan cukup kecil. Hal ini dipengaruhi oleh kapasitas maksimum dari generator yang hanya 12volt dan ampere maksimal sebesar 400mA.



Gambar 4.236 Voltase dan Daya HMERSA Seri Generator 1 Melewati Polisi Tidur 10 km/jam



Gambar 4.247 Voltase dan Daya HMERSA Seri Generator 1 Melewati Polisi Tidur 15 km/jam



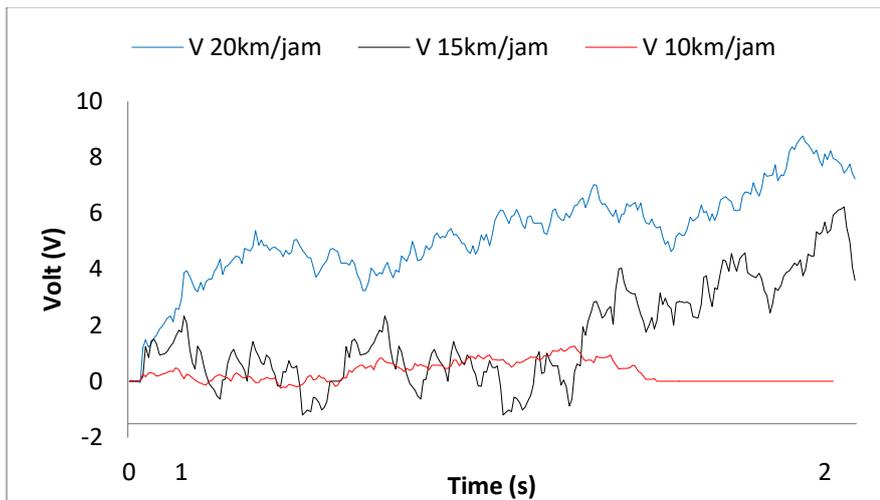
Gambar 4.258 Voltase dan Daya HMERSA Seri Generator 1 Melewati Polisi Tidur 20 km/jam

Gambar 4.37 menunjukkan voltase dan daya bangkitan yang dihasilkan HMERSA ketika melewati polisi tidur dengan kecepatan 15 km/jam. Dengan meningkatnya kecepatan, voltase dan daya bangkitan maksimal yang dihasilkan akan meningkat yaitu sebesar 6,15 Volt dan 1,29 Watt untuk generator 1. Dan 3,98 Volt dengan daya maksimal 0,83 watt Untuk Generator 2. Gambar 4.38 menunjukkan voltase dan daya HMERSA melewati polisi tidur pada kecepatan 20 km/jam. Pada kecepatan yang paling tinggi dari pengujian melewati polisi tidur, voltase dan daya bangkitan juga yang paling tinggi dibandingkan 10 km/jam dan 15 km/jam, yaitu mencapai 8,2 Volt dan 1,72 Watt untuk generator. Dan 5,97 Volt dengan daya maksimal 1,25 watt untuk generator 2.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Voltase dan Daya Bangkitan Melewati Polisi Tidur HMERSA Seri

Kecepatan (km/Jam)	Nilai Maksimal			
	Voltase (Volt)		Power (Watt)	
	Generator 1	Generator 2	Generator 1	Generator 2
10	1,29	0,6	0,24	0,12
15	6,12	3,98	1,28	0,83
20	8,2	5,97	1,722	1,25

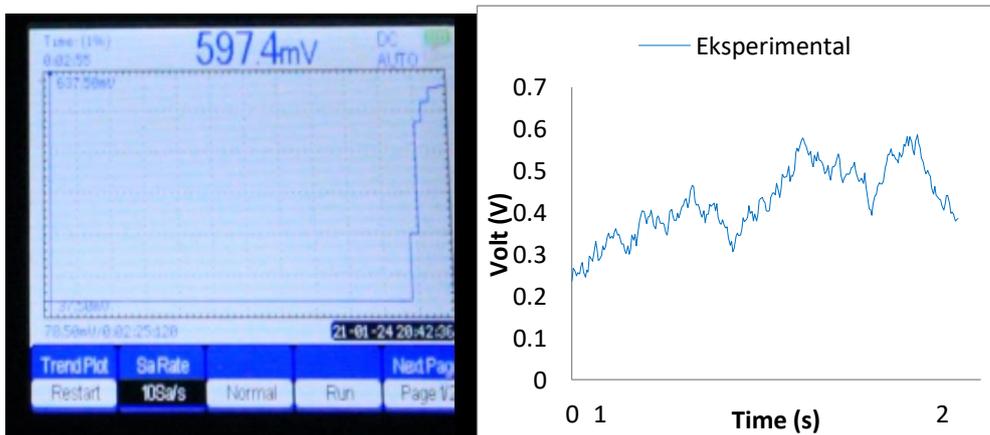
Tabel 4.5 menunjukkan rekapitulasi data berupa daya dan voltase maksimal dari masing-masing kecepatan dan percobaan. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, semakin meningkat kecepatan kendaraan, maka energi bangkitan yang dihasilkan akan semakin besar. Daya yang dihasilkan dipengaruhi oleh kecepatan putar generator. Dengan meningkatnya kecepatan kendaraan, maka frekuensi eksitasi HMERSA melewati polisi tidur juga akan semakin besar, sehingga menyebabkan kecepatan putar generator meningkat. Dalam hal ini maksimal daya bangkitan yang dihasilkan terjadi pada kecepatan 20 km/jam dengan daya sebesar 1,72 Watt. Gambar 4.39 menunjukkan perbedaan secara langsung daya bangkitan pada masing-masing kecepatan kendaraan.



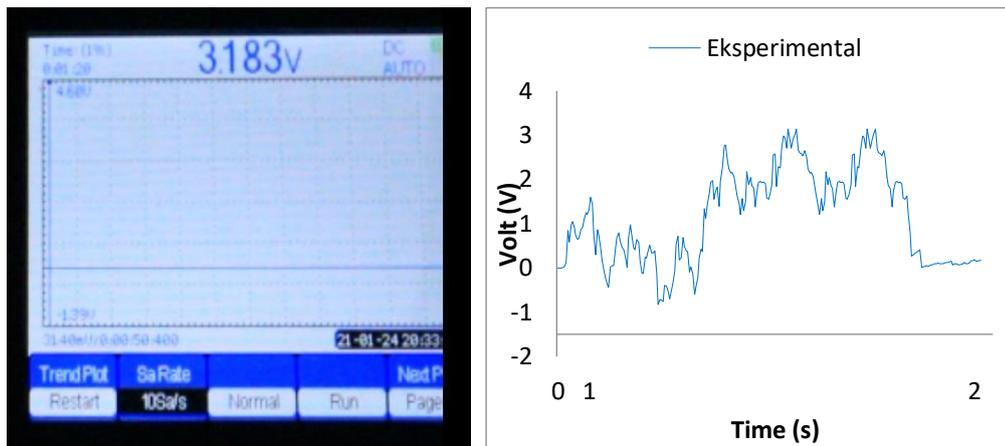
Gambar 4.269 Perbandingan Voltase Melewati Polisi Tidur untuk Tiap Kecepatan

