



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR-TM184835

**PENGEMBANGAN *REGENERATIVE SHOCK*
ABSORBER (RESA) DENGAN MEKANISME *BALL*
SCREW DAN IMPLEMENTASINYA PADA MOBIL
TOYOTA CALYA**

MARGA FIRNANDA SRIMINANGGA
0211154000020

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

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020



TUGAS AKHIR-TM184835

**PENGEMBANGAN *REGENERATIVE SHOCK*
ABSORBER (RESA) DENGAN MEKANISME *BALL*
SCREW DAN IMPLEMENTASINYA PADA MOBIL
TOYOTA CALYA**

**MARGA FIRNANDA SRIMINANGGA
0211154000020**

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

**DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2020**



FINAL PROJECT - TM 184835

**REGENERATIVE *SHOCK* ABSORBER (RESA)
DEVELOPMENT WITH BALL SCREW MECHANISM
AND IMPLEMENTATION IN THE TOYOTA CALYA**

**MARGA FIRNANDA SRIMINANGGA
0211154000020**

Advisory Lecturer
Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng.

**MECHANICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology and System
Engineering
Sepuluh Nopember of Intitute Technology
Surabaya 2020**

**PENGEMBANGAN *REGENERATIVE SHOCK ABSORBER* (RESA) DENGAN
MEKANISME *BALL SCREW* DAN IMPLEMENTASINYA PADA MOBIL
TOYOTA CALYA**

TUGAS AKHIR

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
Memperoleh gelar sarjana teknik
Program studi S-1 Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Marqa Firnanda Srimananga
NRP. 0211154000020

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

- | | | |
|---|---|---------------|
| 1. <u>Prof. Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M. Eng</u>
NIP. 197505111999031001 |  | (Pembimbing) |
| 2. <u>Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.</u>
NIP. 197004121997032003 |  | (Penguji I) |
| 3. <u>Aida Annisa Aman Daman, S.T., M.T.</u>
NIP. 198907052015042005 |  | (Penguji II) |
| 4. <u>Ari Kurniawan Saputra, S.T., M.T.</u>
NIP. 198604012015041001 |  | (Penguji III) |



SURABAYA

AGUSTUS, 2020

(halaman ini sengaja dikosongkan)

PENGEMBANGAN *REGENERATIVE SHOCK ABSORBER* (RESA) DENGAN MEKANISME *BALL SCREW* DAN IMPLEMENTASINYA PADA MOBIL TOYOTA CALYA

Nama Mahasiswa : Marga Firnanda Sriminangga
NRP : 0211154000020
Departemen : Teknik Mesin FTIRS-ITS
Dosen Pembimbing : Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, S.T,
M.Eng

ABSTRAK

Menurut the official U.S. government source for fuel economy information, hanya sekitar 12%-30% energi yang digunakan untuk menggerakkan kendaraan dan sisanya terbuang begitu saja. Selebihnya, 30-37% energi hilang dalam bentuk heat loss oleh gas buangan dan konveksi, 25-33% energi hilang dalam bentuk disipasi panas dalam proses pendinginan dan 33-40% energi hilang dalam bentuk mechanical losses. Rendahnya efisiensi dari pemanfaatan energi hasil pembakaran pada kendaraan mendorong dilakukannya penelitian yang berfokus pada energy harvesting. Untuk memanfaatkan kembali energi getaran yang hilang pada sistem suspensi, berbagai penelitian telah dilakukan dalam mengembangkan *shock* absorber menjadi Regenerative *Shock* Absorber (RESA) pada suspensi belakang kendaraan.

Dalam penelitian ini dirancang *Ball Screw Regenerative Shock Absorber* (BS-RESA) dengan mekanisme menggunakan *coupling* sebagai penghubung antara *screw* dan generator. *Ball screw* merupakan mekanisme pengubah gerak rotasi menjadi gerak linier atau sebaliknya. Pada *ball screw*, terdapat dua komponen utama yaitu nut dan screw. Di dalam

nut terdapat bola-bola yang bergesekan dengan screw yang akan mengubah gerak. Karena yang bergesekan adalah bola, maka koefisien gesek yang terjadi kecil sehingga efisiensi mekanisme pengubah arahnya cukup tinggi. *Ball screw* yang bergerak akan dihubungkan dengan *coupling* untuk memutar poros pada generator dan mampu menghasilkan listrik, selanjutnya listrik yang dihasilkan akan disimpan untuk menyuplai kebutuhan energi pada mobil. Pengujian dilakukan pada 2 medan yakni melewati jalan paving dan jalan lurus dengan variasi kecepatan yaitu 20 km/h, 30 km/h, dan 40 km/h pada sistem suspensi kendaraan Toyota Calya.

Pada tugas akhir ini telah dirancang dan direalisasikan BS-RESA yang selanjutnya dilakukan pengujian menggunakan mbil Toyota Calya yang mampu menghasilkan RMS daya bangkitan makasimum sebesar 21,744 W padasaat melewati poliri tidur dengan kecepatan 15 km/h dan pada hambatan 15 ohm. Respon percepatan terbesar BS-RESA yakni $1,108 \text{ m/s}^2$ pada saat melewati *speedtrap* 15 km/h dengan hambatan 15 ohm sedangkan RMS terkecil ketika melewati jalan aspal dengan keceatan 10 km/ jam pada hambatan 25 ohm sebesar $0,167 \text{ m/s}^2$.

Kata kunci: energi terbang, *ball screw*, *regenerative shock absorber*.

**REGENERATIVE *SHOCK* ABSORBER (RESA)
DEVELOPMENT WITH BALL SCREW
MECHANISM AND IMPLEMENTATION IN THE
TOYOTA CALYA**

Student name : Marga Firnanda Sriminangga
NRP : 0211154000020
Department : Mechanical Engineering FTIRS-ITS
Supervisor : Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, ST, M.Eng

ABSTRACT

According to the official US government source for fuel economy information, only about 12% -30% of energy is used to drive vehicles and the rest is just wasted. The rest, 30-37% of energy is lost in the form of heat loss by exhaust gases and convection, 25-33% of energy is lost in the form of heat dissipation in the cooling process and 33-40% of energy is lost in the form of mechanical losses. The low efficiency of combustion energy utilization in vehicles encourages research that focuses on energy harvesting. To recover the vibration energy lost in the suspension system, various studies have been carried out in developing a *shock* absorber into a Regenerative *Shock* Absorber (RESA) on a vehicle's rear suspension.

In this research, Ball Screw Regenerative *Shock* Absorber (BS-RESA) was designed with a mechanism using coupling as a link between the screw and the generator. Ball screw is a mechanism that converts rotational motion to linear motion or vice versa. In ball screws, there are two main components, namely nut and screw. Inside the nut there are balls that rub against the screw that will change motion. Because the friction is a ball, the coefficient of friction that occurs is small so the efficiency of the direction modifying

mechanism is quite high. Moving ball screw will be connected to the coupling to rotate the shaft on the generator and be able to produce electricity, then the electricity generated will be stored to supply the energy needs of the Toyota Calya.

In this final project, BS-RESA has been designed and realized, which is then tested using a Toyota Calya that is able to produce an RMS of maximum power generation of 21,744 W when it passes through the speed bump at a speed of 15 km/h and at a resistance of 15 ohm. The biggest acceleration response of BS-RESA is $1,108 \text{ m/s}^2$ when passing a 15 km/h *speedtrap* with a 15 ohm obstacle while the smallest RMS when passing an asphalt road with a speed of 10 km/h on a 25 ohm obstacle is 0.167 m/s^2 .

Keywords: wasted energy, ball screw, regenerative *shock* absorber

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul **“PENGEMBANGAN *REGENERATIVE SHOCK ABSORBER* (RESA) DENGAN MEKANISME *BALL SCREW* DAN IMPLEMENTASINYA PADA MOBIL TOYOTA CALYA”**. Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan kelulusan program Studi Strata I pada Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini banyak pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan kepada penulis, hingga akhirnya Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir ini, diantaranya:

1. Keluarga tersayang, khususnya kedua orangtua, Bapak Gimin dan Ibu Sriamah, yang telah menjadi orang-orang terbaik dalam hidup penulis dan selalu memberikan doa dan dorongan dalam segala kondisi.
2. Bapak Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T., Ibu Aida Annisa Amin Daman, ST., MT., dan Bapak Ari Kurniawan Saputra. S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran untuk Tugas Akhir ini.

4. Partner skripsi, Ban dan Pras yang telah menjadi tri masketir dalam penyusunan tugas akhir ini.
5. Sahabat kontrakan molor kuliah, Roni, Sutom, Reskisi, Bocil, Abud, Sakti, Son, Atm, Bong, Pacul, Gowok dan teman-teman lain yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.
6. Tamara Indah yang selalu membantu segala keadaan pengolahan data dari awal sampai akhir.
7. Armuji ahli mekanik dalam perancangan BS-RESA sehingga bisa dilakukan pengambilan data hingga selesai.
8. Seluruh teman BVF dan Sarangan di Malang yang telah memberikan info kelayapan bagi saya sehingga malas-malasan mengerjakan tugas akhir ini.
9. Ade Herinda, yang terus menerus hingga bosan memberikan semangat disaat penulis malas-malasan dalam pengerjaan penelitian ini.

Dengan segala keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis, tidak menutup kemungkinan Tugas Akhir ini jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis bersedia menerima kritik dan saran dari berbagai pihak untuk penyempurnaan lebih lanjut. Semoga hasil penulisan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Surabaya, 10 Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xvi
BAB I	1
PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan	4
1.5 Manfaat Penelitian	4
BAB II	5
TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Sistem Suspensi <i>Shock Absorber</i>	5
2.2 <i>Regenerative Shock Absorber</i>	6
2.3 Komponen Utama <i>Ball screw Regenerative Shock Absorber (RSA)</i>	15
2.3.1 <i>Ball Screw</i>	16
2.3.2 <i>Bearing</i>	17

2.3.3	<i>Coupling</i>	19
2.3.4	Generator Listrik	20
2.4	<i>Motion of base</i>	22
2.5	Pengaruh Kecepatan Kendaraan terhadap Kenyamanan Pengendara	24
BAB III	27
METODOLOGI	27
3.1	Diagram Alir Penelitian	27
3.2	Penjelasan Tahap Penelitian	29
3.2.1	Studi Literatur	29
3.2.2	Identifikasi Masalah	29
3.2.3	Penentuan Parameter	29
3.2.4	Permodelan Dinamis dan Penurunan Rumus	35
3.2.5	Rancang Bangun BS-RESA	37
3.2.6	Tahap Eksperimen dan Pengambilan Data	39
3.2.7	Peralatan Pengambilan Data	44
3.2.8	Instalasi Peralatan Pengambilan Data	48
BAB IV	50
HASIL DAN PEMBAHASAN	50
4.1	Perancangan dan Pengembangan Prototip Ball Screw RESA	50
4.2	Perbandingan BS-RESA model <i>coupling</i> dengan RESA terdahulu	55

4.3	Pengujian Sistem BS-RESA pada Kendaraan Toyota Calya	57
4.3.1	Pemasangan Sistem BS-RESA pada Kendaraan Toyota Calya	59
4.3.2	Instalasi Peralatan Pengambilan Data	60
4.3.3	Pengambilan Data.....	62
4.4	Analisa Hasil Pengambilan Data.....	64
4.4.1	Analisa Tegangan Bagkitan dan Daya yang Dihasilkan BS-RESA.....	64
4.4.2	Tegangan dan Daya Bangkitan BS-RESA Melewati Jalan Aspal	65
4.4.3	Tegangan dan Daya Bangkitan BS-RESA Melewati Jalan Paving	70
4.4.4	Tegangan dan Daya Bangkitan BS-RESA Melewati Speed Trap	75
4.4.5	Tegangan dan Daya Bangkitan BS-RESA Melewati <i>Speedbump</i>	81
4.4.6	<i>Root mean square</i> Tegangan dan Daya Bangkitan	87
4.4.7	Analisis Respon Percepatan Vertikal Kendaraan Antara <i>Conventional Shock Absorber</i> dan BS-RESA	98
4.4.8	Analisa Respon Percepatan Vertikal Kendaraan Saat Melalui Jalan Aspal	99
4.4.9	Analisa Respon Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melalui Jalan Paving.....	102

4.4.10	Analisa Respon Percepatan Vertikal	
	Kendaraan saat Melalui <i>Speedtrap</i>	106
4.4.11	Analisa Respon Percepatan Vertikal	
	Kendaraan saat Melalui <i>Speedbump</i>	110
4.4.12	<i>Root mean square</i> Percepatan Vertikal	114
BAB V		125
KESIMPULAN DAN SARAN		125
5.1	Kesimpulan	125
5.2	Saran	127
DAFTAR PUSTAKA		128
LAMPIRAN		131

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Bentuk fisik shock absorber (Abdelkareem dkk, 2018).....	5
Gambar 2. 2 RESA tipe linear magnet (Tang dkk, 2014) ..	7
Gambar 2. 3 RESA tipe <i>rack pinion</i> (Zhongjie Li, 2017)....	8
Gambar 2. 4 Konstruksi HMRESA (Kaspul Anuar, 2014)	9
Gambar 2. 5 Energi bangkitan dari HMRESA.....	10
Gambar 2. 6 Skema HMRESA (Sawungsari, 2015).....	11
Gambar 2. 7 RESA tipe cable and pulley (Bowen dkk, 2019)	12
Gambar 2. 8 RESA tipe ball screw (Sakti, 2019)	13
Gambar 2. 9 Grafik tegangan melalui speedbump (Sakti, 2019)	14
Gambar 2. 10 Grafik daya bangkitan melalui speedbump (Sakti, 2019)	15
Gambar 2. 11 Konstruksi dan desain <i>ball screw</i> (Google Image).....	17
Gambar 2. 12 (a) <i>Thrust Bearing</i> (b) <i>Linear Bearing</i> (Google Image).....	18
Gambar 2. 13 Konstruksi dan desain coupling (Tokopedia)	19
Gambar 2. 14 Generator AC 3 Fasa Tamagawa (Tokopedia)	20
Gambar 2. 15 Sistem Force Vibration with Damping (Rao, 2011)	23
Gambar 2. 16 FBD Force Vibration with Damping (Rao, 2011)	24
Gambar 2. 17 Grafik percepatan <i>Root mean square</i> berdasarkan ISO 2631 (Rao, 2011)	25

Gambar 3. 1 Diagram Alir Tugas Akhir	28
Gambar 3. 2 Rancangan Parameter BS-RESA.....	31
Gambar 3. 3 Shock Absorber Conventional Toyota Calya	32
Gambar 3. 4 Kendaraan Uji	34
Gambar 3. 5 Arah torsi dan axial force Ball Screw	35
Gambar 3. 6 Gambar 2D RESA	38
Gambar 3. 7 Gambar 3D BS-RESA	39
Gambar 3. 8 Diagram Alir Pengambilan Data Shock Absorber Conventional.....	41
Gambar 3. 9 Diagram Alir Eksperimen BS-RESA.....	43
Gambar 3. 10 Lokasi Pemasangan BS-RESA pada Toyota Calya	43
Gambar 3. 11 Sketsa Speed Bump dan Speed Trap	44
Gambar 3. 12 <i>Oscilloscope</i> Tektronix TBS1104.....	44
Gambar 3. 13 Converter tegangan DC ke AC	45
Gambar 3. 14 Inverter	45
Gambar 3. 15 Accelerometer.....	46
Gambar 3. 16 Probe Tegangan.....	46
Gambar 3. 17 Resistor	47
Gambar 3. 18 Dioda 3 Fasa	47
Gambar 3. 19 Skema Instalasi Pengambilan Data.....	48
Gambar 4. 1 Generator Tamagawa.....	51
Gambar 4. 2 Ball Screw THK BTK V	52
Gambar 4. 3 Shaft Stainless Steel	53
Gambar 4. 4 Flexible Coupling.....	53
Gambar 4. 5 BS-RESA Model Coupling	54
Gambar 4. 6 Massa BS-RESA Model Coupling.....	55
Gambar 4. 7 Massa BS-RESA Model Spur Gear.....	56
Gambar 4. 8 Massa RESA Model Rack Pinion.....	57

Gambar 4. 9	Komponen BS-RESA	58
Gambar 4. 10	Pemasangan BS-RESA	59
Gambar 4. 11	Hambatan yang Digunakan.....	61
Gambar 4. 12	Peralatan Pengambilan Data.....	62
Gambar 4. 13	Medan Jalan yang Dilalui (a) Jalan Aspal, (b) Jalan Paving dan Speedbump, dan (c) Speedtrap.	63
Gambar 4.14	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Jalan Aspal Dengan Hambatan 15 ohm	66
Gambar 4.15	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Jalan Aspal Dengan Hambatan 20 ohm	67
Gambar 4.16	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Jalan Aspal Dengan Hambatan 25 ohm	69
Gambar 4.17	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Jalan Paving Dengan Hambatan 15 ohm	71
Gambar 4.18	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Jalan Paving Dengan Hambatan 20 ohm	72
Gambar 4.19	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Jalan Paving Dengan Hambatan 25 ohm	74
Gambar 4.20	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Speed Trap Dengan Hambatan 15 ohm	76
Gambar 4.21	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Speed Trap Dengan Hambatan 20 ohm	78
Gambar 4.22	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Speed Trap Dengan Hambatan 25 ohm	79
Gambar 4.23	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Speedbump Dengan Hambatan 15 ohm	82
Gambar 4.24	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Speedbump Dengan Hambatan 20 ohm	83
Gambar 4.25	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Speedbump Dengan Hambatan 25 ohm	85

Gambar 4.26 Diagram Batang RMS (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Speedbump dan Speedtrap, Grafik RMS (c) Tegangan dan (d) Daya Bangkitan Melewati Jalan Aspal dan Paving Dengan Hambatan 15 ohm.....	92
Gambar 4.27 Diagram Batang RMS (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Speedbump dan Speedtrap, Grafik RMS (c) Tegangan dan (d) Daya Bangkitan Melewati Jalan Aspal dan Paving Dengan Hambatan 15 ohm.....	96
Gambar 4.28 Perbandingan Percepatan Vertikal Conventional dan BS-RESA pada 10 km/h dengan hambatan 15 ohm.....	99
Gambar 4.29 Perbandingan Percepatan Vertikal Conventional dan BS-RESA pada 30 km/h dengan hambatan 20 ohm.....	100
Gambar 4.30 Perbandingan Percepatan Vertikal <i>Conventional</i> dan BS-RESA pada 20 km/h dengan hambatan 25 ohm.....	101
Gambar 4.31 Perbandingan Percepatan Vertikal Conventional dan BS-RESA pada 30 km/h dengan hambatan 15 ohm.....	103
Gambar 4.32 Perbandingan Percepatan Vertikal Conventional dan BS-RESA pada 10 km/h dengan hambatan 20 ohm.....	104
Gambar 4.33 Perbandingan Percepatan Vertikal Conventional dan BSRESA pada 20 km/h dengan hambatan 25 ohm.....	105
Gambar 4.34 Perbandingan Percepatan Vertikal Conventional dan BS-RESA pada 15 km/h dengan hambatan 15 ohm.....	107