4.4.4.2 Voltase dan Daya Bangkitan yang Dihasilkan HMERSA Parallel

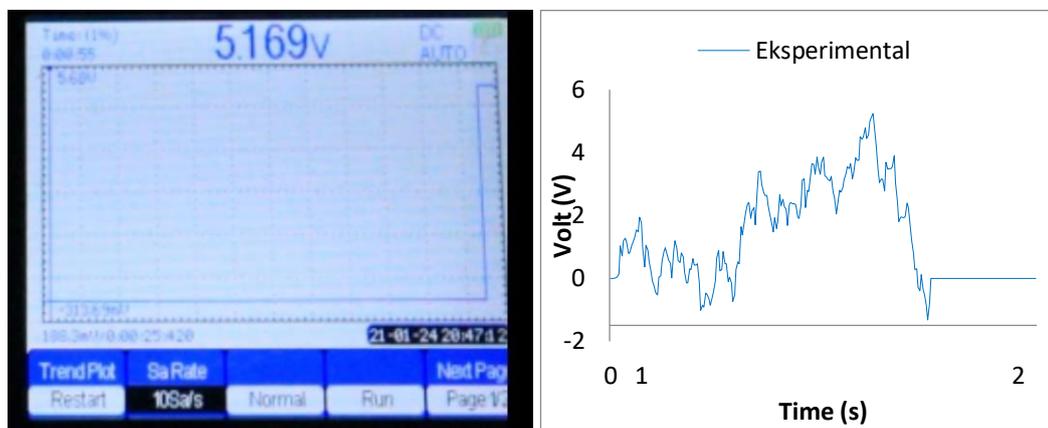
Gambar 4.40 menunjukkan voltase dan daya bangkitan yang dihasilkan HMERSA ketika melewati polisi tidur dengan kecepatan 10 km/jam. Voltase bangkitan maksimal yang dihasilkan adalah 0,59 Volt dengan daya bangkitan maksimal 0,12 Watt Untuk Generator 1. Dan 0,52 Volt dengan daya maksimal 0,10 watt Untuk Generator 2.



Gambar 4.40 Voltase dan Daya HMERSA Parallel Generator 1 Melewati Polisi Tidur 10 km/jam



Gambar 4.41 Voltase dan Daya HMERSA Parallel Generator 1 Melewati Polisi Tidur 15 km/jam



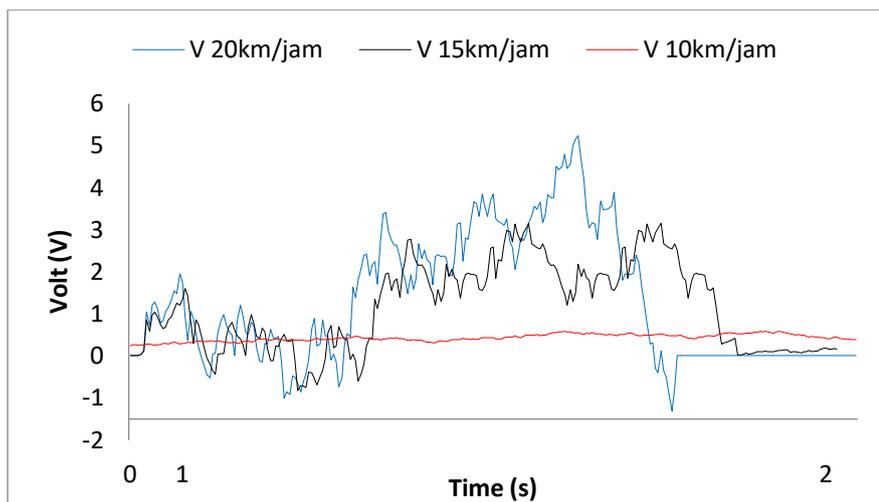
Gambar 4.42 Voltase dan Daya HMERSA Parallel Generator 1 Melewati Polisi Tidur 20 km/jam

Gambar 4.41 menunjukkan voltase dan daya bangkitan yang dihasilkan HMERSA ketika melewati polisi tidur dengan kecepatan 15 km/jam. Dengan meningkatnya kecepatan, voltase dan daya bangkitan maksimal yang dihasilkan akan meningkat yaitu sebesar 3,183 Volt dan 0,66 Watt untuk generator 1. Dan 2,56 Volt dengan daya maksimal 0,537 watt Untuk Generator 2. Gambar 4.42 menunjukkan voltase dan daya HMERSA melewati polisi tidur pada kecepatan 20 km/jam. Pada kecepatan yang paling tinggi dari pengujian melewati polisi tidur, voltase dan daya bangkitan juga yang paling tinggi dibandingkan 10 km/jam dan 15 km/jam, yaitu mencapai 5,169 Volt dan 1,08 Watt untuk generator. Dan 4,33 Volt dengan daya maksimal 0,91 watt untuk generator 2.

Tabel 4.6 Rekapitulasi Voltase dan Daya Bangkitan Melewati Polisi Tidur HMERSA Paralel

Kecepatan (km/Jam)	Nilai Maksimal			
	Voltase (Volt)		Power (Watt)	
	Generator 1	Generator 2	Generator 1	Generator 2
10	0,59	0,52	0,12	0,10
15	3,183	2,56	0,66	0,537
20	5,169	4,33	1,08	0,91

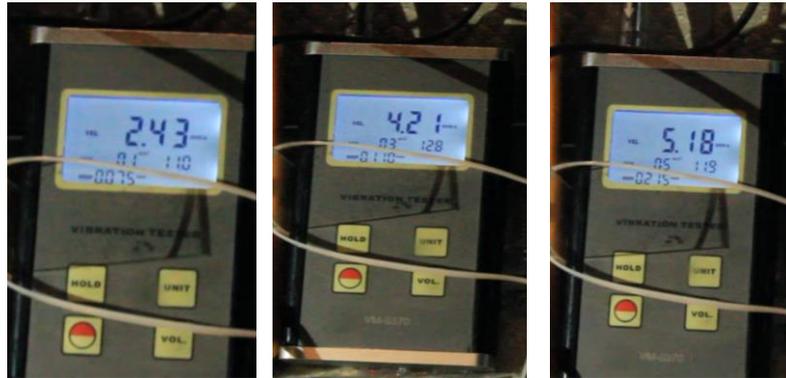
Gambar 4.43 menunjukkan perbedaan secara langsung daya bangkitan pada masing-masing kecepatan kendaraan.



Gambar 4.273 Perbandingan Voltase Melewati Polisi Tidur untuk Tiap Kecepatan

4.4.4.3 Respon Dinamis Kendaraan

Respon dinamis yang diukur adalah berupa perpindahan body, kecepatan dan percepatan vertikal *chassis* kendaraan. Nilai perpindahan body, kecepatan dan percepatan antara kendaraan dengan menggunakan konvensional *shock absorber* dengan HMERSA dibandingkan hasilnya. Gambar 4.44 menunjukkan respon dinamis kendaraan untuk absorber konvensional dengan kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.



Gambar 4.284 Perbandingan Respon Dinamis Absorber Konvensional Melewati Polisi Tidur untuk Tiap Kecepatan

Pada table 4.7 dijabarkan hasil respon dinamis dari absorber konvensional untuk tiap kecepatan. Pembahasan difokuskan pada nilai acceleration dikarenakan merupakan acuan nilai level kenyamanan berkendara. Semakin tinggi kecepatannya maka semakin tinggi pula nilai percepatannya. Pada kecepatan 10 km/jam percepatan yang dihasilkan adalah 1.1 m/s^2 Sesuai Table 4.1 pada kecepatan 10km/jam level kenyamanannya adalah tidak nyaman. Sedangkan pada kecepatan 15km/jam dan 20 km/jam didapat nilai sebesar 3.84 m/s^2 dan 5.95 m/s^2 dimana level kenyamanannya adalah amat sangat tidak nyaman.

Tabel 4.7 Hasil Respon Dinamis Absorber Konvensional Melewati Polisi tidur

Kecepatan km/jam	Respon Dinamis		
	Displacement (mm)	velocity (m/s)	Acceleration (m/s^2)
10	7.5	2.43	1.1
15	11	4.21	3.84
20	21.5	5.18	5.95

Gambar 4.45 menunjukkan respon dinamis kendaraan untuk HMERSA Seri dengan kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.



Gambar 4.295 Perbandingan Respon Dinamis HMERSA Seri Melewati Polisi Tidur untuk Tiap Kecepatan

Pada table 4.8 dijabarkan hasil respon dinamis dari HMERSA Seri untuk tiap kecepatan. Pada kecepatan 10 km/jam percepatan yang dihasilkan adalah 0.76 m/s^2 Sesuai Table 4.1 pada kecepatan 10km/jam level kenyamanannya adalah agak tidak nyaman. Sedangkan pada kecepatan 15km/jam dan 20 km/jam didapat nilai sebesar 10.14 m/s^2 dan 11.83 m/s^2 dimana level kenyamanannya adalah amat sangat tidak nyaman.

Tabel 4.8 Hasil Respon Dinamis HMERSA Seri Melewati Polisi tidur

Kecepatan km/jam	Respon Dinamis		
	Displacement (mm)	velocity (m/s)	Acceleration (m/s^2)
10	12	1.35	0.76
15	11	4.55	10.14
20	13.4	13.71	11.83

Gambar 4.46 menunjukkan respon dinamis kendaraan untuk HMERSA Seri dengan kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.



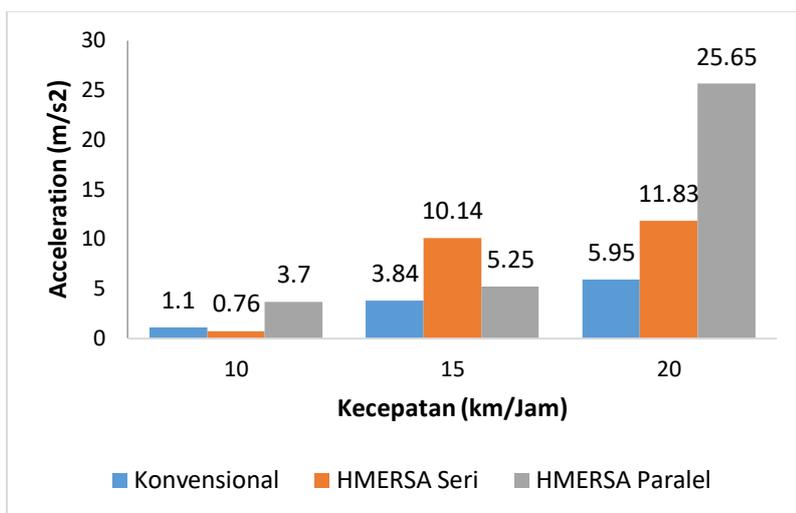
Gambar 4.306 Perbandingan Respon Dinamis HMERSA Parallel Melewati Polisi Tidur untuk Tiap Kecepatan

Pada table 4.9 dijabarkan hasil respon dinamis dari HMERSA Parallel untuk tiap kecepatan. Pada kecepatan 10 km/jam percepatan yang dihasilkan adalah 3.7 m/s^2 Sesuai Table 4.1 pada kecepatan 10km/jam level kenyamanannya adalah amat sangat tidak nyaman. Sedangkan pada kecepatan 15km/jam dan 20 km/jam didapat nilai sebesar 5.25 m/s^2 dan 25.65 m/s^2 dimana level kenyamanannya adalah juga amat sangat tidak nyaman.

Tabel 4.9 Hasil Respon Dinamis HMERSA Parallel Melewati Polisi tidur

Kecepatan km/jam	Respon Dinamis		
	Displacement (mm)	velocity (m/s)	Acceleration (m/s^2)
10	6.4	0.58	3.7
15	33.8	4.07	5.25
20	54.1	4.23	25.65

Gambar 4.47 menunjukkan perbandingan percepatan untuk konvensional *shock absorber* dan HMERSA. Pada konvensional *shock absorber*, nilai percepatan akan meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan, percepatan maksimal pada absorber konvensional yaitu 5.95 m/s^2 pada kecepatan 20km/jam. Sama halnya dengan HMERSA, nilai percepatan akan meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan kendaraan. Secara keseluruhan, nilai percepatan HMERSA Seri maupun Parallel lebih tinggi 2 kali lipat dibandingkan konvensional *shock absorber*. Apabila mengacu pada parameter kenyamanan kendaraan seperti tertulis pada Tabel 4.2, dengan mengacu pada percepatan vertikal *chassis* kendaraan, kemampuan meredam getaran dari HMERSA masih belum maksimal apabila dibandingkan dengan konvensional *shock absorber* pada saat melewati polisi tidur. Namun jika dilihat dari hasil percepatan redaman antara HMERSA Seri dan Parallel secara garis besar HMERSA Seri lebih baik daripada HMERSA Parallel.