Gambar 4.35 Perbandingan Percepatan Vertikal Conventional dan BS-RESA pada 5 km/h dengan hambatan 20 ohm.....	108
Gambar 4.36 Perbandingan Percepatan Vertikal Conventional dan BS-RESA pada 10 km/h dengan hambatan 25 ohm.....	109
Gambar 4.37 Perbandingan Percepatan Vertikal Conventional dan BS-RESA pada 5 km/h dengan hambatan 15 ohm.....	111
Gambar 4.38 Perbandingan Percepatan Vertikal Conventional dan BS-RESA pada 10 km/h dengan hambatan 20 ohm.....	112
Gambar 4.39 Perbandingan Percepatan Vertikal Conventional dan BS-RESA pada 15 km/h dengan hambatan 25 ohm.....	113
Gambar 4.40 Diagram Batang RMS Percepatan Vertikal (a) <i>Speedbump</i>, (b) <i>Speedtrap</i>, (c) Jalan Paving, dan (d) Jalan Aspal.....	118
Gambar 4. 41 Pemodelan sistem dinamis dengan damped dynamic vibration absorber (Rao, 2011).....	121
Gambar 4. 42 Grafik Frekuensi Natural.....	124

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan daya yang dihasilkan HMRESA	10
Tabel 2. 2 Nilai percepatan yang dapat diterima untuk kenyamanan pengendara (Rao, 2011)	25
Tabel 3. 1 Tabel Parameter Regenerative Shock Absorber (RESA)	30
Tabel 3. 2 Tabel Parameter Generator	33
Tabel 3. 3 Tabel Parameter Kendaraan Uji	34
Tabel 4.1 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Speedbump dan Speedtrap pada hambatan 15 ohm	87
Tabel 4.2 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Jalan Aspal dan Jalan Paving pada hambatan 15 ohm	88
Tabel 4. 3 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Speedbump dan Speedtrap pada hambatan 20 ohm	88
Tabel 4. 4 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Jalan Aspal dan Jalan Paving pada hambatan 20 ohm	89
Tabel 4. 5 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Speedbump dan Speedtrap pada hambatan 25 ohm	89
Tabel 4. 6 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Jalan Aspal dan Jalan Paving pada hambatan 25 ohm	90
Tabel 4.7 RMS Respon Percepatan Vertikal Melalui Speedbump	115
Tabel 4.8 RMS Respon Percepatan Vertikal Melalui Speedtrap	115
Tabel 4.9 RMS Respon Percepatan Vertikal Melalui Jalan Aspal	116

Tabel 4.10 RMS Respon Percepatan Vertikal Melalui Jalan Paving.....	116
Tabel 4. 11 Konversi Kecepatan	123

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketika konsumsi energi meningkat pesat, maka krisis energi menjadi hal yang mendesak. Kebutuhan konsumsi energi transportasi meningkat dari tahun ke tahun, dan diperkirakan akan meningkat menjadi 26%. Pada umumnya transportasi menyumbang 25% dari total energi dunia. Menurut data dari Departemen Energi Amerika (2014) , hanya sekitar 12%-30% dari energi bahan bakar yang dikonversikan pada kendaraan perkotaan. Artinya terdapat sekitar 70% hingga 88% energi yang terbuang. Energi yang terbuang dapat berupa energi panas pada mesin, elektrik, transmisi, dan getaran. Beberapa negara telah melakukan pengembangan energi terbarukan dari energi buangan transportasi. Salah satunya adalah memanfaatkan energi yang terbuang (terdisipasi) pada sistem suspensi kendaraan melalui *shock absorber*. Pada umumnya transportasi saat ini menggunakan *conventional shock absorber* dimana terdapat mekanisme hidrolis yang mampu meredam getaran dan energi redaman yang dihasilkan akan terbuang menjadi panas. Maka dari itu dilakukannya penelitian pada kendaraan untuk memanfaatkan energi yang terbuang, yaitu RESA (*Regenerative Shock Absorber*) mampu memulihkan energi getaran yang terbuang pada sistem suspensi kendaraan menjadi energi listrik.

Bebberapa peneliti telah menganalisa mengenai potensi energi yang terdapat pada sistem suspensi kendaraan. Masih banyak hasil dari penelitian yang belum optimal sehingga pengembangan RESA terus dilakukan demi mencapai kebutuhan yang diharapkan meliputi listrik yang dihasilkan dan kemampuan redaman yang baik. Desain dari RESA dapat

dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu *linear* dan *rotary*. *Linear* RESA mengubah gerakan naik turun suspensi secara langsung melalui *linear* magnet untuk menghasilkan energi listrik. Sedangkan *rotary* RESA mengubah gerak naik turun suspensi menjadi gerak rotasional untuk selanjutnya dihubungkan dengan generator dan menghasilkan listrik. Tang dkk (2014) mendesain dari *linear* RESA dapat mencapai efisiensi sebesar 70%-80%, namun memiliki koefisien redaman yang rendah. Karena menghasilkan koefisien redaman yang rendah, maka penelitian mengenai *rotary* RESA lebih mendominasi dalam beberapa tahun ke belakang.

Sistem suspensi *regenerative* selanjutnya terus dikembangkan, Bowen dkk (2019) mendesain *rotary* RESA dengan bentuk hampir menyerupai suspensi *conventional* dan daya bangkitan yang dihasilkan maksimal mencapai 148,61-110,1 Watt dengan efisiensi maksimal antara 50%-68%. Penelitian lain mengenai RESA dilakukan oleh Sakti Priyanto (2019) mampu mengembangkan prototip RESA *Spur Gear* yang dapat menyerap energi saat siklus kompresi maupun ekspansi sehingga dapat menghasilkan energi bangkitan yang lebih berkelanjutan dengan tegangan bangkitan maksimum yang dapat dihasilkan sebesar 9.11 V pada saat melewati *speedbump* dengan kecepatan 20 km/h.

Pada penelitian ini akan dikembangkan prototip *Ball Screw Regenerative Shock Absorber* (BS-RESA) yang sebelumnya diteliti oleh Sakti Priyanto (2019) dari Teknik mesin ITS, pada BS-RESA kali ini tidak menggunakan mekanisme *gear* melainkan menggunakan *coupling* dan diuji pada kendaraan *Toyota Calya* yang nantinya akan didapatkan data daya bangkitan dan juga didapatkan data pengaruh variasi kecepatan terhadap percepatan vertikal kendaraan dan juga variasi hambatan saat menggunakan BS-RESA yang selanjutnya akan dibandingkan dengan menggunakan *shock absorber* konvensional.

1.2 Rumusan Masalah

Beberapa permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan merealisasikan *Regenerative Shock Absorber* (RESA) dengan mekanisme *ball-screw* yang diaplikasikan pada *Toyota Calya*?
2. Bagaimana respon dinamis dari *Toyota Calya* yang telah dipasang *Ball Screw Regenerative Shock Absorber* (BS-RESA), dibandingkan dengan respon dinamis pada saat menggunakan *shock absorber conventional*?
3. Bagaimana karakteristik energi bangkitan yang dihasilkan *Ball Screw Regenerative Shock Absorber* (BS-RESA) dengan variasi kecepatan?
4. Bagaimana karakteristik efek redaman pada RESA dengan variasi hambatan 15 ohm, 20 ohm dan 25 ohm?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian tidak meluas ke bagian lain, maka diperlukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini berfokus pada rancang bangun dan eksperimen prototip RESA dengan mekanisme *ball screw*.
2. Material prototip *Ball Screw Regenerative Shock Absorber* (BS-RESA) dianggap kuat.
3. Parameter prototip *Ball Screw Regenerative Shock Absorber* (BS-RESA) standar pabrikan sesuai dengan yang tertulis pada spesifikasi dan jurnal.
4. *Shock absorber conventional* pada *Toyota Calya* berfungsi dengan baik.
5. Sistem suspensi *Toyota Calya* dalam keadaan standar pabrik

6. Respon dinamis yang dianalisa pada *Toyota Calya* adalah percepatan vertikal kendaraan.
7. Tidak membahas mengenai RL *circuit* generator AC 3 Fasa

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan merealisasikan prototip *Regenerative Shock Absorber* dengan mekanisme *ball-screw* yang diaplikasikan pada *Toyota Calya*.
2. Menganalisa respon dinamis dari kendaraan *Toyota Calya* yang telah dipasang BS-RESA, lalu dibandingkan dengan respon dinamis pada saat menggunakan *shock absorber conventional*.
3. Mendapatkan karakteristik energi bangkitan yang dihasilkan BS-RESA dengan variasi kecepatan.
4. Mendapatkan karakteristik efek redaman yang dihasilkan RESA dengan variasi hambatan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

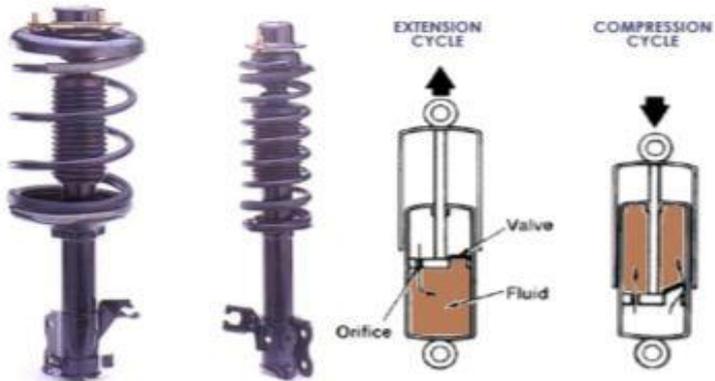
1. Mengetahui energi listrik pada BS-RESA model *ball screw*
2. Mengetahui performa kendaraan setelah menggunakan BS-RESA model *ball screw*
3. Sebagai dasar untuk pembuatan prototip dan pengembangan BS-RESA jenis yang sama.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Sistem Suspensi *Shock* Absorber

Jika 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* atau peredam kejut adalah alat yang digunakan untuk mendisipasi energi tersebut.

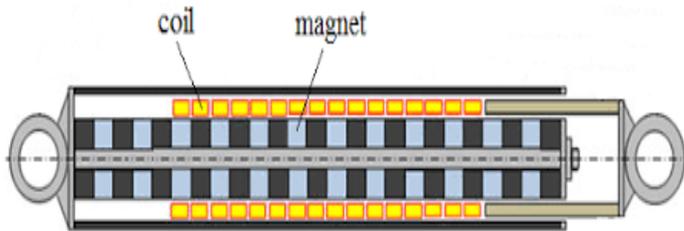


Gambar 2. 1 Bentuk fisik *shock* absorber (Abdelkareem dkk, 2018)

Konstruksi umum dari peredam kejut adalah seperti terlihat pada Gambar 2.1. Peredam kejut ini terdiri dari bagian silinder yang berfungsi penutup dan tempat pemasangan piston. Pada bagian dalam terdapat katup-katup yang berguna untuk mengalirkan fluida dari tabung atas ke tabung bawah. Untuk kendaraan, konstruksi peredam dibuat sedemikian sehingga saat langkah tekan, gaya peredaman dibuat minimal sedangkan saat langkah tarik, gaya peredaman dibuat maksimal. Alasannya, pada langkah tekan, *massa spring* menghantam bumi, sesuai hukum Newton, maka gaya reaksi yang diterima badan kendaraan akan sepadan dengan aksi. Oleh sebab itu, diupayakan gaya peredaman minimal saat kendaraan bergerak ke bawah supaya gaya yang diterima penumpang juga minimal. Sebaliknya, saat langkah tarik, kendaraan hanya menghantam udara. Oleh karena itu, tak akan ada reaksi berlebihan yang diterima penumpang.

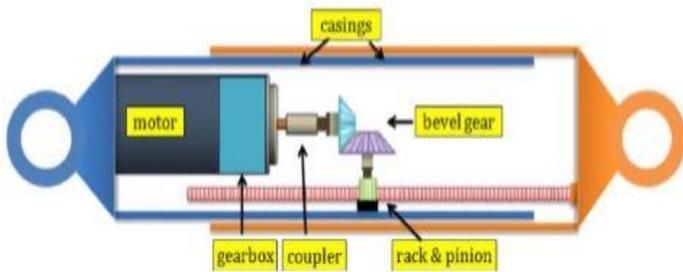
2.2 *Regenerative Shock Absorber*

Regenerative shock absorber (RESA) adalah mekanisme *shock absorber* selain meredam getaran juga mampu menghasilkan energi listrik. RESA dapat dikelompokkan menjadi dua jenis dari cara menghasilkan energi listriknya, yaitu *linear* dan *rotary*. *Linear* RESA mengubah gerakan naik turun suspensi secara langsung melalui *linear* magnet untuk menghasilkan energi listrik. Sedangkan *rotary* RESA mengubah gerak naik turun suspensi menjadi gerak rotasional untuk selanjutnya dihubungkan dengan generator dan menghasilkan listrik. *Rotary* RESA sendiri terbagi menjadi beberapa jenis, yaitu *rack pinion*, hidrolik, mekanisme lengan, *ball screw*, dan *cable-pulley*.



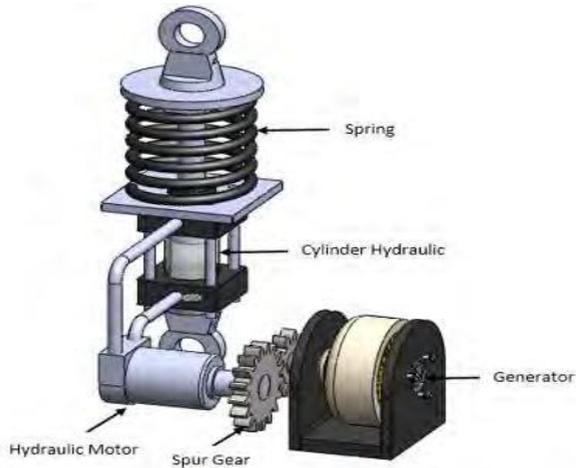
Gambar 2. 2 RESA tipe linear magnet (Tang dkk, 2014)

Gambar 2.2 merupakan desain *linear* RESA oleh Tang dkk (2014). Sistem ini langsung menghasilkan listrik tanpa ada mekanisme pengubah gerak *linear* menjadi gerak rotasi. Terdapat *linear* magnet dan lilitan koil pada sekeliling *shock absorber*, dimana nanti magnet dan lilitan koil akan menghasilkan listrik sejalan dengan *shock absorber* yang bergerak naik turun. Generator *linier* mencakup bagian utama yang terdiri dari lilitan koil dan bagian sekunder yang terdiri dari cincin magnet yang disusun. Selama kendaraan berjalan, susunan cincin magnet bergerak secara *linear* didalam kumparan koil. Karena gerakan *linear* dari cincin magnet didalam kumparan koil, tegangan AC akan terinduksi dalam koil. Daya bangkitan RESA didapatkan nilai rata-rata sebesar 26 Watt pada kecepatan suspensi 0,11 m/s dan nilai koefisien redaman sebesar 980 Ns/m, dimana nilai koefisien redaman yang dihasilkan sebesar 50% dari nilai koefisien redaman *conventional shock absorber*.



Gambar 2. 3 RESA tipe rack pinion (Zhongjie Li, 2017)

Gambar 2.3 merupakan desain *rotary* RESA oleh Zhongjie li (2017). Jenis *rotary* RESA yang digunakan pada sistem ini adalah *rack pinion*, dimana *rack pinion* akan bergerak sejalan dengan naik turunnya suspensi pada kendaraan. Gerakan *rack pinion* akan diubah 90 derajat dengan sepasang roda gigi yang terhubung. Roda gigi yang dipakai yakni bevel gear dan dihubungkan ke *coupling*, rotasi dapat ditransfer ke motor melalui *gearbox*. Sistem ini kemudian dipasang di Surburban SUV Chervrolet (2002 model) dan pengetesan dilakukan pada jalan kampus beraspal pada kecepatan 48 km / jam dan beban listrik 30 Ω . Energi rack pinion memiliki daya bangkitan maksimum sebesar 67.5 W dan daya bangkitan rata-rata 19.2 W.

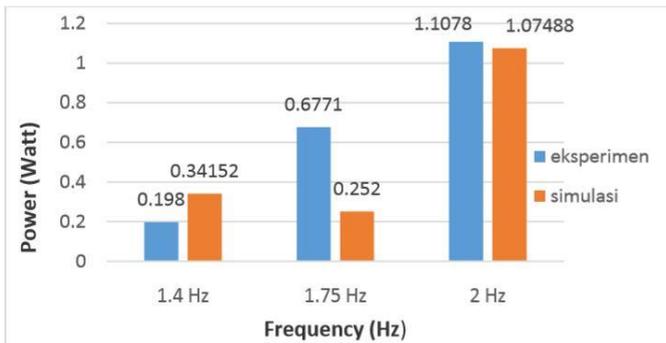


Gambar 2. 4 Konstruksi HMRESA (Kaspul Anuar, 2014)

Pada Tahun 2014, Kaspul Anuar dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember merancang *hydraulic motor regenerative shock absorber* (HMRESA). Pada gambar 2.4 terlihat bahwa komponen *hydraulic motor regenerative shock absorber* ini terdiri dari *spring*, *cylinder hydraulic*, *hydraulic motor*, *spur gear*, dan *generator*. Prinsip kerja dari alat ini adalah memanfaatkan energi kinetik pada gerakan suspensi kendaraan. Energi tersebut ditransfer ke sebuah motor hidrolik. Gaya yang ditransfer dari motor hidrolik kemudian ditransmisikan oleh susunan roda gigi yang berfungsi untuk meningkatkan putaran generator. Putaran generator tersebut akan menghasilkan energi bangkitan. Daya listrik yang dihasilkan HMRESA ini berkisar antara 0.024 watt sampai 1.1078 watt dengan model $\frac{1}{4}$ kendaraan.