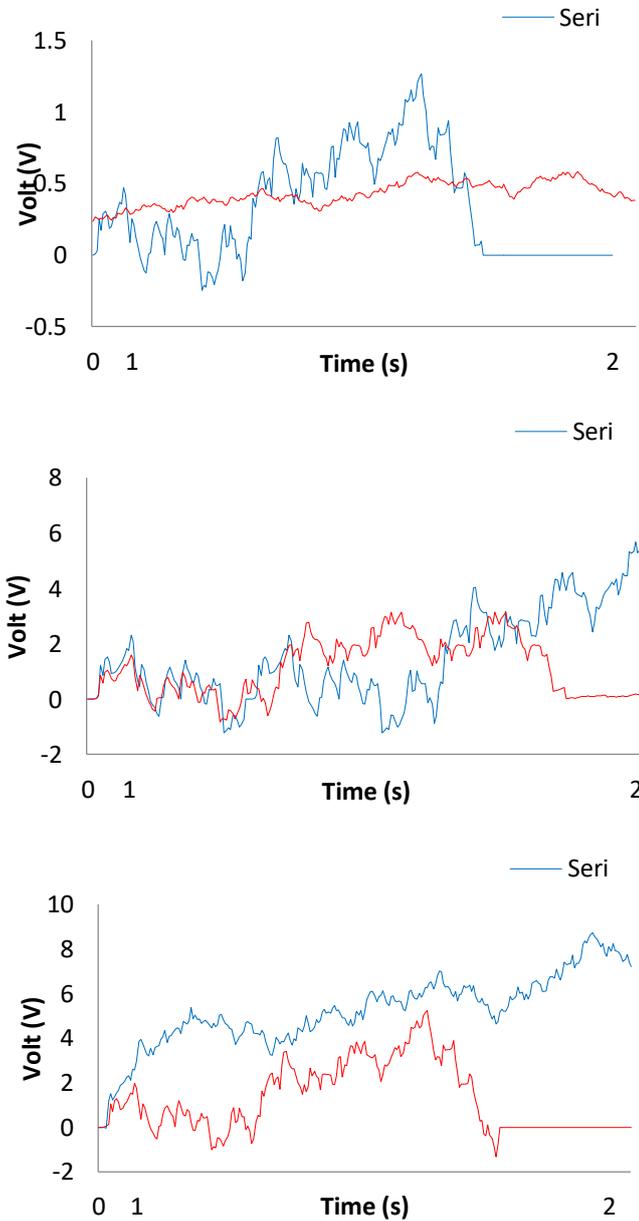
Gambar 4.317 Perbandingan Percepatan Konvensional Shock Absorber dengan HMERSA pada Profil Jalan Polisi Tidur

4.4.4.4 Perbandingan Voltase Dihasilkan HMERSA Seri dan Paralel

Gambar 4.48 merupakan perbandingan daya bangkitan yang dihasilkan oleh HMERSA Seri dan Paralel. HMERSA dengan output 2 generator terpasang seri terlihat bahwa daya bangkitan tegangan dari generator 1 masing masing adalah 1,29 volt ; 6,12 volt ; dan 8,2 volt masing-masing untuk kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam dan 20 km/jam. Sedangkan pada HMERSA dengan output 2 generator terpasang Paralel terlihat daya bangkitan tegangan dari generator 1 masing masing adalah 0,59 volt ; 3,183 volt ; dan 5,169 volt, masing-masing untuk kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam dan 20 km/jam. Daya bangkitan tertinggi terdapat pada HMERSA dengan output 2 generator yang terpasang seri yaitu 1,29 volt. Hal tersebut menjelaskan bahwa HMERSA dengan output 2 generator yang terpasang seri daya bangkitannya lebih baik dari pada HMERSA dengan output 2 generator yang terpasang Paralel.

Pada kendaraan avanza dengan kapasitas *cylinder* 1500 cc dengan bahan bakar 1 liter bensin mampu menempuh jarak 13,4 km. sedangkan pada mobil listrik rata rata 1 kwh mampu menempuh jarak 4,6 km atau bisa diasumsikan 1 liter bensin sekitar 2,6 kwh. Pada kendaraan listrik loss energynya tidak terlalu besar sekitar 35%. Dari energy loss ditambah dengan konsumsi daya listrik yang sebanding dengan 1 liter bensin daya totalnya yaitu sebesar 3664 watt. Pada

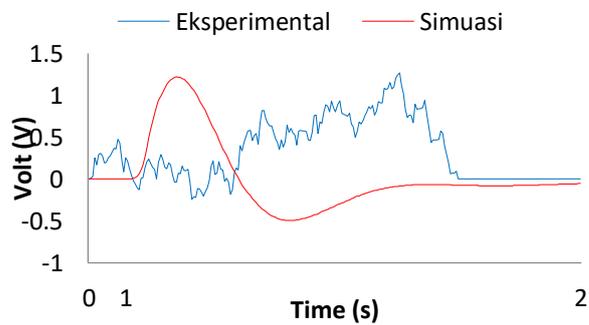
penelitian ini daya bangkitan maksimal yang dihasilkan sebesar 1,72 watt. Dari perbandingan antara konversi bahan bakar bensin ke daya listrik terhadap hasil dari penelitian ini dapat disimpulkan efisiensi energinya sebesar 0,046%.



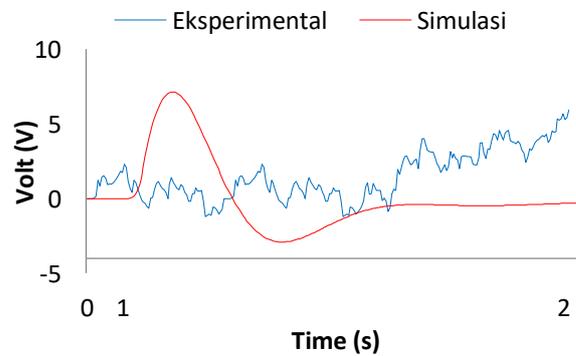
Gambar 4.328 Perbandingan Hasil HMERSA Seri dan Paralel terhadap Daya Bangkitan Generator 1 pada Kendaraan melewati Polisi Tidur pada Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.

4.4.4.5 Perbandingan dengan Hasil Simulasi

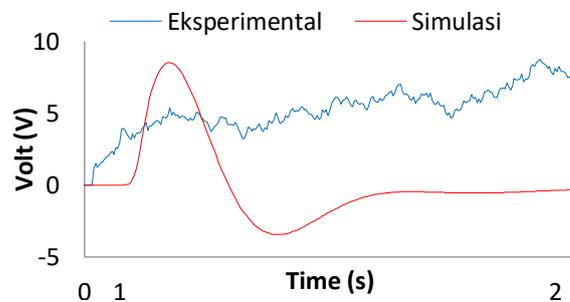
Gambar 4.49 menunjukkan perbandingan antara daya bangkitan antara simulasi dengan eksperimen HMERSA Seri untuk kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam. Secara keseluruhan untuk semua variasi kecepatan, pola daya bangkitan yang dihasilkan. Pada simulasi kecepatan 20 km/jam, tegangan maksimal yang dihasilkan mencapai 8.22 volt, sedangkan pada eksperimen, tegangan maksimal yang dihasilkan mencapai 8.2 volt. Perbedaan nilai daya maksimal yang dihasilkan ini cukup kecil.



(a)



(b)



(c)

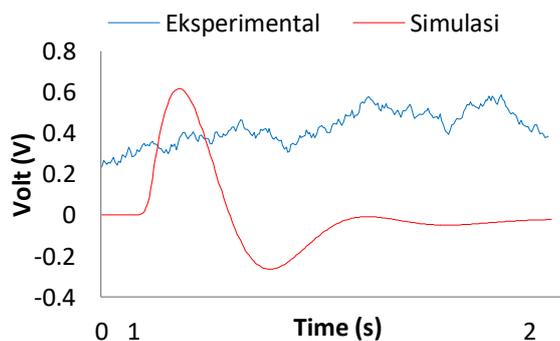
Gambar 4.339 Perbandingan Daya Bangkitan Polisi Tidur Antara Simulasi dengan Eksperimen HMERSA Seri untuk Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam

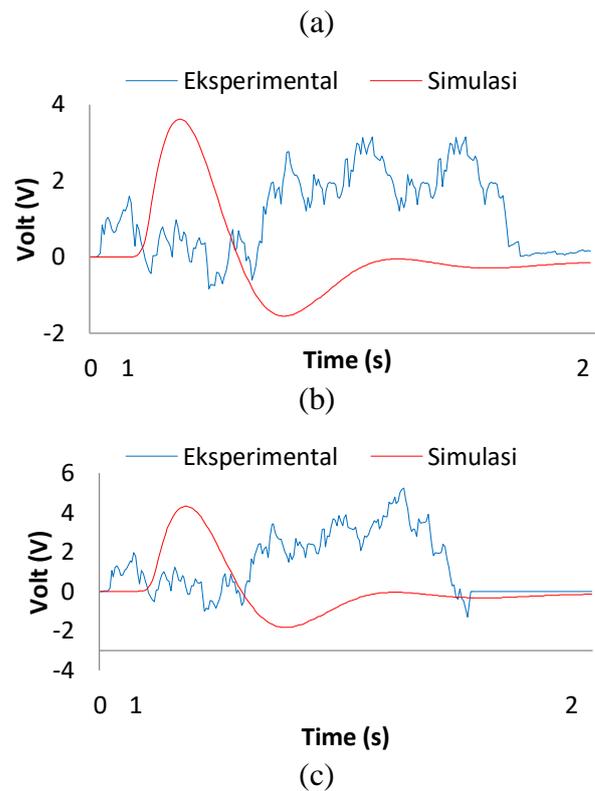
Hal yang sama terjadi pada kecepatan 10 km/jam dan 15 km/jam. Hasil simulasi menunjukkan, daya bangkitan maksimal mencapai 1.17 volt dan 6.9 volt. Sedangkan hasil eksperimen tegangan maksimal mencapai 1.29 volt dan 6.12 volt. Besarnya perbedaan ini menunjukkan bahwa potensi daya bangkitan yang dihasilkan HMERSA cukup maksimal. Data rekapitulasi antara tegangan hasil simulasi dan eksperimen ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Data rekapitulasi tegangan hasil simulasi dan eksperimen HMERSA Seri

Kecepatan (km/Jam)	Nilai Maksimal			
	Voltase Eksperimental (Volt)		Voltase Simulasi (Volt)	
	Generator 1	Generator 2	Generator 1	Generator 2
10	1,29	0,6	1,17	0,98
15	6,12	3,98	6,9	5,7
20	8,2	5,97	8,22	6,8

Gambar 4.50 menunjukkan perbandingan antara daya bangkitan antara simulasi dengan eksperimen HMERSA Parallel untuk kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam. Secara keseluruhan untuk semua variasi kecepatan, pola daya bangkitan yang dihasilkan. Pada simulasi kecepatan 20 km/jam, tegangan maksimal yang dihasilkan mencapai 5,7 volt, sedangkan pada eksperimen, tegangan maksimal yang dihasilkan mencapai 5.169 volt. Perbedaan nilai daya maksimal yang dihasilkan ini cukup kecil.





Gambar 4.50 Perbandingan Daya Bangkitan Polisi Tidur Antara Simulasi dengan Eksperimen HMERSA Seri untuk Kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam

Hal yang sama terjadi pada kecepatan 10 km/jam dan 15 km/jam. Hasil simulasi menunjukkan, daya bangkitan maksimal mencapai 0,72 volt dan 4,82 volt. Sedangkan hasil eksperimen tegangan maksimal mencapai 1.29 volt dan 6.12 volt. Besarnya perbedaan ini menunjukkan bahwa potensi daya bangkitan yang dihasilkan HMERSA cukup maksimal. Data rekapitulasi antara tegangan hasil simulasi dan eksperimen ditunjukkan pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Data rekapitulasi tegangan hasil simulasi dan eksperimen HMERSA Paralel

Kecepatan (km/Jam)	Nilai Maksimal			
	Voltase Eksperimental (Volt)		Voltase Simulasi (Volt)	
	Generator 1	Generator 2	Generator 1	Generator 2
10	0,59	0,52	0,72	0,66
15	3,183	2,56	4,82	4,61
20	5,169	4,33	5,7	5,2

Tabel 4.12 menunjukkan perbandingan antara hasil simulasi dengan eksperimen respon dinamis berupa percepatan body dan perpindahan body kendaraan pada HMERSA seri. Perbedaan antara hasil simulasi dan eksperimental cukup Baik. Hasil eksperimental lebih kecil atau lebih baik dari hasil simulasi.

Tabel 4.12 Data rekapitulasi respon dinamis hasil simulasi dan eksperimen HMERSA Seri

Kecepatan (km/Jam)	Nilai Maksimal			
	Respon Dinamis Eksperimental		Respon Dinamis Simulasi	
	Displacement (mm)	Acceleration (m/s ²)	Displacement (mm)	Acceleration (m/s ²)
10	12	0.76	4,54	1,67
15	11	10.14	26	9,8
20	13.4	11.83	31,7	11,17

Tabel 4.13 menunjukkan perbandingan antara hasil simulasi dengan eksperimen respon dinamis berupa percepatan body dan perpindahan body kendaraan pada HMERSA Parallel. Perbedaan antara hasil simulasi dan eksperimental cukup mendekati, Hasil eksperimental lebih besar dari hasil simulasi.

Tabel 4.13 Data rekapitulasi respon dinamis hasil simulasi dan eksperimen HMERSA Parallel

Kecepatan (km/Jam)	Nilai Maksimal			
	Respon Dinamis Eksperimental		Respon Dinamis Simulasi	
	Displacement (mm)	Acceleration (m/s ²)	Displacement (mm)	Acceleration (m/s ²)
10	6.4	3.7	4,6	1,9
15	33.8	5.25	27,6	11,4
20	54.1	25.65	33,2	13,8

4.4.5 Pengujian Melewati *Speed Trap*

4.4.5.1 Voltase dan Daya Bangkitan yang Dihasilkan

Pada pengujian kendaraan melewati *speed trap*, terdapat 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Profil jalan pada *speed trap* hampir sama dengan polisi tidur, hanya berbeda ketinggian, lebar dan jumlahnya. Untuk lebih detail dari profil *speed trap* dapat dilihat pada sub bab 3.6. Karena HMERSA dipasang pada sisi kanan kendaraan, penulis melakukan pengujian dengan melewati *speed trap* sisi paling kanan jalan, dimana pada sisi ini ketinggian *speed trap* adalah yang paling tinggi bila dibandingkan sisi tengah jalan. Dengan semakin tingginya ketinggian *speed trap* maka daya dan voltase bangkitan yang dihasilkan juga akan semakin tinggi.