Tabel 2. 1 Perbandingan daya yang dihasilkan HMRESA

Frekuensi	Daya Simulasi	Daya Eksperimen	Error
1.4 Hz	0.34152	0.198	72%
1.75 Hz	0.252	0.67	62,3%
2 Hz	1.07488	1.1078	2,9%

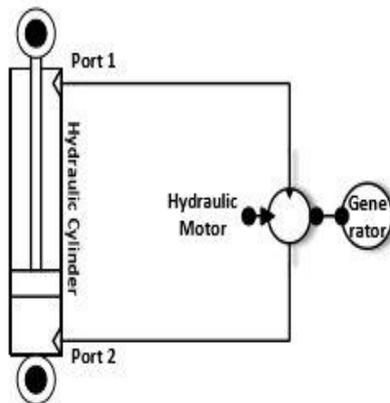


Gambar 2. 5 Energi bangkitan dari HMRESA

Dari grafik gambar 2.5, terlihat selisih daya yang dihasilkan baik pada simulasi maupun eksperimen pada masing – masing frekuensi terlihat tidak begitu jauh, terutama pada frekuensi 2 Hz. Pada tabel 2.1 terlihat error yang terjadi pada simulasi masih besar terutama pada frekuensi 1.4 Hz yaitu sebesar 72 %. Besarnya error yang terjadi disebabkan oleh beberapa parameter pada simulasi yang didapat dengan asumsi seperti parameter pada motor hidrolik. Yaitu berupa parameter momen inersia gear motor hidrolik dan nilai redaman ball bearing pada motor hidrolik. Proses pendekatan

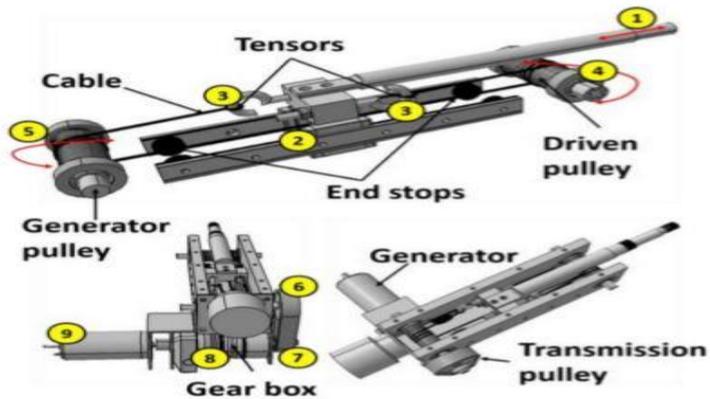
asumsi dalam mendapatkan nilai parameter inilah yang diduga kuat sangat mempengaruhi besarnya error yang terjadi pada simulasi

Pada tahun 2015, Sawungsari meneruskan penelitian dari Kaspul Anuar tentang HMRESA (*hidrolik motor regeneratif shock absorber*). Pada gambar 2.6 konsep dari alat tetap sama yaitu memanfaatkan energi kinetic pada suspensi gerakan kemudian energi ditransfer ke motor hidrolik, yang membedakan adalah Sawung memvariasikan tekanan awal pada akumulator sebesar 3,4,5 dan 6 bar. Kesimpulan yang didapatkan bahwa dengan adanya akumulator, gaya redam yang dihasilkan oleh sistem hidrolik lebih besar. Dan semakin besar tekanan awal pada akumulator, maka gaya redam yang dihasilkan juga lebih besar. HMRESA ini dapat menghasilkan listrik terbesar sekitar 91,4679 watt dengan kecepatan 120km/h.



Gambar 2. 6 Skema HMRESA (Sawungsari, 2015)

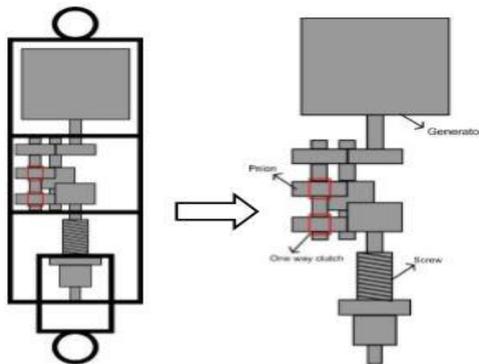
Melalui penelitiannya, Bowen dkk (2019) menganalisa parameter-parameter yang ada pada RESA *ball screw*, yaitu *screw lead*, diameter *screw*, inersia, dan beban generator. Bowen juga mengoptimasi parameter dari *ball screw*. Hasilnya didapat nilai paling optimal dari *screw lead* adalah 7 mm/rev. Daya bangkitan yang dihasilkan maksimal mencapai 148,61-110,1 Watt dengan efisiensi maksimal antara 50%-68%.



Gambar 2. 7 RESA tipe *cable and pulley* (Bowen dkk, 2019)

Desain terbaru dari mekanisme RESA adalah menggunakan *cable and pulley*. Bowen dkk (2019) mendesain RESA ini dengan memanfaatkan getaran suspensi kendaraan. Terdapat 2 *pulley* yang masing-masing terhubung satu sama lain dengan kabel. Satu *pulley* berfungsi sebagai penggerak, satu *pulley* yang lain berfungsi sebagai penghubung dengan generator. Terdapat *gearbox* untuk meningkatkan putaran generator. Gambar 2.7 menunjukkan mekanisme RESA *cable*

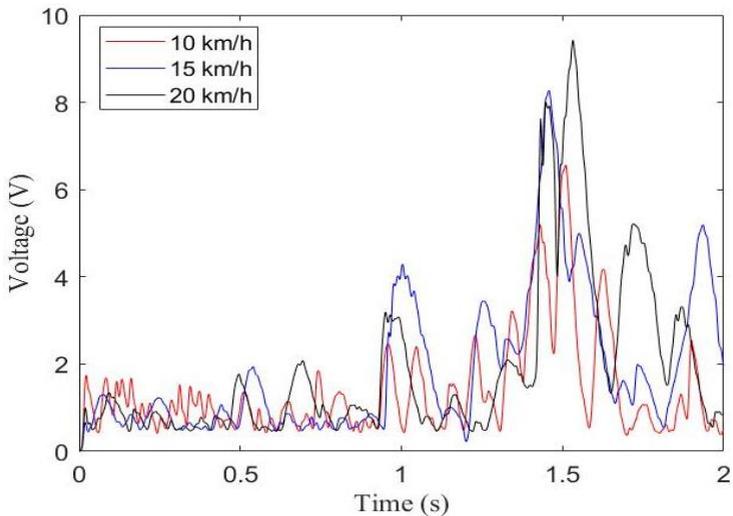
and pulley. RESA dipasang pada kendaraan kecil perkotaan dan diujicoba melewati jalanan bergelombang dengan kecepatan 20-30 km/h. Didapatkan nilai rata-rata daya yang dihasilkan adalah 105 Watt untuk empat buah RESA yang terpasang. Daya maksimal yang dihasilkan sebesar 400-500 Watt. Efisiensi total yang dihasilkan mencapai 60%. Satu yang menjadi permasalahan pada mekanisme ini adalah terjadinya slip pada *cable and pulley*. Hal ini dapat mengurangi efisiensi keseluruhan RESA.



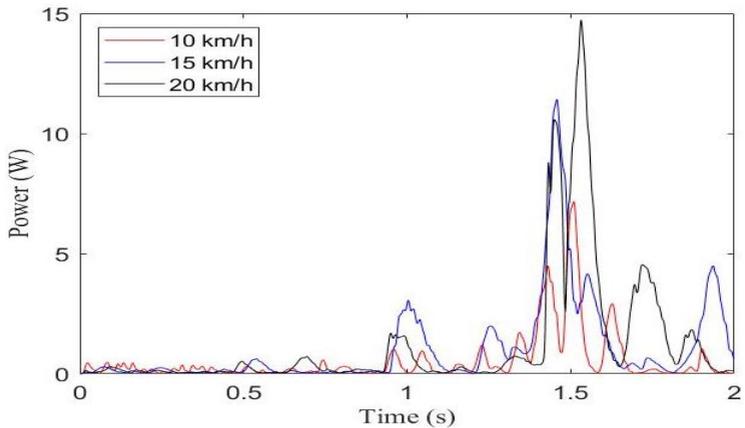
Gambar 2. 8 RESA tipe *ball screw* (Sakti, 2019)

Pengembangan prototip Ball Screw RESA *Spur Gear* seperti pada gambar 2.8 yang dilakukan oleh Sakti (2019) dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember mengambil prinsip untuk mengubah gerakan translasi menjadi rotasi yang digunakan untuk memutar generator guna membangkitkan daya. Sakti melakukan perancangan, pembuatan dan eksperimen sebuah RESA model *ball screw* dengan *spur gear* pada suspensi kendaraan *pick-up* untuk memanfaatkan energi terbuang pada bagian suspensi dengan cara memanfaatkan

gerak translasi naik-turun pada suspensi. Selanjutnya gerakan ini dikonversi menjadi gerak rotasi satu arah melalui roda gigi *spur gear* yang dilengkapi dengan *one-way clutch* untuk menggerakkan generator sehingga generator menghasilkan listrik yang kemudian dapat disimpan untuk keperluan kendaraan. Sistem ini nantinya dilakukan pengujian pada kendaraan *pick-up* untuk mengetahui lebih jauh bagaimana pengaruh penggunaan RESA terhadap respon badan kendaraan *pick-up*. Dengan variasi kecepatan yaitu 10 km/h, 15 km/h, dan 20 km/h pada saat melewati *speedbump* dan *speedtrap*. Kemudian dengan variasi kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h pada saat melewati jalan paving dan jalan aspal. Kemudian didapatkan grafik respon dinamis kendaraan dan grafik dayaangkitan RESA.



Gambar 2. 9 Grafik tegangan melalui *speedbump* (Sakti, 2019)



Gambar 2. 10 Grafik daya bangkitan melalui *speedbump* (Sakti, 2019)

Pada penelitian ini, telah dirancang dan direalisasikan BS-RESA *spur gear* yang kemudian dilakukan pengujian menggunakan *pick-up*. Pada gambar 2.9 dan 2.10 BS-RESA *spur gear* mampu menghasilkan tegangan bangkitan maksimum yang dapat dihasilkan sebesar 9.21 V dengan daya maksimum sebesar 13.4 W pada saat melewati *speedbump* dengan kecepatan 20 km/h. Sedangkan percepatan vertikal maksimum terjadi pada saat melalui *speedbump* dengan kecepatan 20 km/h yaitu sebesar 12.9 m/s^2 untuk BSRESA *spur gear*.

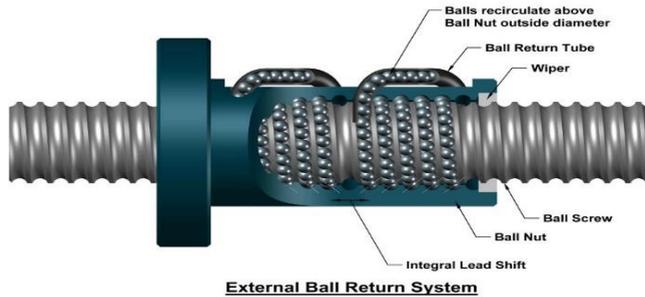
2.3 Komponen Utama *Ball screw Regenerative Shock Absorber* (RSA)

Pada penelitian ini akan dikembangkan prototip *Ball screw Regenerative Shock Absorber* (BS-RESA) untuk kendaraan *Toyota Calya*, hal ini memiliki perbedaan dengan RESA yang sebelumnya telah dibuat oleh sakti yang

menggunakan *spur gear*. Tidak digunakannya *spur gear* pada penelitian ini bertujuan untuk mengurangi energi bangkitan yang terbuang (*loses*). Energi bangkitan yang diperoleh oleh peredam getaran berupa gerak translasi selanjutnya dikonversi menjadi gerak rotasi melalui *ball screw* setelah itu langsung ditransferkan menuju generator AC melalui *coupling*. Terdapat empat komponen utama dalam perancangan RSA ini antara lain:

2.3.1 *Ball Screw*

Umumnya, *Ball screw* merupakan *actuator linier* yang bertindak untuk mengubah gerak *linier* menjadi gerak rotasi dengan gesekan kecil ataupun sebaliknya. Gesekan yang terjadi kecil dikarenakan antara *screw* dan *nut* yang mengalami gesekan adalah bola. *Ball screw* termasuk sebuah poros ulir terbentuk dari ulir helical yang terdapat pada bagian luar poros dan mengelilinginya. Kegunaan umumnya pada mesin mesin industri dan sebagai *actuator* posisi yang utamanya untuk menahan beban dorong. Beberapa kelebihan lain menggunakan *ball screw* adalah desain yang simpel, efisiensi mekanis yang cukup tinggi sehingga meminimalkan *loses*, tingkat akurasi yang tinggi, dan memiliki ketahanan yang paling tinggi diantara mekanisme lain (Abdelkareem dkk, 2018).



Gambar 2. 11 Konstruksi dan desain *ball screw* (Google Image)

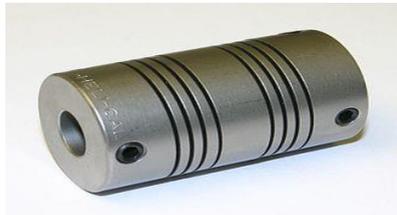
Pada gambar 2.11 menunjukkan konstruksi dari *ball screw*, poros yang berulir (*screw*) terdapat jalur berbentuk heliks untuk *ball bearing* yang bertindak sebagai sekrup presisi yang mampu menahan gaya dorong yang cukup tinggi dengan gesekan internal yang kecil. *Ball screw* cocok untuk digunakan dalam mekanisme di mana presisi tinggi diperlukan. Susunan bola bertindak sebagai *nut*. Sedangkan poros berulir bertindak sebagai *screw*.

2.3.2 *Bearing*

Bearing merupakan sebuah elemen mesin yang berfungsi untuk membatasi gerak relatif antara dua atau lebih komponen mesin agar selalu bergerak pada arah yang diinginkan. *Bearing* menjaga poros (*shaft*) agar selalu berputar terhadap sumbu porosnya, atau juga menjaga suatu komponen yang bergerak linier agar selalu berada pada jalurnya. Fungsi dari *bearing* itu sendiri yaitu untuk mengurangi gesekan antara komponen atau kerangka yang sudah di sambungkan ke *bearing* supaya pergerakan yang dihasilkan semakin lancar, Selain itu, fungsi dari *bearing* juga sebagai tumpuan dari benda yang berputar.

2.3.3 *Coupling*

Kopling adalah alat yang digunakan untuk menghubungkan dua poros pada kedua ujungnya dengan tujuan untuk mentransmisikan daya mekanis seperti pada gambar 2.13. Fungsi dari kopling itu sendiri yakni pertama adalah untuk menghubungkan dua unit poros yang dibuat secara terpisah, seperti poros motor dengan roda atau poros generator dengan mesin. Kedua kopling mampu memisahkan dan menyambungkan dua poros untuk kebutuhan perbaikan dan penggantian komponen. Ketiga untuk mendapatkan fleksibilitas mekanis, terutama pada dua poros yang tidak berada pada satu aksis. Keempat untuk mengurangi beban kejut (*shock load*) dari satu poros ke poros yang lain. Kelima untuk menghindari beban kerja berlebih. Selain itu peneliti memilih menggunakan kopling seperti pada gambar 2.14 karena lebih ringkas dan ringan dalam pengapliasiannya dan tentunya untuk mengurangi karakteristik getaran dari dua poros yang berputar. Dalam perancangan ini coupling terletak diantara poros ulir (*screw*) menuju poros dari generator AC.



Gambar 2. 13 Konstruksi dan desain *coupling* (Tokopedia)

2.3.4 Generator Listrik

Generator merupakan alat yang dapat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik menggunakan induksi elektromagnetik. Prinsip kerja ini berkebalikan dengan motor listrik. Berdasarkan arus yang dihasilkan, generator dapat dibedakan menjadi dua yaitu generator AC dan generator DC. Generator AC menghasilkan arus bolak-balik (AC) dan generator DC menghasilkan arus searah (DC).

Pada generator listrik alternator (AC), kutub-kutub magnet yang berlawanan saling dihadapkan akibatnya diantara kedua kutub magnet itu menghasilkan medan magnet. Didalam medan magnet, terdapat kumparan yang selalu berputar pada porosnya. Karena kumparan ini selalu berputar, jadi jumlah gaya magnet yang masuk kedalam kumparan akan berubah-ubah juga. Sifat arus listrik yang dihasilkan oleh generator AC ini memiliki jenis bolak balik dengan bentuknya seperti gelombang. Amplitudonya bergantung pada kekuatan medan magnet, jumlah lilitan kawat dan juga luas penampang kumparannya serta frekuensi putaran kumparan sama dengan frekuensi gelombangnya.



**Gambar 2. 14 Generator AC 3 Fasa Tamagawa
(Tokopedia)**

Dalam perancangan ini menggunakan generator listrik AC 3 fasa seperti pada gambar 2.14. generator yang digunakan adalah jenis motor AC 3 fasa Tamagawa TBL-i II Series TS4607N1033E200 yang difungsikan sebagai generator. Output dari generator masih berupa arus AC 3 fasa, sehingga perlu ditambahkan diode 3 fasa agar arus yang dihasilkan DC 1 fasa. Spesifikasi dari generator ini mampu menghasilkan daya mencapai 100 Watt dengan tegangan mencapai 200 Volt. Putaran maksimal yang diijinkan dari generator adalah 5000 rpm. (Tamagawa Cathalog).

Perhitungan daya bangkitan yang dihasilkan oleh generator, digunakan pendekatan generator 3 fasa.

Persamaan elektrik pada generator dengan menggunakan *Kirchhoff's voltage law* sebagai berikut:

$$(R_e + R_i)I + L \frac{dI}{dt} = V_e \quad (2.1)$$

Dengan,

$$V_e = 2NBla\dot{\theta} = \alpha\dot{\theta} \quad (2.2)$$

Karena induktansi diabaikan, maka persamaan tersebut menjadi:

$$(R_e + R_i)I + L \frac{dI}{dt} = V_e$$

Sehingga persamaan menjadi:

$$(R_e + R_i)I = \alpha\dot{\theta}$$

$$I = I = \frac{\alpha}{(R_e + R_i)}\dot{\theta} = \beta\dot{\theta} \quad (2.3)$$

dimana:

V_e	: electromotive voltage (Volt)
L	: induktansi internal (Henries)
I	: arus (Ampere)
k_v	: voltage coefficient (V.s/rad)

Rumus torsi elektrik pada generator:

$$\begin{aligned}T_e &= F_e a \\T_e &= (NBll)a \\T_e &= NB l(\beta\dot{\theta})a \\T_e &= NBla\beta\dot{\theta} = c_{Te}\dot{\theta}\end{aligned}\tag{2.4}$$

dimana:

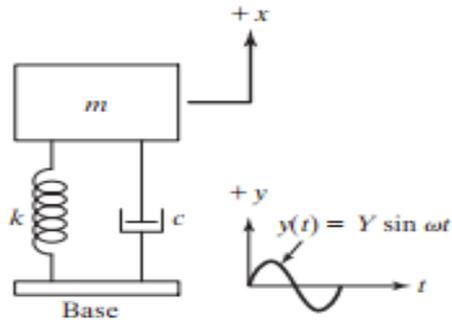
- T_e : torsi elektrik (Nm)
- N : jumlah lilitan
- B : induksi magnetik (Tesla)
- l : panjang kumparan (m)
- a : jarak kepada kawat (m)
- c_{Te} : koefisien torsi elektrik (Nms/rad)

2.4 *Motion of base*

Ada dua jenis getaran yang umum yaitu getaran bebas dan getaran paksa. Getaran paksa yaitu getaran yang terjadi karena rangsangan gaya dari luar. Jika rangsangan tersebut beresilasi maka sistem dipaksa untuk bergetar pada frekuensi eksitasinya. Sistem getaran termasuk sarana untuk menghilangkan energi secara bertahap (peredam), sarana untuk menyimpan energi potensial (pegas), dan sarana untuk menyimpan energi kinetik (massa atau inersia).

- ***Forced Vibration***

Forced Vibration terjadi jika sistem mekanik terkena gaya dari luar sistem.



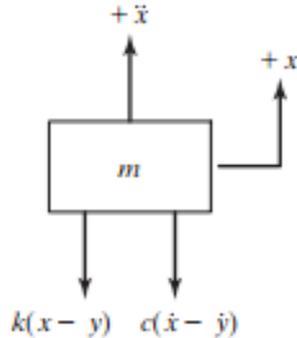
Gambar 2. 15 Sistem Force Vibration with Damping (Rao, 2011)

Turunan persamaan dari gambar 2.15 *free vibration with viscous damping* adalah

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = F(t) \quad (2.5)$$

$$m\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{y}) + k(x - y) = 0 \quad (2.6)$$

Dalam penerapannya profil jalan yang tidak rata akan menghasilkan eksitasi input $y(t)$, dimana memungkinkan suatu sistem pada pegas-massa-peredam mengalami gerak harmonik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.16. Eksitasi input $y(t)$ menyatakan perpindahan dari *base*, dan $x(t)$ menyatakan perpindahan massa dari posisi kesetimbangan statis pada waktu t . Sehingga perpanjangan dari pegas adalah $(x - y)$ dan kecepatan relatif antara kedua ujung damper adalah $(\dot{x} - \dot{y})$. Dari *free body diagram* didapatkan persamaan gerak:



Gambar 2. 16 FBD Force Vibration with Damping (Rao, 2011)

Dari *free body diagram* didapatkan persamaan gerak:

$$F = k(x - y) + c(\dot{x} - \dot{y}) = -m\ddot{x} \quad (2.7)$$

$$F = m\omega^2 X \sin(\omega t - \phi) = F_t \sin(\omega t - \phi) \quad (2.8)$$

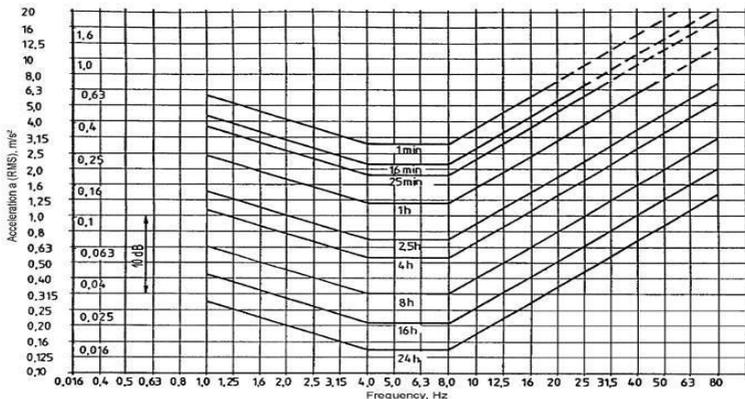
2.5 Pengaruh Kecepatan Kendaraan terhadap Kenyamanan Pengendara

Tingkat kenyamanan pengendara saat pengendara sangat tergantung kepada banyak hal, salah satunya mengenai percepatan kendaraan. Studi menunjukkan bahwa nilai – nilai yang digambarkan pada tabel 2.2 dapat dijadikan acuan bagaimana respon manusia terhadap percepatan yang terjadi pada kendaraan akibat kedararan pada kendaraan publik. Namun reaksi tersebut juga bergantung pada durasi perjalanan dan ekspektasi pengendara ketika mengendarai kendaraan.

Tabel 2. 2 Nilai percepatan yang dapat diterima untuk kenyamanan pengendara (Rao, 2011)

No.	Getaran (m/s^2)	Keterangan
1.	$a < 0.315$	Tidak ada keluhan
2.	$0.315 < a < 0.63$	Sedikit tidak nyaman
3.	$0.5 < a < 0.1$	Agak tidak nyaman
4.	$0.8 < a < 1.6$	Tidak nyaman
5.	$1.25 < a < 2.5$	Sangat tidak nyaman
6.	$a > 2$	Amat sangat tidak nyaman

Untuk kriteria ketahanan pengendara berdasarkan besar percepatan menurut standart ISO 2631, ditampilkan pada gambar 2.17 dibawah ini.



Gambar 2. 17 Grafik percepatan *Root mean square* berdasarkan ISO 2631 (Rao, 2011)

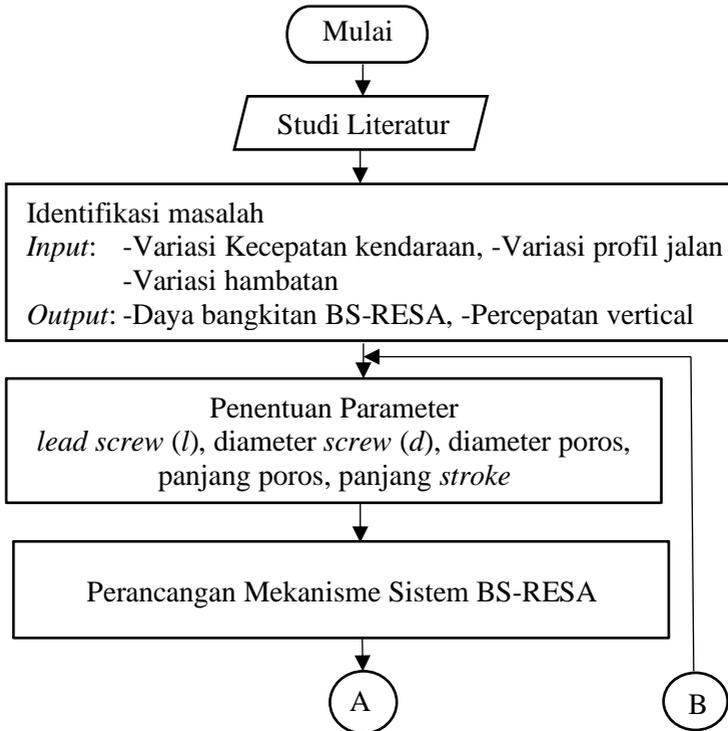
Selain berdasarkan tingkat kenyamanan, acuan baik tidaknya suspensi kendaraan juga dilihat berdasarkan tingkat keamanan. Suspensi dapat dikatakan relatif aman jika roda dan permukaan jalan melekat dengan baik atau diusahakan defleksi pada roda seminimal mungkin. Defleksi maksimum dari suspensi depan sebesar 10 cm, sedangkan untuk suspensi belakang maksimum sebesar 12 cm.

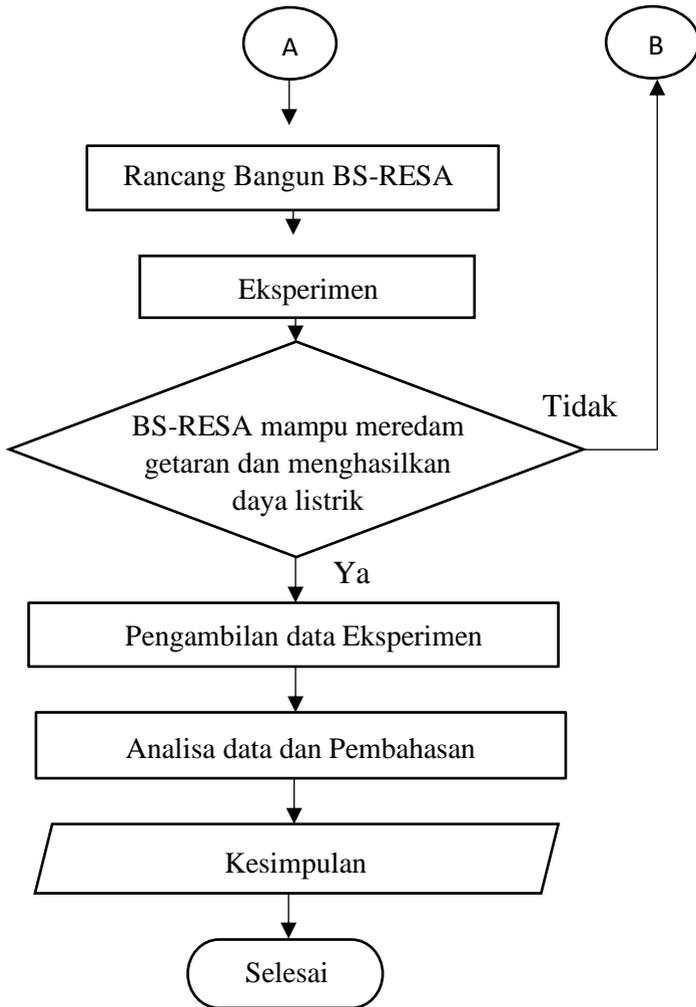
BAB III

METODOLOGI

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian dan pengembangan Ball Screw Regenerative *Shock* absorber (BS-RESA) kali ini dibuat dengan menggunakan mekanisme *coupling* sebagai penghubung *screw* dengan generator. Diagram alir penelitian dibuat untuk mengetahui langkah-langkah yang harus dilakukan pada proses penelitian mulai dari tahap awal sampai tahap akhir. Diagram alir penelitian sebagai berikut:





Gambar 3. 1 Diagram Alir Tugas Akhir

3.2 Penjelasan Tahap Penelitian

Berikut ini merupakan penjelasan dari diagram alir *penelitian* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1 di atas.

3.2.1 Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan untuk memperkaya wawasan, pengetahuan, dan landasan tentang materi yang akan dibahas dalam penelitian ini. Sumber yang diambil berasal dari beragam karya ilmiah seperti buku, jurnal ilmiah baik nasional maupun internasional, tugas akhir maupun tesis terdahulu. Tema yang digali adalah seputar pemanenan energi melalui mekanisme BS-RESA dengan memanfaatkan getaran pada suspensi kendaraan.

3.2.2 Identifikasi Masalah

Masalah pada penelitian tugas akhir *Regenerative Shock Absorber (RESA) menggunakan Ball Screw*, identifikasi masalah yang dilakukan terbagi menjadi dua bagian. Dua bagian tersebut antara lain input dan output. *Input* merupakan suatu masukan yang diberikan pada penelitian ini, yaitu berupa kecepatan kendaraan *Toyota Calya*. *Output* merupakan hasil yang didapatkan dalam penelitian ini, yaitu berupa grafik percepatan vertikal kendaraan pada saat menggunakan *shock absorber conventional* maupun dengan menggunakan BS-RESA *Spur Gear* dan juga grafik daya bangkitan.

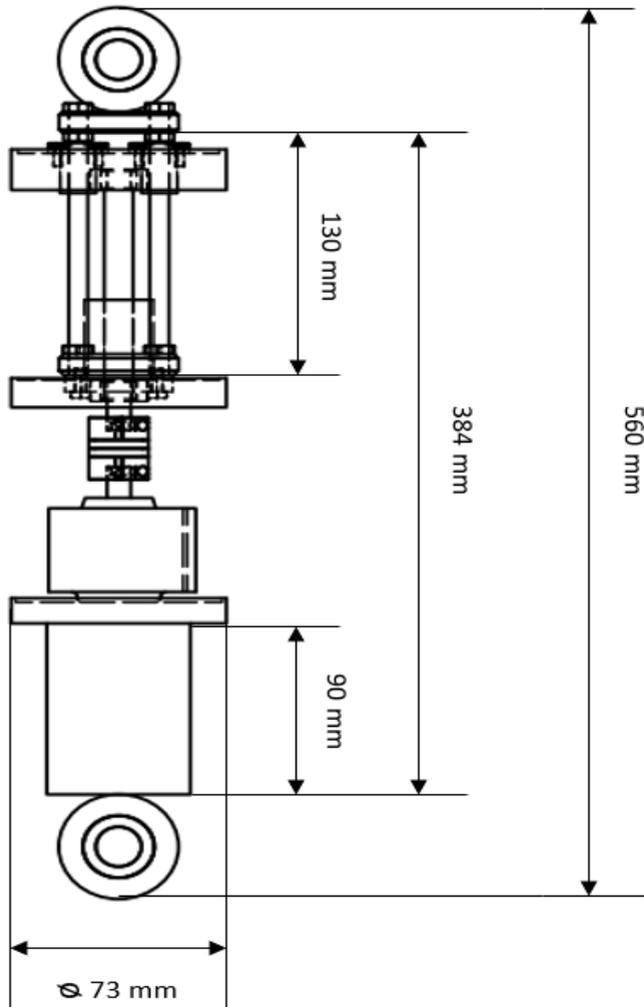
3.2.3 Penentuan Parameter

Pada tugas akhir ini jenis kendaraan yang dianalisa adalah kendaraan *Toyota Calya*. Untuk itu diperlukan data parameter yang menunjang perancangan *Regenerative Shock Absorber (RESA) menggunakan Ball Screw* yang sesuai dengan kondisi *Toyota Calya*. Data parameter yang diperlukan pada RESA meliputi dimensi *ball screw*, panjang *screw*, diameter *gear*, panjang poros, dan diameter poros. Parameter

BS-RESA dan *shock absorber Toyota Calya* tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1 dan gambar 3.3.

Tabel 3. 1 Tabel Parameter Regenerative *Shock Absorber* (RESA)

Parameter	Nilai
Diameter RESA	73 mm
Panjang RESA terpasang	460 mm
Panjang maximal RESA	520 mm
Panjang minimal RESA	420 mm
Diameter Ball Screw Nut	45 mm
Panjang Ball Screw Nut	44 mm
Diameter Linear Bearing	28 mm
Diameter Thrust Bearing	19 mm
Panjang Screw	170 mm
Diameter Screw	12 mm
Panjang Stroke RESA	100 mm
Lead Screw	8 mm
Diameter shaft konektor	6 mm
Panjang shaft konektor	150 mm
Jumlah shaft konektor	4
Diameter Inside Coupling	10 mm
Diameter Outer Coupling	25 mm
Panjang Coupling	30 mm
Dimensi Generator	60 x 60 mm



Gambar 3. 2 Rancangan Parameter BS-RESA

Kemudian, perancangan desain BS-RESA ini menggunakan acuan *shock absorber conventional* kendaraan penumpang yaitu *Toyota Calya*. Berikut merupakan data parameter dari *shock absorber Toyota Calya* tersebut.

ASTRA Otoparts

Perbandingan Sokbreker & Per Belakang Toyota Calya - Daihatsu Sigra

GENUINE PARTS		KYB	
Tipe : STANDARD Colour : - Spring : BLACK - Shock : BLACK		Tipe : XR 9811 (After Market CALYA / SIGRA Rr) Colour : - Spring : RED - Shock : DARK GREY SILVER	
Lmax : 580, Lmin 384, Stroke 196		Lmax : 580, Lmin 384, Stroke 196	
DIAMETER WIRE PER LEBIH BESAR Suspensi lebih kuat dalam menahan beban dan handal menghadapi kondisi jalan			
BLACK SPRING Coil Ø10.9mm		REDSRING Coil Ø13.9mm	
SHOCK ABSORBER LEBIH BESAR DAN LEBIH KOKOH Meredam setiap guncangan lebih baik pada segala kondisi jalan sehingga kendaraan lebih stabil dan lebih nyaman			
COVER Ø 47.0mm OUTER SHELL Ø 38.6mm		COVER Ø 53.0mm OUTER SHELL Ø 44.6mm	

KYB

Gambar 3. 3 Shock Absorber Conventional Toyota Calya

Tabel 3. 2 Tabel Parameter Generator

Parameter	Nilai
Tipe	Generator Listrik AC
Voltase	200 V
Daya Maksimal	100 Watt
Rpm Maksimal	5000 Rpm
Torsi	0.64 Nm

Data parameter tersebut telah disesuaikan dengan spesifikasi pada katalog generator AC dengan Merek Tamagawa. Cara kerja dari generator AC pada BS-RESA, berfungsi sebagai pengubah energi mekanik yang berupa putaran menjadi energi listrik. Putaran dihasilkan dari energi getaran yang berasal dari profil jalan yang menyebabkan gerak translasi pada shaft BS-RESA, untuk selanjutnya dirubah menjadi gerakan rotasi melalui ball screw. Putaran Ball screw diteruskan melalui coupling yang terhubung ke shaft generator AC. Faktor yang mempengaruhi kerja generator yaitu besarnya displacement (mm) yang disebabkan oleh profil jalan yang dilalui. Displacement menyebabkan putaran pada ballscrew menjadi lebih tinggi, sehingga energi listrik yang dihasilkan akan semakin tinggi. Data parameter tersebut telah disesuaikan dengan spesifikasi *Toyota Calya* dan ketersediaan di pasaran. Parameter tersebut digunakan sebagai acuan dalam mendesain BS-RESA, tujuannya untuk memastikan agar BS-RESA dapat diaplikasikan di *Toyota Calya*. Untuk gambar desain dan ukuran detail dari rancangan BS-RESA ini telah terlampir.