Gambar 4.51 menunjukkan kendaraan diuji melewati *speed trap* pada kecepatan 20 km/jam. Tidak terlihat tegangan yang dapat dihasilkan ketika melewati *speed trap*. Hal demikian sama dengan kecepatan 10 km/jam dan kecepatan 15 km/jam. Hal ini bias disebabkan inputan eksitasi kurang cukup kuat untuk menggerakkan generator. Terlihat perbedaan yang cukup signifikan antara *speed trap* dan polisi tidur, yaitu 1,5 cm berbanding 10 cm pada polisi tidur. Hal yang sama ditunjukkan pada HMERSA Parallel, Tidak terlihat tegangan yang dapat dihasilkan ketika melewati *speed trap*.



Gambar 4.51 Hasil Tegangan HMERSA Seri Melewati Speed Trap

4.4.5.2 Respon Dinamis Kendaraan

Respon dinamis yang diukur adalah berupa perpindahan body, kecepatan dan percepatan vertikal *chassis* kendaraan. Nilai perpindahan body, kecepatan dan percepatan antara kendaraan dengan menggunakan konvensional *shock absorber* dengan HMERSA dibandingkan hasilnya. Gambar 4.52 menunjukkan respon dinamis kendaraan untuk absorber konvensional dengan kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.



Gambar 4.342 Perbandingan Respon Dinamis Absorber Konvensional Melewati Speed Trap untuk Tiap Kecepatan

Pada table 4.14 dijabarkan hasil respon dinamis dari absorber konvensional untuk tiap kecepatan. Pembahasan difokuskan pada nilai *acceleration* dikarenakan merupakan acuan nilai level kenyamanan berkendara. Semakin tinggi kecepatannya maka semakin tinggi pula nilai percepatannya. Pada kecepatan 10 km/jam percepatan yang dihasilkan adalah 2.38 m/s^2 Sesuai Table 4.1 pada kecepatan 10km/jam level kenyamanannya adalah sangat tidak nyaman. Sedangkan pada kecepatan 15km/jam dan 20 km/jam didapat nilai sebesar 7.26 m/s^2 dan 8.4 m/s^2 dimana level kenyamanannya adalah amat sangat tidak nyaman.

Tabel 4.14 Hasil Respon Dinamis Absorber Konvensional Melewati Speed Trap

Kecepatan km/jam	Respon Dinamis		
	Displacement (mm)	velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)
10	1.7	0.29	2.38
15	22.9	0.91	7.26
20	13.2	2.65	8.4

Gambar 4.53 menunjukkan respon dinamis kendaraan untuk HMERSA Seri dengan kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.



Gambar 4.353 Perbandingan Respon Dinamis HMERSA Seri Melewati Speed Trap untuk Tiap Kecepatan

Pada tabel 4.15 dijabarkan hasil respon dinamis dari HMERSA Seri untuk tiap kecepatan. Pada kecepatan 10 km/jam percepatan yang dihasilkan adalah 8 m/s^2 Sesuai Table 4.1 pada kecepatan 10 km/jam level kenyamanannya adalah amat sangat tidak nyaman. Sedangkan pada kecepatan 15km/jam dan 20 km/jam didapat nilai sebesar 9 m/s^2 dan 11.16 m/s^2 dimana level kenyamanannya adalah amat sangat tidak nyaman juga.

Tabel 4.15 Hasil Respon Dinamis HMERSA Seri Melewati Speed Trap

Kecepatan km/jam	Respon Dinamis		
	Displacement (mm)	velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)
10	10.7	3.69	8
15	45.8	3.56	9
20	30.1	4.23	11.16

Gambar 4.54 menunjukkan respon dinamis kendaraan untuk HMERSA Parallel dengan kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam.



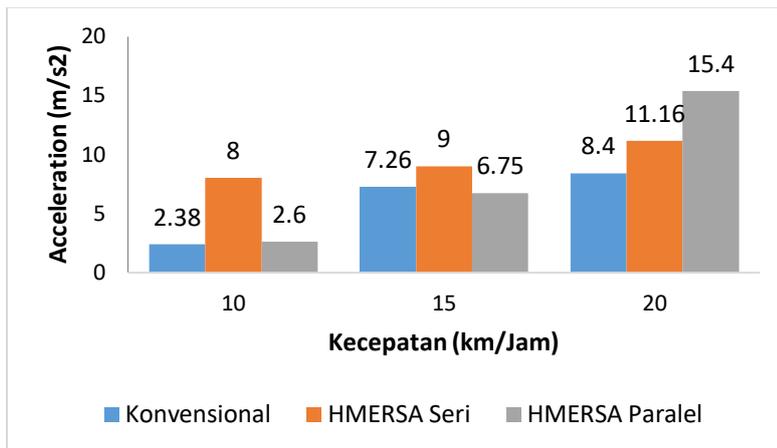
Gambar 4.364 Perbandingan Respon Dinamis HMERSA Parallel Melewati Speed Trap untuk Tiap Kecepatan

Pada table 4.16 dijabarkan hasil respon dinamis dari HMERSA Paralel untuk tiap kecepatan. Pada kecepatan 10 km/jam percepatan yang dihasilkan adalah 2.6 m/s^2 Sesuai Table 4.1 pada kecepatan 10km/jam level kenyamanannya adalah amat sangat tidak nyaman. Sedangkan pada kecepatan 15 km/jam dan 20 km/jam didapat nilai sebesar 6.75 m/s^2 dan 15.4 m/s^2 dimana level kenyamanannya adalah juga amat sangat tidak nyaman.

Tabel 4.16 Hasil Respon Dinamis HMERSA Paralel Melewati Speed Trap

Kecepatan km/jam	Respon Dinamis		
	Displacement (mm)	velocity (m/s)	Acceleration (m/s ²)
10	21	1.93	2.6
15	13.6	4.42	6.75
20	38.3	5.07	15.4

Gambar 4.55 menunjukkan perbandingan percepatan untuk konvensional *shock absorber* dan HMERSA. Pada konvensional *shock absorber*, nilai percepatan akan meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan, percepatan maksimal pada absorber konvensional yaitu 8.4 m/s^2 pada kecepatan 20km/jam. Sama halnya dengan HMERSA, nilai percepatan akan meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan kendaraan. Secara keseluruhan, nilai percepatan HMERSA Seri maupun Paralel lebih tinggi 2 kali lipat dibandingkan konvensional *shock absorber*. Apabila mengacu pada parameter kenyamanan kendaraan seperti tertulis pada Tabel 4.2, dengan mengacu pada percepatan vertikal *chassis* kendaraan, kemampuan meredam getaran dari HMERSA masih belum maksimal apabila dibandingkan dengan konvensional *shock absorber* pada saat melewati polisi tidur. Namun jika dilihat dari hasil percepatan redaman antara HMERSA Seri dan Paralel secara garis besar HMERSA Seri lebih baik daripada HMERSA Paralel.