Pengambilan data BS-RESA ini menggunakan kendaraan penumpang yaitu menggunakan *Toyota Calya*. Nilai koefisien kekakuan ban dan koefisien redaman ban didapatkan dari referensi perumusan dan hasil pengujian oleh *Philips*. Berikut merupakan data parameter dari kendaraan uji tersebut.

Tabel 3. 3 Tabel Parameter Kendaraan Uji

Parameter	Keterangan	Nilai	Unit
m_v	Massa Kendaraan	975	Kg
K_v	Koefisien Pegas Kendaraan	79625	N/m
m_w	Massa ban	22	Kg
K_w	Koefisien Kekakuan Ban	162.47	N/m
C_w	Koefisien Redaman Ban	2860	N.s/m



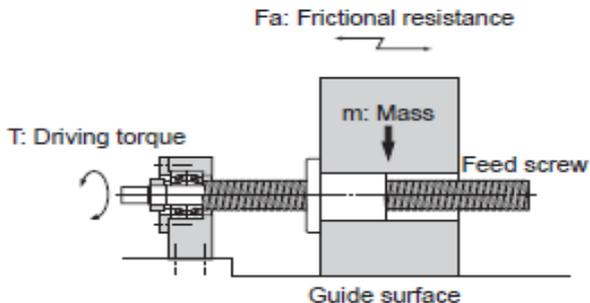
Gambar 3. 4 Kendaraan Uji

3.2.4 Permodelan Dinamis dan Penurunan Rumus

Pada Tugas Akhir ini dianalisa respon dinamis dari kendaraan ketika melalui jalan dengan kecepatan tertentu. Hasil dari respon gerak ini dapat digunakan untuk mencari potensi energi yang terdisipasi oleh *shock* absorber dalam suspensi kendaraan. Selain itu, energi yang terserap oleh BS-RESA pada kondisi jalan dalam kecepatan tertentu dapat diketahui.

Pada model dinamis *regenerative shock absorber* ini menggunakan prinsip gerakan dua arah putar yaitu apabila *ball screw* berputar searah *clockwise* (CW) maka *ball screw* mengangkat beban ke atas (naik) dan memutar *coupling* searah *clockwise* (CW) begitu juga dengan generator. Sebaliknya, ketika *ball screw* berputar searah *counterclockwise* (CCW) maka *ball screw* menahan beban ke bawah (turun) dan memutar *coupling* searah *counterclockwise* (CCW) begitu juga dengan generator.

a. Torsi *ball screw* (THK *Ball screw Catalogue*, 2018)



Gambar 3. 5 Arah torsi dan *axial force* *Ball Screw*

$$F_a = \frac{2 \times \pi \times \tau_a}{eff \times l} \quad (3.1)$$

Keterangan:

τ_a : *Driving Reverse Operation Torque* (Nm)

F_a : *Axial Force* (N)

l : *Screw Length* (m)

eff : *Reverse efficiency* (0,85-0,9)

b. Hubungan velocity kendaraan dengan frekuensi

$$f = \frac{v}{\lambda} \quad (3.2)$$

Dimana

$$f = 2\pi\omega \quad (3.3)$$

Keterangan :

f : *Frekuensi* (Hz)

v : *velocity* (m/s)

λ : *Lambda*

π : *Phi* (3,14)

ω : *Angular velocity* (rad/s)

c. Daya bangkitan

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (3.4)$$

Keterangan :

P : *Daya* (Watt)

V : *Tegangan* (Volt)

R : *Hambatan* (Ohm)

d. Percepatan Vertikal

$$\ddot{x} = G \frac{g}{10\text{mV.skala}} \quad (3.5)$$

Dimana

$G = (\text{data } \textit{oscilloscope}). 100\text{mV}$

Keterangan :

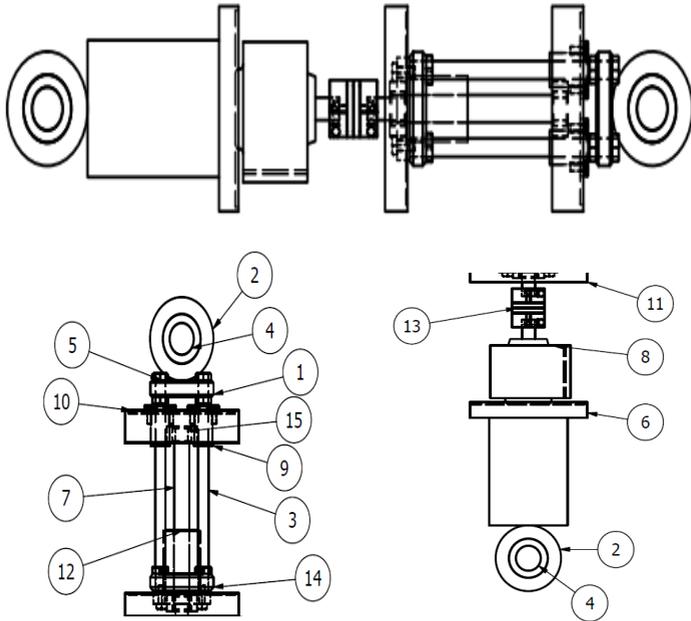
\ddot{x} : Percepatan (m/s^2)

G : Tegangan dari *accelerometer* (V)

g : Gravitasi bumi (m/s^2)

3.2.5 Rancang Bangun BS-RESA

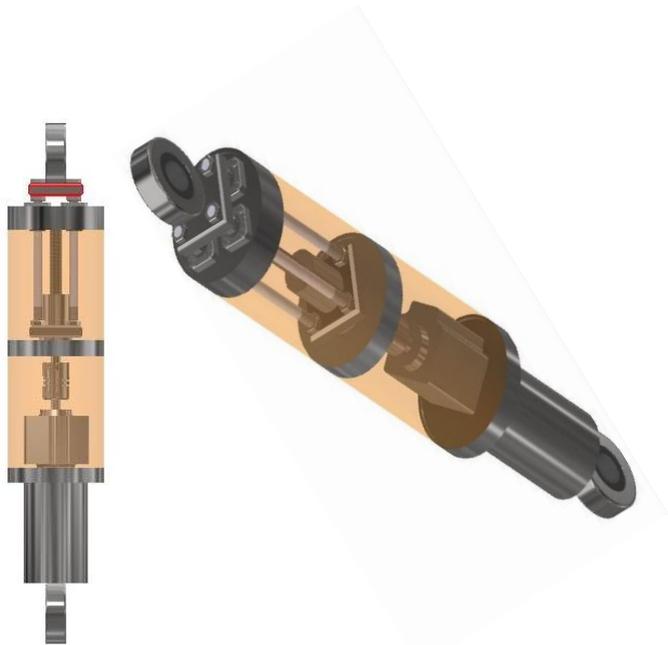
Dalam proses pembuatan BS-RESA ini membutuhkan berbagai komponen. Komponen-komponen tersebut ada yang dibuat secara khusus melalui proses fabrikasi seperti *cover plat mounting ball screw nut* dan *casing*. Beberapa komponen sudah tersedia di pasar, komponen yang tersedia di pasar antara lain *ball screw*, *bearing*, mur dan baut, dan *generator*. Berikut merupakan gambar 2D dari *regenerative shock absorber* model *ball screw* dengan *spur gear*.



Gambar 3. 6 Gambar 2D RESA

Keterangan:

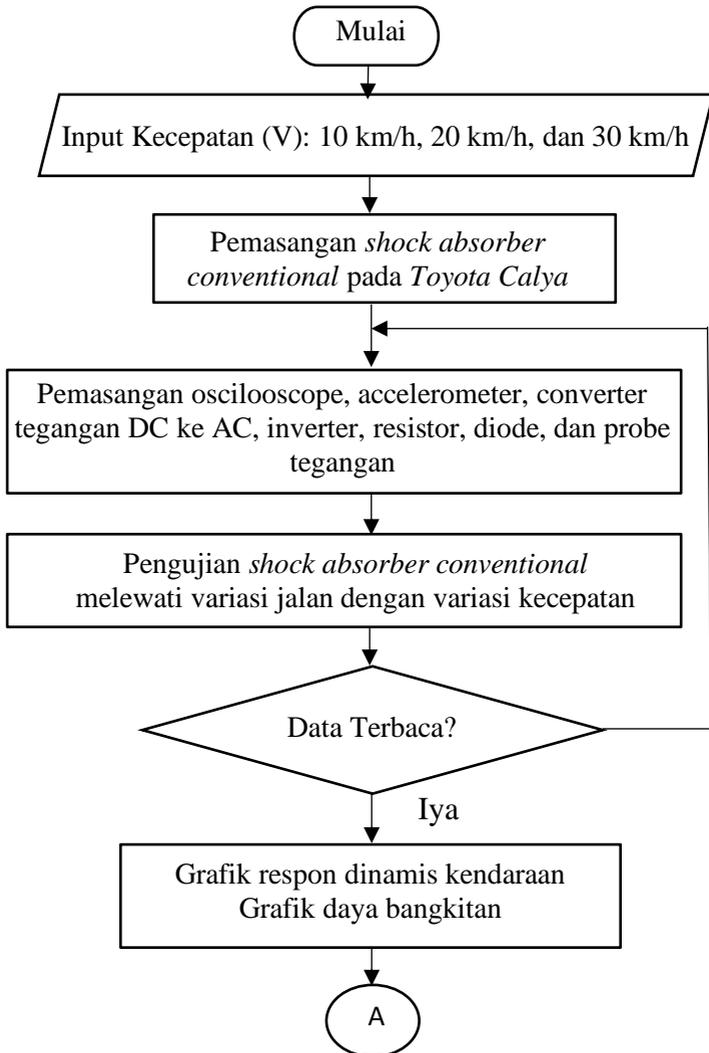
- | | |
|------------------------|------------------------------|
| 1. Shaft Connector | 9. Linear bearing |
| 2. Bushing shock atas | 10. Cover Plate atas |
| 3. Shaft | 11. Cover Plate middle |
| 4. Rubber Bushing | 12. Ball screw nut |
| 5. Nut M6 | 13. Flexible coupling |
| 6. Cover Plate bawah | 14. Ball screw nut connector |
| 7. Screw diameter 12mm | 15. Thrust bearing |
| 8. Generator AC 3 Fasa | |

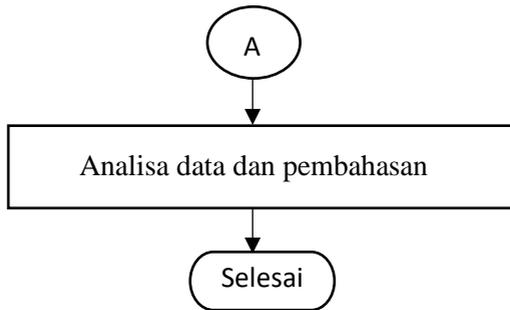


Gambar 3. 7 Gambar 3D BS-RESA

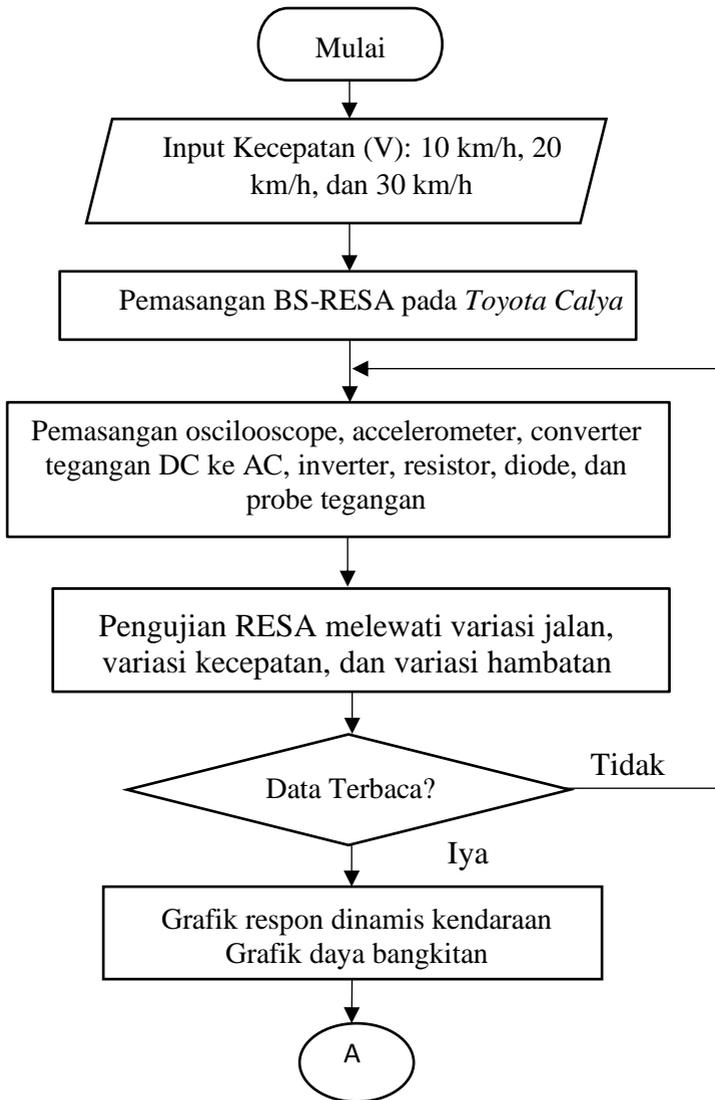
3.2.6 Tahap Eksperimen dan Pengambilan Data

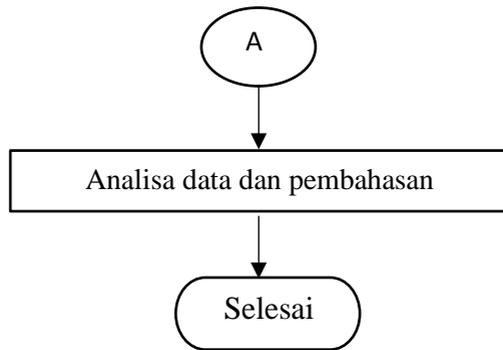
Eksperimen pada BS-RESA dilakukan menggunakan kendaraan penumpang yaitu *Toyota Calya*. BS-RESA dipasang pada sistem suspensi bagian roda belakang sisi kiri. Lokasi pengambilan data dilakukan didaerah perumahan yang sepi penduduk. Terdapat 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h. Masing-masing variasi kecepatan akan dilakukan 3 kali pengambilan data. Sebelum BS-RESA dipasangkan pada sistem suspensi, akan dilakukan percobaan menggunakan *shockabsorber conventional Toyota Calya*. Untuk proses pengambilan data dilakukan beberapa langkah yang ditunjukkan oleh diagram alir pada gambar berikut.





Gambar 3. 8 Diagram Alir Pengambilan Data *Shock Absorber Conventional*

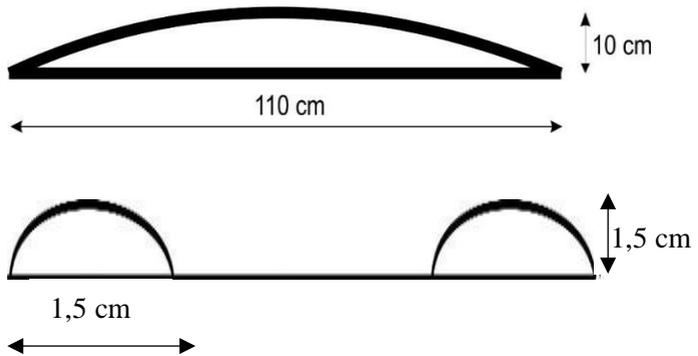




Gambar 3. 9 Diagram Alir Eksperimen BS-RESA



Gambar 3. 10 Lokasi Pemasangan BS-RESA pada Toyota Calya



Gambar 3. 11 Sketsa *Speed Bump* dan *Speed Trap*

3.2.7 Peralatan Pengambilan Data

Dalam pengambilan data RESA di kendaraan Toyota Calya, digunakan peralatan sebagai berikut:

1. *Oscilloscope*

Oscilloscope digunakan untuk menerima data dari accelerometer dan probe tegangan.



Gambar 3. 12 *Oscilloscope* Tektronix TBS1104

2. *Converter* tegangan DC ke AC

Converter digunakan untuk mengubah tegangan DC dari accu Toyota Calya menjadi tegangan AC untuk memberi daya oscilloscope.



Gambar 3. 13 *Converter* tegangan DC ke AC

3. *Inverter*

Inverter digunakan untuk memperkuat sinyal dari accelerometer menuju oscilloscope.



Gambar 3. 14 *Inverter*

4. *Accelerometer*

Accelerometer digunakan untuk mengukur data percepatan.



Gambar 3. 15 *Acclerometer*

5. *Probe Tegangan*

Probe Tegangan digunakan untuk mengukur tegangan yang dihasilkan generator BS-RESA.



Gambar 3. 16 *Probe Tegangan*

6. Resistor

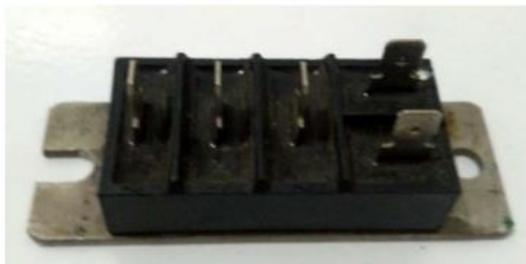
Resistor digunakan sebagai pembebanan elektrik. Pada penelitian ini digunakan tipe resistor wirewound yang dapat diatur nilai hambatannya. Nilai hambatannya adalah pada range 0-50 ohm dengan daya maksimal mencapai 60 Watt.



Gambar 3. 17 Resistor

7. Dioda 3 Fasa

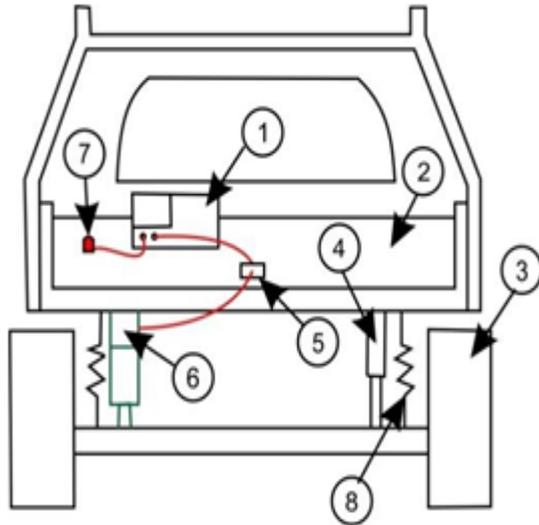
Dioda 3 fasa digunakan untuk mengubah output elektrik 3 fasa AC pada generator menjadi 1 fasa DC. Dengan output menjadi DC, maka arus listrik dapat langsung digunakan pada pembacaan oscilloscope.



Gambar 3. 18 Dioda 3 Fasa

3.2.8 Instalasi Peralatan Pengambilan Data

Dalam proses eksperimen dan pengambilan data dilakukan instalasi BS-RESA pada sistem suspensi Toyota Calya. Selanjutnya dilakukan instalasi peralatan pengambilan data untuk menunjang dalam proses pengujian.



Keterangan:

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| 1. <i>Oscilloscope</i> | 5. Dioda |
| 2. <i>Body</i> Kendaraan | 6. Generator RESA |
| 3. Roda | 7. <i>Acclerometer</i> |
| 4. <i>Shock Absorber</i> | 8. <i>Spring</i> |

Gambar 3. 19 Skema Instalasi Pengambilan Data

Pada saat pengambilan data, semua peralatan diletakkan pada kursi belakang *TOYOTA CALYA* untuk memudahkan proses. Urutan pemasangan peralatan adalah pertama konverter tegangan DC ke AC dihubungkan dengan sumber daya dari aki mobil melalui kabel. Setelah konverter terhubung, daya disambungkan ke oscilloscope. Kemudian channel 3 pada oscilloscope dihubungkan pada probe tegangan yang telah tersambung dengan kabel dari generator BSRESA. Pasangan kabel tidak boleh terbalik antara positif dengan negatif. Channel 2 dari oscilloscope disambungkan dengan inverter dan accelerometer. Sementara accelerometer dipasang pada bagian atas suspensi kiri belakang kendaraan.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Perancangan dan Pengembangan Prototip Ball Screw RESA

Pada pengembangan prototip *Ball Screw* RESA menggunakan mekanisme rotary RESA dimana nantinya akan mengubah gerakan naik turun suspensi menjadi gerak rotasional untuk selanjutnya dihubungkan dengan generator dan menghasilkan listrik. Dalam pelaksanaannya hal pertama yang musti dilakukan dalam perancangan dan pengembangan prototip BS-RESA adalah menentukan dimensi menggunakan jangka sorong, dan juga meteran. Hal yang perlu diperhatikan saat melakukan pengukuran adalah dengan menentukan alokasi ruangan yang tersedia pada Toyota Calya yang nantinya akan dipasasng *Ball Screw* RESA. Setelah menentukan dimensi maka selanjutnya mendisen alat yang akan dibuat menggunakan software AutoCAD terlebih dahulu dengan gambar 2D yang nantinya akan diberikan kepada bengkel permesinan untuk dikerjakan.

Dalam perancangannya sendiri membutuhkan beberapa bahan yang bisa didapatkan dipasaran melalui *offline* ataupun *online* store dimana selanjutnya akan diproses melalui permesinan. Dalam pembelian komponen perlu melakukan *survey* pada beberapa aplikasi *online* untuk memilih *part* yang sesuai seperti generator, *ball screw*, *linear bearing*, *thrust bearing*, *shaft*, *coupling* dan *shock absorber* bekas Toyota Calya yang nantinya akan diambil *mountingnya* saja.

Generator yang digunakan adalah Tamagawa BLDC Motor TBL-i II Series TS 4607N1033E200 seperti gambar 4.1.



Gambar 4. 1 Generator Tamagawa

Proses selanjutnya adalah *ball screw* dengan tipe THK BTK V seperti gambar 4.2 yang memiliki panjang semula 200 mm dipotong menjadi 170 mm dengan kedua ujung diameter diperkecil menjadi 8 mm sepanjang 10 mm dan juga sepanjang 30 mm. Setelah *screw* diolah, dilakukan pemasangan *nut*. Perlu diperhatikan pada saat melakukan pemasangan *nut* karena apabila selongsong pengaman *nut* terlepas, bola-bola atau gotri yang berada pada *nut* dapat rontok dan *nut* tidak dapat digunakan kembali. Pada bagian atas dan bawah *screw* dipasang *thrust bearing* yang berfungsi untuk meredam getaran pada saat *shaft* bergerak naik turun. Pada bagian atas *screw* langsung berhubungan dengan *cover plat* atas dan bagian bawah langsung berhubung dengan *flexible coupling*.



Gambar 4. 2 Ball Screw THK BTK V

Selain *screw*, *shaft* yang digunakan adalah *stainless steel* seperti gambar 4.3 dengan panjang total 180 mm dengan diameter 6mm yang nantinya akan berhubungan dengan *nut* juga perlu dilakukan pembentukan ulir sepanjang 20mm pada kedua ujungnya, ujung bawahnya dipasangkan pada *nut* yang terhubung langsung dengan *screw* dan pada sisi ujung lainnya dipasangkan dengan *plat shaft connector* bagian atas dengan ukuran 50x50 mm dengan tebal 8mm. Dalam pemasangannya membutuhkan mur berukuran M6. Pada prosesnya *shaft* bagian tengah akan bergerak naik turun melewati *cover plat* atas diameter 76,3mm yang sudah terpasang 2 *linear bearing* guna untuk memperlancar jalannya *shaft* dan juga agar *shaft* bergerak sesuai lintasan yang diinginkan. Pada bagian atas *plat shaft connector* dihubungkan dengan besi rigid berbentuk silinder dengan panjang 30mm dan diameter 20mm yang berguna sebagai penghubung antara *plat shaft connector* dan dudukan atau *bushing*.



Gambar 4. 3 Shaft Stainless Steel

Flexible coupling yang digunakan seperti pada gambar 4.4 adalah berbahan aluminium dengan panjang 30mm dengan diameter outer 25mm dan diameter *innernya* 8x10mm yang nantinya berguna untuk menghubungkan antara *screw* dan juga *shaft* generator. Pada ujung generator dihubungkan dengan *cover plat* bawah yang berbentuk lingkaran dengan diameter 76mm dengan cara pengelasan dan juga pemasangan mur dan baut. Setelah itu *cover plat* bawah dihubungkan dengan potongan *shock conventional* bagian bawah sepanjang 90mm yang selanjutnya terhubung dengan dudukan atau *boshing*.



Gambar 4. 4 Flexible Coupling

Setelah dilakukan fabrikasi seperti pada gambar 4.5 selanjutnya dilakukan percobaan terlebih dahulu dengan

manual dengan menggerakkan naik turun BS-RESA model *coupling*, sesudah dirasa bergerak cukup lancar maka selanjutnya melakukan percobaan dengan melihat tegangan yang dihasilkan oleh generator. Karena keluaran dari generator adalah arus AC 3 fasa, maka diperlukan dioda untuk mengubah ke arus DC. Pengujian manual dilakukan dengan menyambungkan kabel *output* dari dioda ke multimeter lalu dilihat daya bangkitannya. Pengujian manual dilakukan tanpa beban, jika BS-RESA model *coupling* mampu bergerak dengan lancar dan menghasilkan tegangan maka selanjutnya dilakukan pemasangan *cover* dengan akrilik agar terlihat komponen bagian dalam dan juga proses Bergeraknya *ball screw*.



Gambar 4. 5 BS-RESA Model *Coupling*

4.2 Perbandingan BS-RESA model *coupling* dengan RESA terdahulu

Dalam tahap pengembangan yang berkelanjutan mengenai prototip BS-RESA, maka BS-RESA model *coupling* dibandingkan dengan RESA terdahulu dari segi dimensi dan ukuran yang telah dibuat sebelumnya. Perbandingan ini bertujuan untuk melihat seberapa berubah alat yang terus dikembangkan yang nantinya dirasa cocok diaplikasikan pada kendaraan. BS-RESA pada penelitian ini memiliki massa sebesar 2.5 kg dan juga memiliki dimensi panjang terpasang 560 mm dan lebar 73mm seperti pada gambar 4.6.



Gambar 4. 6 Massa BS-RESA Model *Coupling*

Saat dibandingkan dengan BS-RESA *Spur Gear* milik Sakti Priyanto terlihat pada gambar 4.7 perbedaannya dari massa BS-RESA model *coupling* yang terlampau ringan dan juga memiliki dimensi yang lebih kecil namun lebih panjang dikarenakan BS-RESA model *coupling* diuji pada kendaraan Toyota Calya sedangkan milik Sakti Priyanto diuji pada kendaraan Pick-Up dimana memiliki panjang terpasang 460 mm. Massa dari BS-RESA *Spur Gear* sendiri sebesar 5.6 kg.



Gambar 4. 7 Massa BS-RESA Model *Spur Gear*

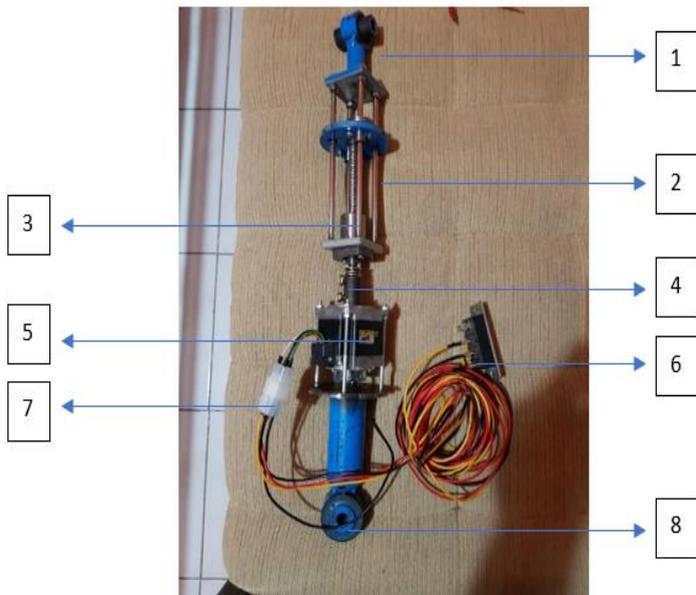
Selain itu perbandingan kedua dengan RESA model *rack pinion* seperti pada gambar 4.8, keduanya memiliki dimensi yang relative sama, hanya saja pada beberapa bagian BS-RESA model *coupling* memiliki ukuran yang lebih kecil. Hal tersebut dikarenakan penggunaan *ball screw* yang dapat memangkas ukuran RESA ini. Dari segi massa, RESA model *rack pinion* memiliki massa sebesar 5.6 kg, massa tersebut lebih berat dibandingkan BS-RESA model *coupling*.



Gambar 4. 8 Massa RESA Model *Rack Pinion*

4.3 Pengujian Sistem BS-RESA pada Kendaraan Toyota Calya

Sebelum pengambilan data, mobil di persiapkan terlebih dahulu agar data yang dihasilkan dapat menunjukkan nilai yang cukup akurat dan representatif dari simulasi yang dibuat. Hal tersebut seperti menambahkan tekanan ban sesuai standar jenis kendaraan, pengecekan speedometer, pengecekan sistem suspensi, dan pengecekan aki. Kemudian dilakukan pengecekan kembali terhadap BS-RESA model *coupling*. Selanjutnya BS-RESA model *coupling* dipasang pada kendaraan Toyota Calya. Berikut adalah gambar 4.9 merupakan komponen-komponen BS-RESA model *coupling* yang telah terpasang.



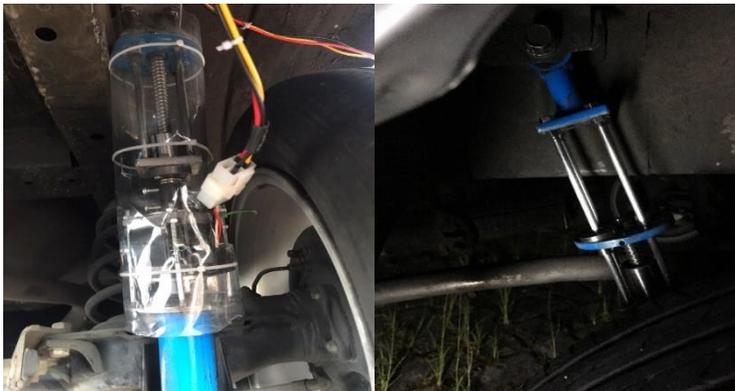
Gambar 4. 9 Komponen BS-RESA

Keterangan:

1. *Support atas*
2. Shaft
3. Ball screw nut
4. Coupling
5. Generator
6. Dioda 3 fasa
7. Kabel output
8. Support bawah

4.3.1 Pemasangan Sistem BS-RESA pada Kendaraan Toyota Calya

Pengujian sistem BS-RESA dilakukan pada kendaraan angkut berjenis Toyota Calya. Toyota Calya dipilih karena merupakan salah satu jenis kendaraan angkut yang paling banyak digunakan oleh masyarakat Indonesiaselain itu juga terbilang kendaraan dengan harga yang terjangkau. Selain itu, memilih Toyota Calya karena saat ini ITS kedatangan mobil ghibah dari Toyota yang nantinya dapat digunakan sebagai penelitian bagi mahasiswa. Pada pengaplikasiannya BS-RESA terpasang dibagian bawah kanan dari Toyota Calya, ruang yang dimiliki cukup luas guna pemasangan BS-RESA namun juga harus memperhatikan *chasis* yang berada disebelah kiri agar BS-RESA mampu terpasang sesuai yang diharapkan. Bagian bawah dan proses pemasangan BS-RESA model *coupling* dapat dilihat pada Gambar 4.10 dengan panjang terpasang sebesar 460 mm, untuk panjang maksimum dan minimumnya sebesar 520 mm dan 420 mm.



Gambar 4. 10 Pemasangan BS-RESA

Pemasangan BS-RESA model *coupling* memiliki sudut kemiringan sebesar 30° dikarenakan peletakan dudukan atas lebih menjorok ke belakang daripada dudukan bagian bawah. Pemasangan dimulai dengan melepas *Conventional Shock Absorber* pada sebelah kanan belakang kendaraan. Dalam pemilihan sisi pemasangan sebenarnya sama saja meskipun disebalah kanan ataupun kiri namun kami memilih sebelah kanan karena *fitting* dari awal disebalah kanan bawah kendaraan. Setelah *shock absorber* dilepas, sistem BS-RESA *model coupling* dipasang menggantikan tempat *shock absorber* sebelumnya.

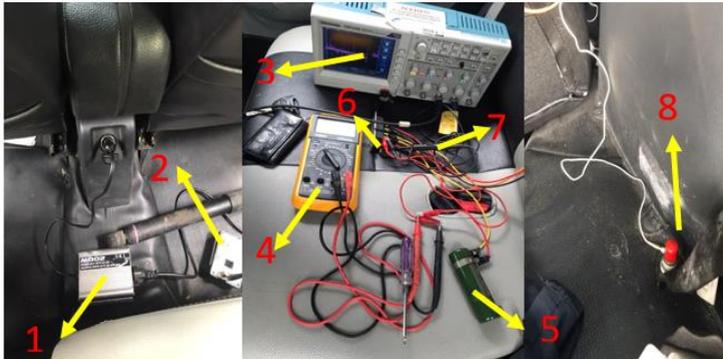
4.3.2 Instalasi Peralatan Pengambilan Data

Setelah BS-RESA terpasang, peralatan yang digunakan dalam proses pengambilan data juga dipasang dan diatur baik posisi maupun pengaturan rangkaian. Alat-alat yang digunakan untuk mengambil data terdiri dari *Oscilloscope* Tektronix TBS1104, *Accelerometer*, *Inverter*, *Converter* Tegangan DC ke AC, *resistor*, dan *Probe* Tegangan. Dalam penelitian kali ini menggunakan resistor *wirewound* yang nantinya diatur dengan hambatan sebesar 15, 20, dan 25 Ohm seperti pada gambar 4.11 yang berguna untuk mendapatkan daya bangkitan.



Gambar 4. 11 Hambatan yang Digunakan

Saat pengambilan data, semua peralatan tersebut diletakkan di kursi seperti pada gambar 4.12 penumpang baris kedua untuk memudahkan proses pengambilan data. Urutan pemasangan peralatan yang pertama adalah *converter* tegangan DC ke AC dihubungkan dengan sumber daya dari aki mobil dengan *port* yang tersedia pada *dashboard* mobil. Setelah *converter* terhubung, daya disambungkan ke *oscilloscope*. Selanjutnya *channel 3* pada *oscilloscope* dihubungkan pada inverter dan accelerometer dimana accelerometer terpasang pada bagian atas suspense kanan mobil, disini inverter berguna untuk penguat sinyal yang diterima dari accelerometer dan ditujukan ke *oscilloscope*. Pada cahnnel 4 dari *oscilloscope* terhubung antara probe tegangan, hambatan dan juga kabel dari generator yang telah tersambung dengan diode AC 3 fasa.



Gambar 4. 12 Peralatan Pengambilan Data

Keterangan:

1. Konverter tegangan DC ke AC
2. Inverter
3. Oscilloscope
4. Multimeter
5. Resistor
6. Dioda 3 fasa
7. Probe tegangan
8. Accelerometer

4.3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan beberapa variasi jalan, kecepatan, dan juga hambatan. Pada seluruh penelitian ini pengambilan data dilakukan di wilayah Kota Malang dengan pemilihan lokasi yang dianggap sepi dan tidak mengganggu pengguna jalan lainnya. Variasi jalan yang digunakan adalah jalan aspal, paving, *speedbump*, dan *speedtrap* seperti pada gambar 4.13. Untuk variasi kecepatan

yang digunakan adalah 5 kmh, 10 kmh, dan 15 kmh pada saat melewati *speedbump* dan *speedtrap*. Selain itu juga dilakukan pengujian dengan variasi kecepatan 10 kmh, 20 kmh, dan 30 kmh ketika melewati jalanan beraspal dan paving.



Gambar 4. 13 Medan Jalan yang Dilalui (a) Jalan Aspal, (b) Jalan Paving dan *Speedbump*, dan (c) *Speedtrap*.

Dalam pengambilan data dilakukan 3 orang yang memiliki peran berbeda, dimana ada yang bertindak sebagai supir, sebagai operator *oscilloscope* dan yang terakhir bertindak sebagai pencatat waktu sekaligus dokumentasi percobaan. Pengujian dilakukan sebanyak 2 kali dengan waktu yang berbeda untuk menghindari terjadinya *error* pada saat pengambilan data yang terbaca oleh *oscilloscope*. Selain itu juga dilakukan pengujian terhadap *shock* konvensional untuk mendapatkan percepatan *vertical*, sedangkan pengujian pada BS-RESA model *coupling* didapatkan percepatan *vertical* sekaligus tegangan bangkitan yang dihasilkan.