Gambar 4.375 Perbandingan Percepatan Konvensional Shock Absorber dengan HMERSA pada Profil Jalan Polisi Tidur

4.4.5.3 Perbandingan dengan Hasil Simulasi

HMERSA pada percobaan melewati speed trap tidak dapat dibandingkan dikarenakan tidak ada tegangan yang dapat dihasilkan pada eksperimen. Untuk hal tersebut hanya respon dinamis yang dapat dibandingkan nilainya. Pada table 4.15 dijabarkan hasil respon perbandingan antara daya bangkitan antara simulasi dengan eksperimen untuk kecepatan (a) 10 km/jam, (b) 15 km/jam, dan (c) 20 km/jam pada saat melewati *speed trap*.

Tabel 4.17 menunjukkan perbandingan antara hasil simulasi dengan eksperimen respon dinamis berupa percepatan body dan perpindahan body kendaraan pada HMERSA seri. Nilai eksperimental maksimal terdapat pada kecepatan 20 km/jam sebesar 11.6 m/s² sedangkan hasil simulasi sebesar 3.2 m/s², perbedaan antara hasil simulasi dan eksperimental cukup berbeda jauh 3 kali lipat bahkan lebih nilai dari hasil eksperimental. Hasil eksperimental lebih besar dari hasil simulasi. Dengan hasil tersebut dapat disimpulkan jika desain HMERSA ini belum bisa memenuhi dari simulasi desain yang diharapkan.

Tabel 4.17 Hasil Respon Dinamis HMERSA Seri Melewati Speed Trap

Kecepatan (km/Jam)	Nilai Maksimal			
	Respon Dinamis Eksperimental		Respon Dinamis Simulasi	
	Displacement (mm)	Acceleration (m/s ²)	Displacement (mm)	Acceleration (m/s ²)
10	10.7	8	0.4	0.7
15	45.8	9	5.5	2.3
20	30.1	11.16	7.4	3.2

Tabel 4.18 menunjukkan perbandingan antara hasil simulasi dengan eksperimen respon dinamis berupa percepatan body dan perpindahan body kendaraan pada HMERSA Parallel Nilai eksperimental maksimal terdapat pada kecepatan 20 km/jam sebesar 15.4 m/s² sedangkan hasil simulasi sebesar 3.612 m/s², perbedaan antara hasil simulasi dan eksperimental cukup berbeda jauh 3 kali lipat bahkan lebih nilai dari hasil eksperimental. Hasil eksperimental lebih besar dari hasil simulasi. Dengan hasil tersebut dapat disimpulkan jika desain HMERSA ini belum bisa memenuhi dari simulasi desain yang diharapkan.

Tabel 4.18 Data rekapitulasi respon dinamis hasil simulasi dan eksperimen HMERSA Parallel

Kecepatan (km/Jam)	Nilai Maksimal			
	Respon Dinamis Eksperimental		Respon Dinamis Simulasi	
	Displacement (mm)	Acceleration (m/s ²)	Displacement (mm)	Acceleration (m/s ²)
10	21	2.6	1.6	0.79
15	13.6	6.75	5.58	2.6
20	38.3	15.4	7.58	3.612

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Telah didesain HEMRSA dengan dua output generatot yang terpasang seri dan Paralel sebagai mekanisme *harvesting* energi pada sistem suspensi kendaraan minibus. Mekanisme berjalan dengan baik dan dapat menghasilkan energi listrik.
2. Dari hasil simulasi karakteristik HMERSA, dimensi pipa yang digunakan adalah pipa ¼ inch.
3. Pada pengujian melewati polisi tidur, HMERSA dengan dua output generator yang terpasang seri nilai tegangan maksimal terjadi pada kecepatan 20 km/jam yaitu sebesar 8.20 Volt pada generator 1. Dengan meningkatnya kecepatan, maka energi bangkitan yang dihasilkan akan semakin besar. Daya bangkitan yang dihasilkan melewati polisi tidur mendekati atau sesuai dengan hasil dari simulasi.
4. Pada pengujian melewati polisi tidur, HMERSA dengan dua output generator yang terpasang Paralel nilai tegangan maksimal terjadi pada kecepatan 20 km/jam yaitu sebesar 5,169 Volt pada generator 1. Dengan meningkatnya kecepatan, maka energi bangkitan yang dihasilkan akan semakin besar. Daya bangkitan yang dihasilkan melewati polisi tidur mendekati atau sesuai dengan hasil dari simulasi.
5. Efisiensi energy yang dihasilkan sebesar 0,046 %
6. Hasil Perbandingan antara HMERSA dengan dua output generator yang terpasang seri dan Paralel lebih baik HMERSA dengan dua output generator yang terpasang seri baik dari segi respon dinamis maupun daya bangkitan yang dihasilkan.
7. Pada pengujian melewati *speed trap*, HMERSA dengan dua output generator yang terpasang seri dan Paralel. Tidak dapat menghasilkan

energi bangkitan. Hal ini dikarenakan input eksitasi terlalu kecil sebagai pemicu berputarnya generator

8. Besaran energi bangkitan yang dihasilkan sangat dipengaruhi kontur jalanan yang dilewati. Semakin kasar dan bervariasi amplitudo jalan yang dilewati, maka semakin besar energi bangkitan yang dihasilkan.

5.2 Saran

Saran dari kelanjutan penelitian ini adalah:

1. Perlu pembuatan absorber secara custom dengan *chamber hydraulic* yang lebih besar untuk respon ekspansi dan kompresi yang lebih cepat.
2. Perlu pembuatan absorber secara custom dengan modifikasi lubang *orifice* yang lebih besar untuk respon ekspansi dan kompresi yang lebih cepat.
3. Perlu dilakukan penelitian terhadap input initial condition *pressure* pada absorber untuk mendapatkan respon dinamis yang lebih baik.
4. Perlu dilakukan verifikasi terhadap object kecepatan kendaraan vs RPM mesin kendaraan.
5. Penggunaan spesifikasi generator perlu diperhatikan, lebih baik menggunakan generator yang memiliki kapasitas desain yang lebih besar agar mendapat *energi harvesting* yang lebih baik.
6. Sebelum melakukan penelitian pastikan kondisi tekanan ban harus sama saat pengambilan data.

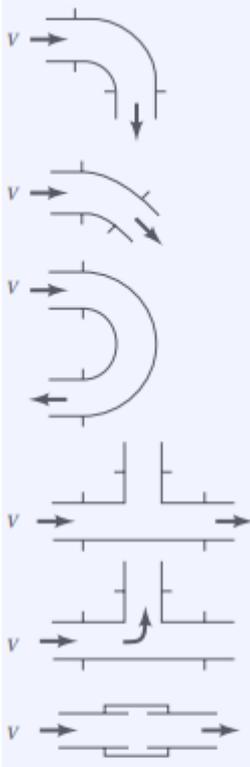
DAFTAR PUSTAKA

- Abdelkareem, M., Xu, L., Ali, M., Elagouz, A., Mi, J., Guo, S., . . . Zuo, L. (2018b). Vibration Energi Harvesting in Automotive Suspension System: A Detailed Review. *Applied Energi*, Vol.229, Hal.672-699.
- Abdelkareem, M., Xu, L., Guo, X., Ali, M., Elagouz, A., Hassan, M., . . . Zou, J. (2018a). Energi Harvesting Sensitivity Analysis and Assessment of the Potential Power and Full Car Dynamics for Different Road Modes. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol.110, Hal.307-332.
- Anuar, K., Guntur, H., Characteristics of Dynamic Response of Suspension Hydraulic Motor - Regenerative Shock Absorber (HM RSA). *Journal of Ocean, Mechanical and Aerospace*, Vol.44
- Bowen, L., Vinolas, J., & Olazagoitia, J. (2017). Methodology for Comparing the Functional Performance of Energi Harvesting Shock Absorbers. *International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics*.
- Guntur, H., Hendrowati, W., & Lubis, R. (2013). Development and Analysis of a Regenerative Shock Absorber for Vehicle Suspension. *Journal of System Design and Dynamics*, Vol.7, No.3, Hal.304-315. Iqbal, M., Wu, Z., Xu, G., & Bukhari, S. (2019). Study of External Characteristics of Hydraulic Electromagnetic Regenerative Shock Absorber. *World Journal of Engineering and Technology*, Vol.7, Hal.520-535.
- Li, Z., Zuo, L., Luhrs, G., Lin, L., & Qin, Y.-x. (2013). Electromagnetic Energi Harvesting Shock Absorbers: Design, Modeling, and Road Tests. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, Vol.62, No.3, Hal.1065-1074.
- Li, C., Zhu, R., Liang, M., & Yang, S. (2014). Integration of shock absorption and energi harvesting using a hydraulic rectifier. *Journal of Sound and Vibration*, Vol 333(17), Hal 3904–3916.
- Nugraha, D. (2012). Studi Eksperimental Karakteristik Model Regenerative Shock Absorber (RSA) pada Kendaraan Roda Empat. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Radonski, R. (2014). Mono-Tube Shock Absorber. EGME 421

- Satria, N. (2016). Pengembangan dan Analisa Hydro-Magneto-Electric Regenerative Shock Absorber (HMERSA) dengan Dua Input Satu Output . Master Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Syuhri, A., Hadi, W., & Syuhri, S. (2017). Damping Properties and Energi Evaluation of a Regenerative Shock Absorber. *International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)*.
- Syuhri, S. (2015). Studi Pengaruh Perubahan Redaman Mekanik dan Redaman Elektrik Terhadap Redaman Total dan Daya Listrik Bangkitan pada Hydraulic Regenerative Suspension. Master Tesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Tang, X., Lin, T., & Zuo, L. (2014). Design and Optimization of a Tubular Linear Electromagnetic Vibration Energi Harvester. *IEEE/ASME Transaction of Mechatronics*, Vol 19, No.2, Hal.615-622.
- Xie, L., Li, J., Cai, S., & Li, X. (2017). Electromagnetic Energi-Harvesting Damper With Multiple Independently Controlled Transducers: On-Demand Damping and Optimal Energi Regeneration. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, Vol.22, No.6, Hal.2705-2713.
- Yandaka, R. (2018). Pengembangan dan Analisis Karakteristik Hydro-Magneto-Electric Regenerative Shock Absorber (HMERSA) dengan Dua Generator Hidraulis Terpasang Seri. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Zessar, F. (2014). Desain dan Analisa Sistem Suspensi Kendaraan Multiguna Pedesaan. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Zheng, X., Yu, F., & Zhang, Y. (2008). A novel energi-regenerative active suspension for vehicles. *Journal of Shanghai Jiaotong University (Science)*, Vol 13(2), Hal 184–188
- Zhang, Y., Konghui, G., Wang, D., Chen, C., & Li, X. (2016). Energi Conversion Mecha
- Zhu, H., Li, Y., Shen, W., & Zhu, S. (2019). Mechanical and Energi-Harvesting Model for Electromagnetic Inertial Mass Dampers. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol.120, Hal.203-220.

Zuo, L., & Zhang, P.-S. (2013). Energi Harvesting, Ride Comfort, and Road Handling of Regenerative Vehicle. *Journal of Vibration and Acoustics*, Hal. 011002-1-8.

LAMPIRAN

a. Elbows		
Regular 90°, flanged	0.3	
Regular 90°, threaded	1.5	
Long radius 90°, flanged	0.2	
Long radius 90°, threaded	0.7	
Long radius 45°, flanged	0.2	
Regular 45°, threaded	0.4	
b. 180° return bends		
180° return bend, flanged	0.2	
180° return bend, threaded	1.5	
c. Tees		
Line flow, flanged	0.2	
Line flow, threaded	0.9	
Branch flow, flanged	1.0	
Branch flow, threaded	2.0	
d. Union, threaded		0.08
*e. Valves		
Globe, fully open	10	
Angle, fully open	2	
Gate, fully open	0.15	
Gate, $\frac{1}{4}$ closed	0.26	
Gate, $\frac{1}{2}$ closed	2.1	
Gate, $\frac{3}{4}$ closed	17	
Swing check, forward flow	2	
Swing check, backward flow	∞	
Ball valve, fully open	0.05	
Ball valve, $\frac{1}{3}$ closed	5.5	
Ball valve, $\frac{2}{3}$ closed	210	

*See Fig. 8.36 for typical valve geometry

BIODATA PENULIS



Taufik Kurniawan dilahirkan di Kota Pamekasan, pada tanggal 29 September 1991. Merupakan putra pertama dari dua bersaudara, pasangan dari Bapak Abdul Rahman Hidayat dan Ibu Murwaningsih. Lulus dari SDN Barurambat kota 7 Pamekasan pada tahun 2004, kemudian melanjutkan studi ke SMP N 1 Pamekasan dan lulus pada tahun 2007. Kemudian melanjutkan studi ke SMA N 1 Pamekasan dan lulus pada tahun 2010. Setelah lulus dari SMA penulis melanjutkan studi ke Strata 1 Teknik Mesin, Universitas Negeri Jember dan lulus pada tahun 2014. Kemudian pada tahun 2017 melanjutkan studi ke Program Pasca Sarjana (S-2) di jurusan Teknik Mesin FTI ITS dengan bidang keahlian Desain Sistem Mekanikal (DSM). Pada bulan Maret 2021 Penulis menyelesaikan Tesis di Jurusan Teknik Mesin FTI ITS sebagai syarat memperoleh gelar Magister Teknik di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Pada tahun 2014 sampai tahun 2017 penulis juga pernah bekerja di beberapa tempat diantaranya, PT. Sariguna Primatirta, PT. Indospring Tbk. , PT Toshin Prima Fineblanking, PT Medion Farma. Dan penulis bekerja di PT. Asahimas Flat Glass Tbk. dari tahun 2019 hingga sekarang. Penulis berharap semoga penulisan Tesis ini dapat bermanfaat untuk pengembangan dan riset selanjutnya. Juga sebagai bentuk sumbangsih penulis untuk kemajuan bangsa Indonesia. Demikian informasi singkat mengenai data pribadi penulis, dan penulis dapat dihubungi melalui email : *taufik.madurese@gmail.com*