4.4 Analisa Hasil Pengambilan Data

Setelah dilakukan pengambilan data, maka data tersebut diolah dan dilakukan analisis. Pengolahan data dilakukan dengan *software* Microsoft Excel dan juga MATLAB. Data yang didapatkan dari *oscilloscope* tidak dapat langsung digunakan sebagai hasil akhir karena terlalu banyak *noise* yang muncul pada saat pengujian. *Noise* yang muncul tersebut dapat diminimalkan dengan menggunakan program *filtering* dan *smoothing* yang tersedia dalam *software* MATLAB. Selanjutnya bisa didapatkan grafik data dari tegangan bangkitan, daya bangkitan dan juga respon percepatan vertical.

4.4.1 Analisa Tegangan Bagkitan dan Daya yang Dihasilkan BS-RESA

Sistem BS-RESA model *coupling* yang terpasang pada kendaraan Toyota Calya dapat menghasilkan energi dari pemanfaatan gerakan translasi menjadi gerakan rotasi. *Shaft* yang bekerja naik turun menggerakkan *nut* dan juga memutar *ball screw* yang selanjutnya terhubung oleh generator dengan adanya *coupling*, sehingga putaran *ball screw* sama dengan putaran *shaft* pada generator dan menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator kemudian dibaca oleh *oscilloscope*, selanjutnya dilakukan *filtering* dan *smoothing* untuk menghilangkan *noise*. Untuk mendapatkan daya, digunakan rumus:

$$P = \frac{V^2}{R}$$

Keterangan:

P : daya (W)

V : tegangan (V)

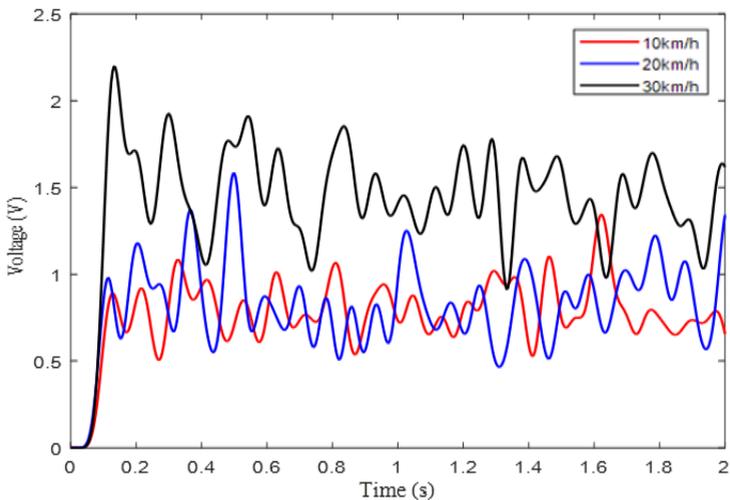
R : hambatan (Ω)

Variasi hambatan yang digunakan sebesar 15, 20, dan 25 Ohm disetiap pengambilan data.

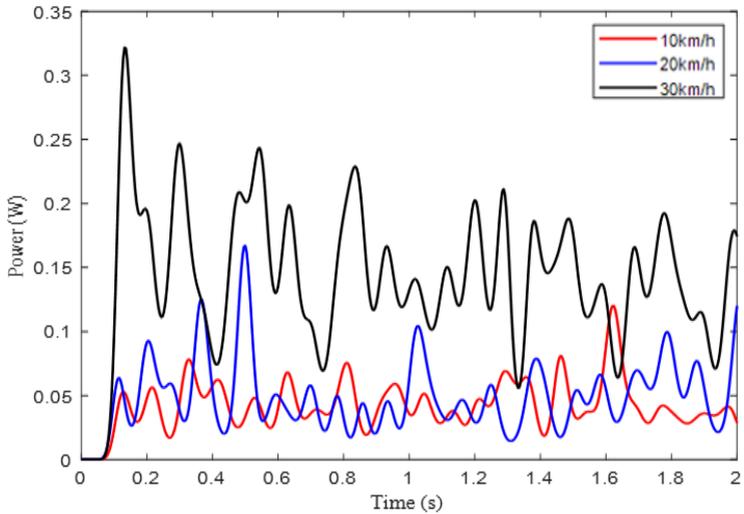
4.4.2 Tegangan dan Daya Bangkitan BS-RESA Melewati Jalan Aspal

Berikut adalah tegangan bangkitan dan daya bangkitan yang dihasilkan oleh generator dari jalan aspal dengan beberapa variasi hambatan dan variasi kecepatan terlihat dibawah ini.

- Pada hambatan 15 ohm



(a)

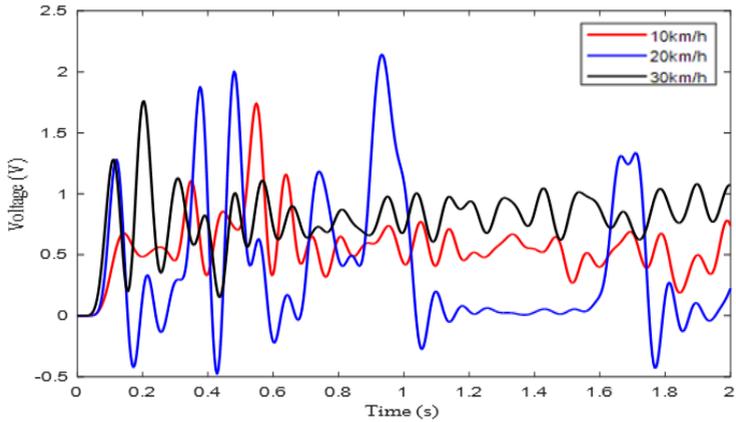


(b)

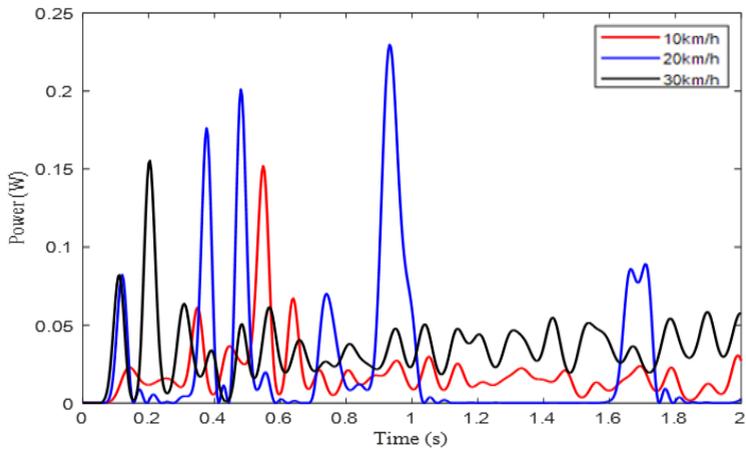
Gambar 4.14 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Jalan Aspal Dengan Hambatan 15 ohm

Pada gambar 4.14 grafik (a) dan grafik (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 1.384 V dengan daya maksimum sebesar 0.127 W. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/h sebesar 1.656 V dengan daya maksimum sebesar 0.182 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 30 km/h adalah sebesar 2.185 V dengan daya maksimum sebesar 0.318 W.

- Pada hambatan 20 ohm



(a)

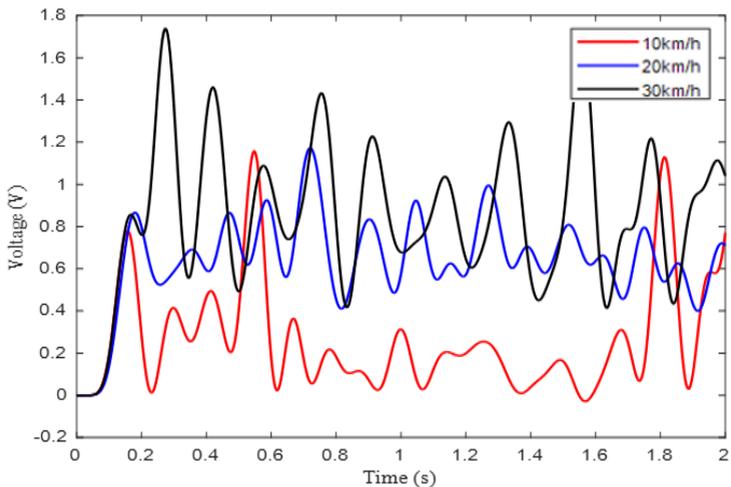


(b)

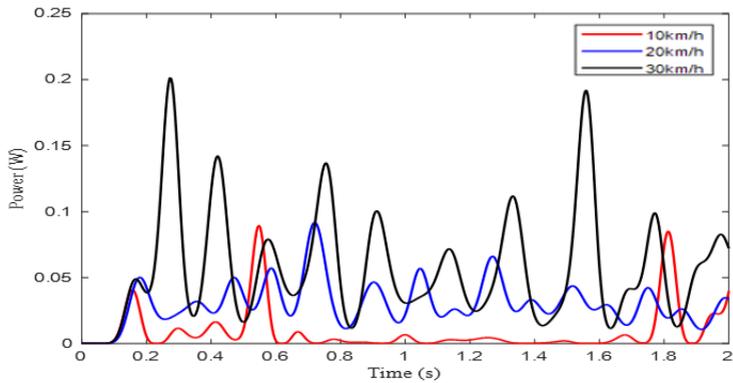
Gambar 4.15 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Jalan Aspal Dengan Hambatan 20 ohm

Pada gambar 4.15 grafik (a) dan grafik (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 1.645 V dengan daya maksimum sebesar 0.148 W. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/h sebesar 2.27 V dengan daya maksimum sebesar 0.239 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 30 km/h adalah sebesar 1.785 V dengan daya maksimum sebesar 0.164 W.

- Pada hambatan 25 ohm



(a)



(b)

Gambar 4.16 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Jalan Aspal Dengan Hambatan 25 ohm

Pada gambar 4.16 grafik (a) dan grafik (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 1.158 V dengan daya maksimum sebesar 0.089 W. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/h sebesar 1.169 V dengan daya maksimum sebesar 0.091 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 30 km/h adalah sebesar 1.719 V dengan daya maksimum sebesar 0.196 W.

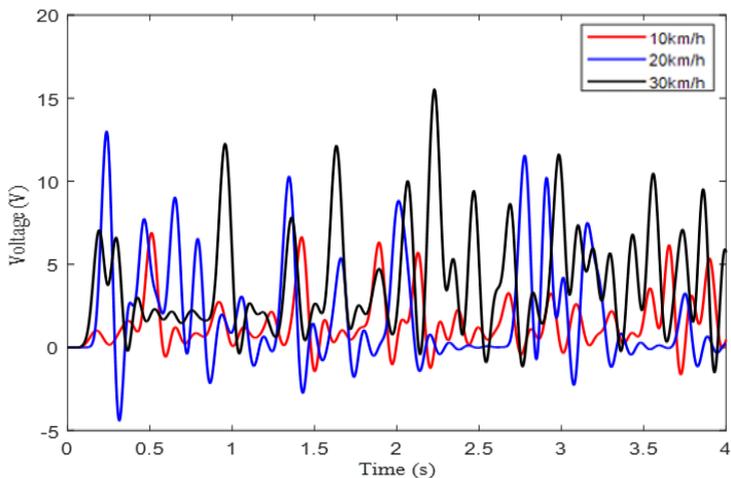
Dari gambar grafik tersebut, dapat dilihat bahwa tegangan dan daya yang dihasilkan tidak berpola. Namun nilainya sangat kecil, hal tersebut dikarenakan kontur jalan aspal yang cukup halus sehingga sedikit sekali getaran yang terjadi pada kendaraan. Dari grafik-grafik tersebut, dapat disimpulkan karakteristik energi bangkitannya kecil. Dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan, maka tegangan dan

daya bangkitan yang dihasilkan semakin tinggi. Hal tersebut diakibatkan karena naiknya frekuensi putaran generator pada saat kendaraan melaju lebih cepat, walaupun perbedaan tegangan maupun energinya tidak terlalu signifikan. Terdapat pula lonjakan tegangan maupun daya pada beberapa titik, hal ini disebabkan adanya lubang pada jalan aspal.

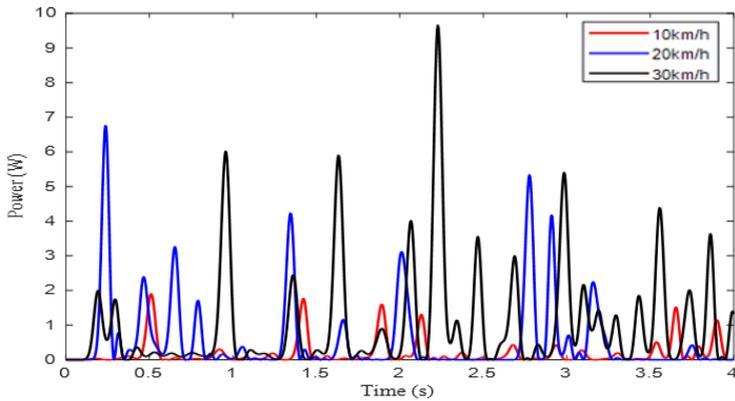
4.4.3 Tegangan dan Daya Bangkitan BS-RESA Melewati Jalan Paving

Berikut adalah tegangan bangkitan dan daya bangkitan yang dihasilkan oleh generator dari jalan paving dengan beberapa variasi hambatan dan variasi kecepatan terlihat dibawah ini.

- Pada hambatan 15 ohm



(a)

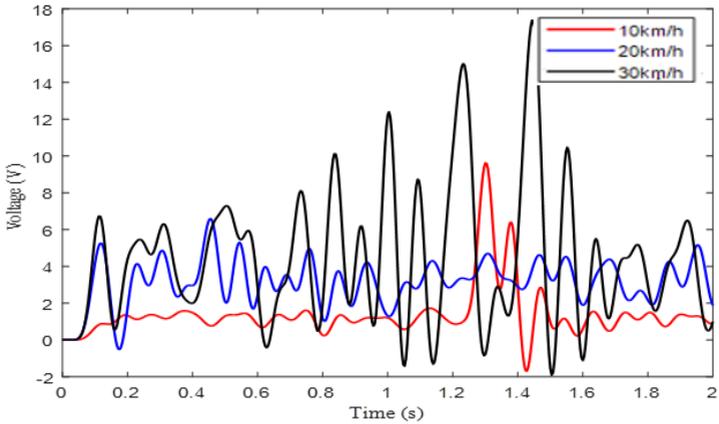


(b)

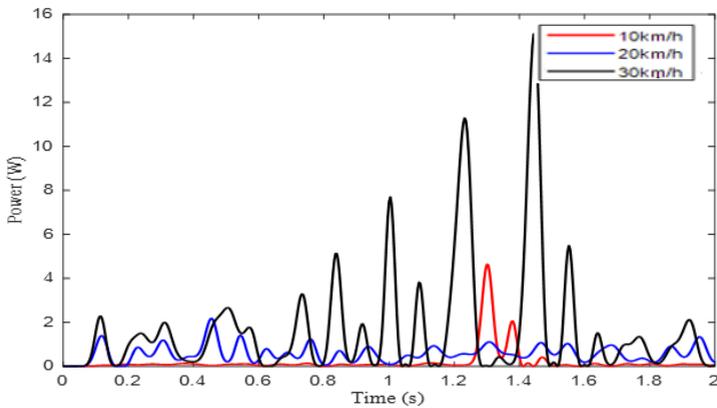
Gambar 4.17 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Jalan Paving Dengan Hambatan 15 ohm

Pada gambar 4.17 grafik (a) dan grafik (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 7.621 V dengan daya maksimum sebesar 1.897 W. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/h sebesar 13.411 V dengan daya maksimum sebesar 6.924 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 30 km/h adalah sebesar 15.237 V dengan daya maksimum sebesar 9.861 W.

- Pada hambatan 20 ohm



(a)

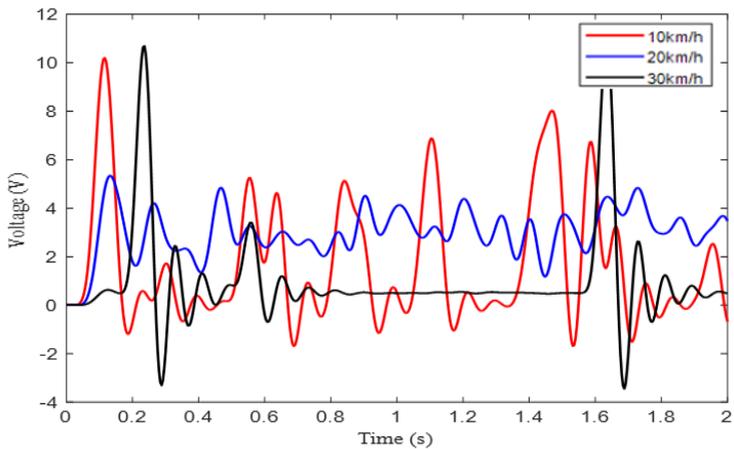


(b)

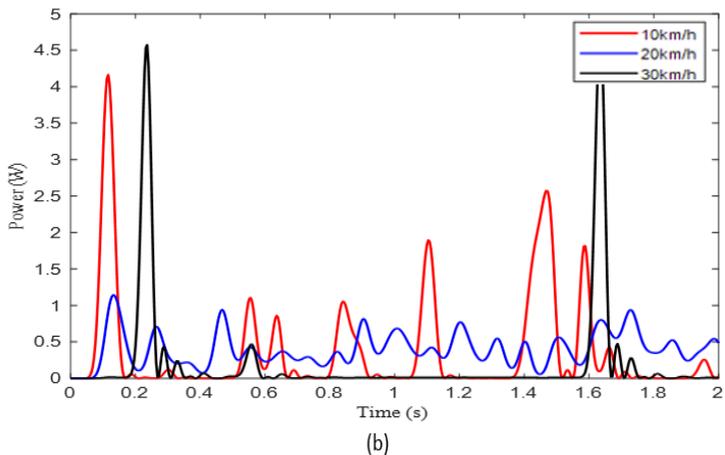
Gambar 4.18 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Jalan Paving Dengan Hambatan 20 ohm

Pada gambar 4.18 grafik (a) dan grafik (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 8.78 V dengan daya maksimum sebesar 4.911 W. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/h sebesar 6.381 V dengan daya maksimum sebesar 2.258 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 30 km/h adalah sebesar 17.692 V dengan daya maksimum sebesar 15.464 W.

- Pada hambatan 25 ohm



(a)



Gambar 4.19 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Jalan Paving Dengan Hambatan 25 ohm

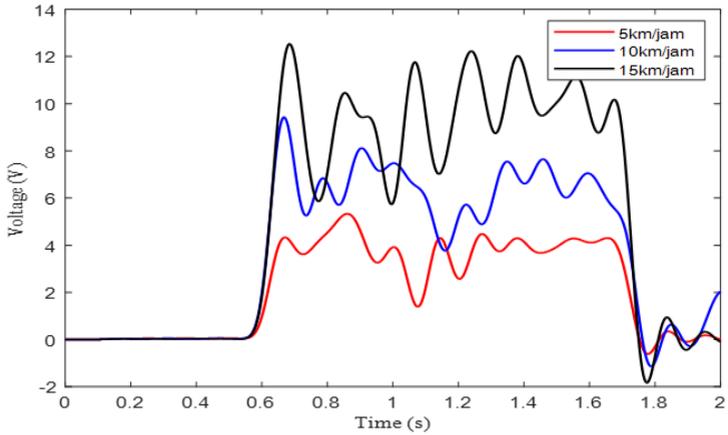
Pada gambar 4.19 grafik (a) dan grafik (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 10.362 V dengan daya maksimum sebesar 4.274 W. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/h sebesar 5.396 V dengan daya maksimum sebesar 1.332 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 30 km/h adalah sebesar 11.241 V dengan daya maksimum sebesar 4.687 W. Pada grafik (a) terlihat pada kecepatan 30 km/h pada detik 0.8 – 1.6 terdapat garis yang konstan hal itu bisa jadi disebabkan antara kesalahan saat pembacaan oscilloscope atau probe tegangan yang kurang menempel pada diode 3 fasa.

Dari gambar grafik tersebut, dapat dilihat bahwa grafik-grafik tersebut tidak berpola, sama halnya saat melalui jalan aspal. Terlihat perbedaan pola grafik tegangan maupun daya bangkitan, hal tersebut dikarenakan kontur jalan paving yang tidak menentu seperti adanya lubang, pemasangan paving yang tidak rata, ataupun kontur tanah yang menyebabkan pemasangan paving tidak rata. Sehingga dapat disimpulkan pada jalan paving, energi yang dihasilkan sangat bergantung pada kondisi jalan tersebut. Dari gambar diatas bahwa semakin tinggi kecepatan kendaraan maka tegangan dan daya bangkitannya juga semakin besar. Hal tersebut sama halnya pada saat melewati jalan aspal, semakin tinggi kecepatan maka frekuensi semakin tinggi. Namun ada juga pada beberapa titik yang tegangan atau daya nya lebih kecil padahal kecepatannya lebih besar, hal tersebut dikarenakan kontur jalan paving yang tidak menentu.

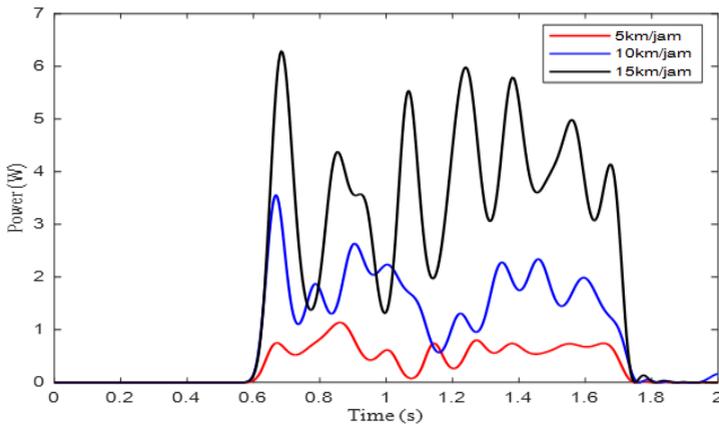
4.4.4 Tegangan dan Daya Bangkitan BS-RESA Melewati Speed Trap

Berikut adalah tegangan bangkitan dan daya bangkitan yang dihasilkan oleh generator dari jalan speed trap dengan beberapa variasi hambatan dan variasi kecepatan terlihat dibawah ini.

- Pada hambatan 15 ohm



(a)

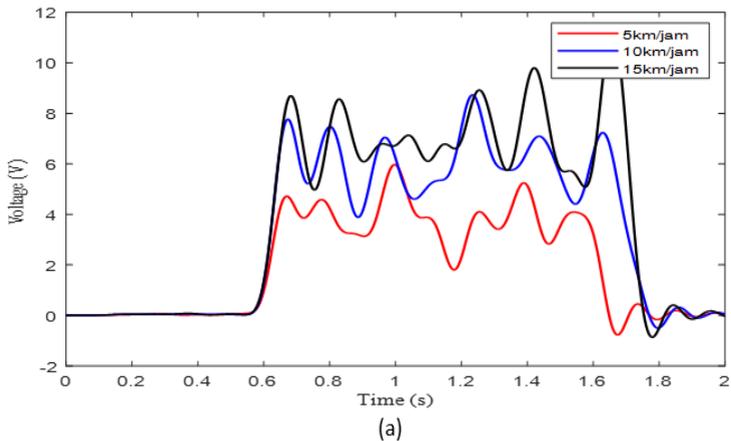


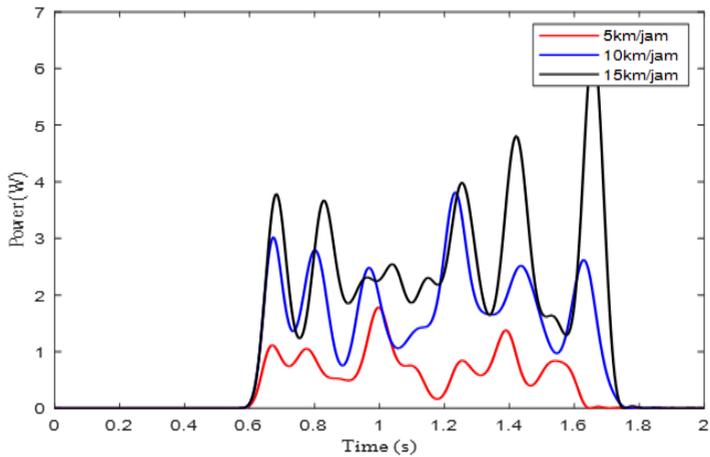
(b)

Gambar 4.20 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Speed Trap Dengan Hambatan 15 ohm

Pada gambar 4.20 grafik (a) dan grafik (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 5 km/h adalah sebesar 5.323 V dengan daya maksimum sebesar 1.133 W. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h sebesar 9.395 V dengan daya maksimum sebesar 3.530 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/h adalah sebesar 12.51 V dengan daya maksimum sebesar 6.260 W.

- Pada hambatan 20 ohm



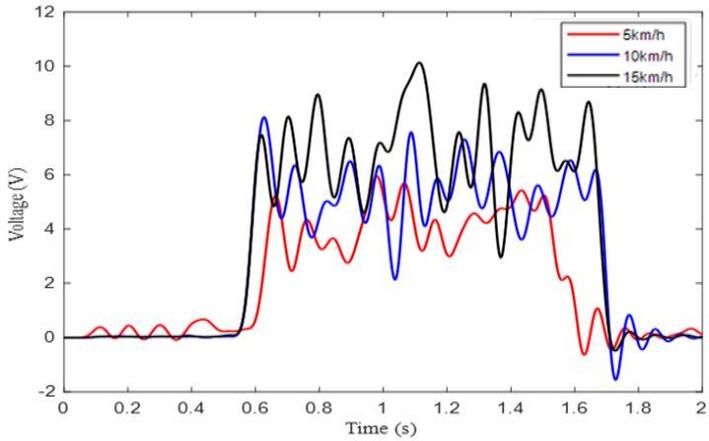


(b)

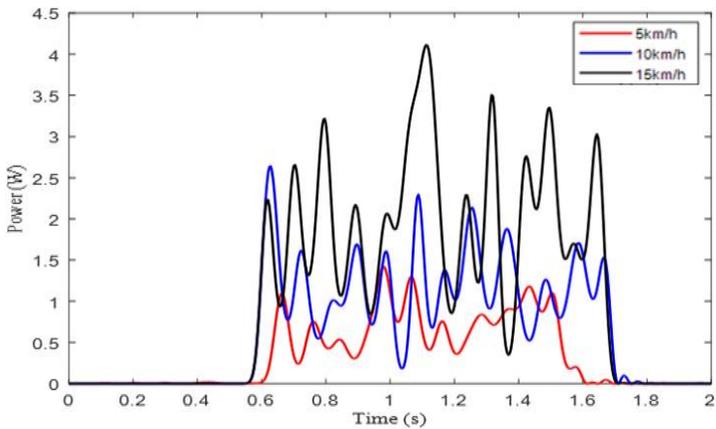
Gambar 4.21 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Speed Trap Dengan Hambatan 20 ohm

Pada gambar 4.21 grafik (a) dan grafik (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 5 km/h adalah sebesar 5.942 V dengan daya maksimum sebesar 1.765 W. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h sebesar 8.890 V dengan daya maksimum sebesar 3.951 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/h adalah sebesar 11.24 V dengan daya maksimum sebesar 6.316 W.

- Pada hambatan 25 ohm



(a)



(b)

Gambar 4.22 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati Speed Trap Dengan Hambatan 25 ohm

Pada gambar 4.22 grafik (a) dan grafik (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 5 km/h adalah sebesar 5.528 V dengan daya maksimum sebesar 1.449 W. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h sebesar 7.817 V dengan daya maksimum sebesar 2.813 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/h adalah sebesar 9.797 V dengan daya maksimum sebesar 4.279 W.

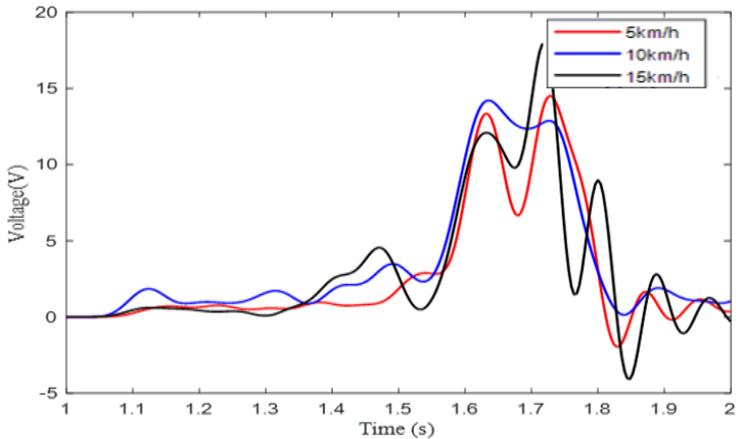
Dari gambar grafik diatas, dapat dilihat pada saat melewati speed trap grafik yang didapat relatif menghasilkan lonjakan yang sama dan berulang, atau dapat dikatakan menghasilkan tegangan dan daya bangkitan yang relatif konstan pada waktu yang sedikit lama, berbeda dengan saat melewati jalan aspal dan paving yang terlihat lonjakan tegangan yang tak berpola. Hal tersebut dikarenakan pada 1 *speedtrap* terdapat 4 buah *bump*, sehingga menghasilkan tegangan dan daya yang cukup konstan dalam waktu tertentu. Sedangkan pada titik puncaknya sangat terlihat karena tingginya berkisar 1.5 cm. Sebelum melewati *speedtrap*, dapat dilihat pada grafik hampir tidak ada tegangan maupun daya bangkitannya. Hal tersebut dikarenakan sebelum melewati *speedtrap*, kendaraan melewati jalan aspal yang relatif halus sehingga daya bangkitan yang dihasilkan kecil. Sehingga dapat disimpulkan pada saat melewati *speedtrap*, BS-RESA dapat menghasilkan energi cukup konstan dengan range waktu yang cukup lama. Gambar diatas merupakan gabungan tegangan pada seluruh variasi kecepatan dan daya bangkitan pada seluruh variasi kecepatan. Dapat dilihat semakin tinggi kecepatan maka tegangan dan daya yang dibangkitkan juga semakin besar. Hal ini sama halnya pada saat melewati jalan

aspal dan paving, semakin besar kecepatan maka frekuensi semakin tinggi, yang menyebabkan putaran generator meningkat, kemudian tegangan dan daya bangkitan juga semakin meningkat.

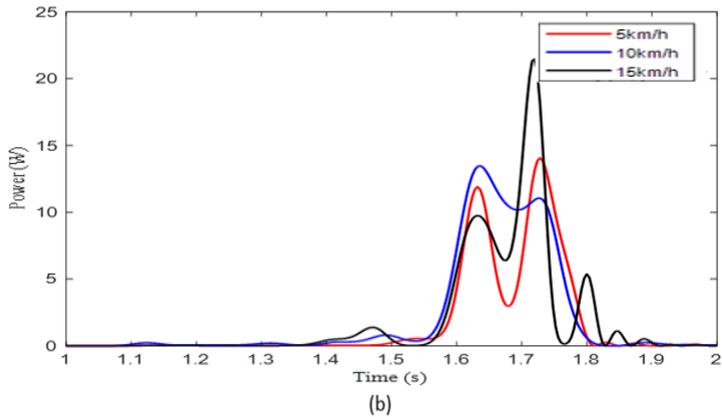
4.4.5 Tegangan dan Daya Bangkitan BS-RESA Melewati *Speedbump*

Berikut adalah tegangan bangkitan dan daya bangkitan yang dihasilkan oleh generator dari *speedbump* dengan beberapa variasi hambatan dan variasi kecepatan terlihat dibawah ini.

- Pada hambatan 15 ohm



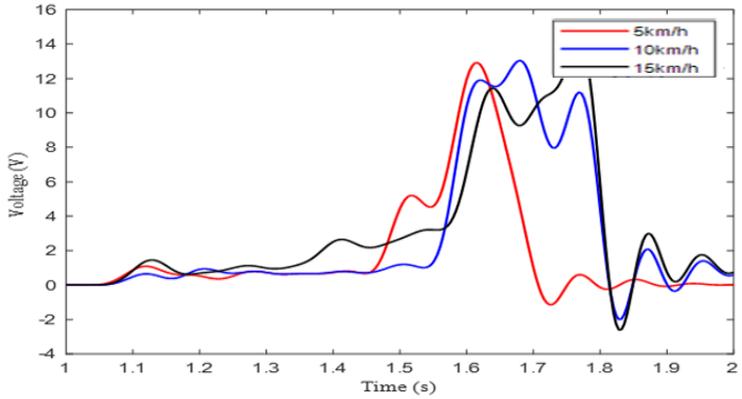
(a)



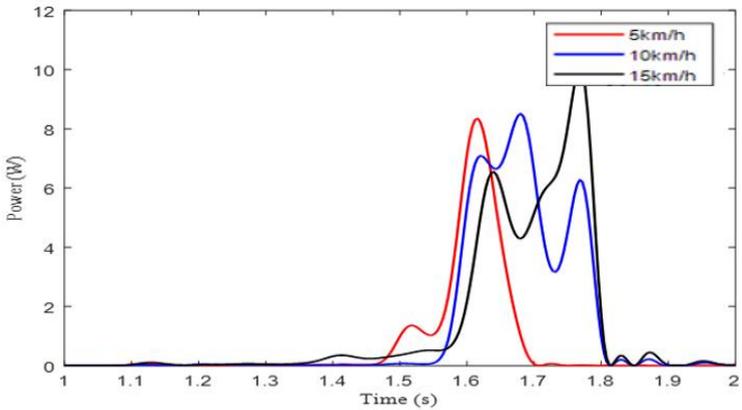
Gambar 4.23 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati *Speedbump* Dengan Hambatan 15 ohm

Pada gambar 4.23 grafik (a) dan grafik (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 5 km/h adalah sebesar 14.41 V dengan daya maksimum sebesar 13.843 W. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h sebesar 14.19 V dengan daya maksimum sebesar 13.423 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/h adalah sebesar 18.06 V dengan daya maksimum sebesar 21.744 W.

- Pada hambatan 20 ohm



(a)

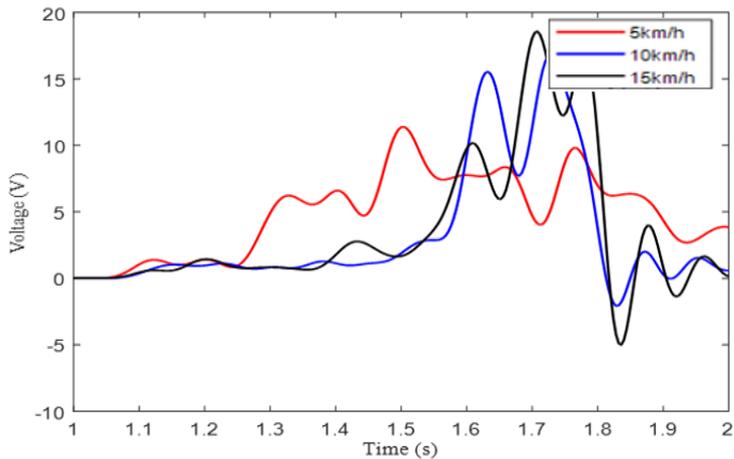


(b)

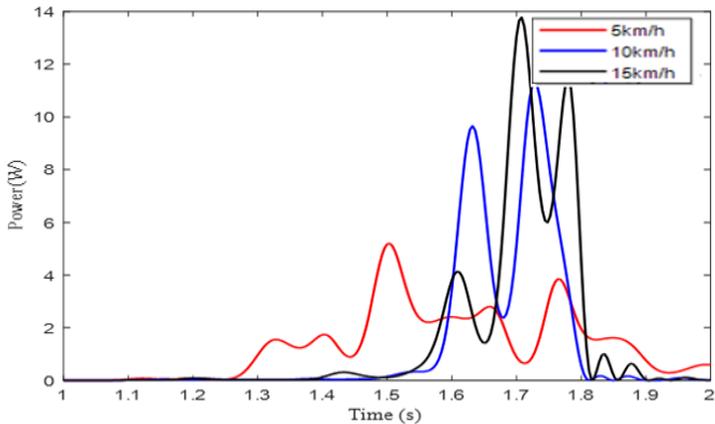
Gambar 4.24 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati *Speedbump* Dengan Hambatan 20 ohm

Pada gambar 4.24 grafik (a) dan grafik (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 5 km/h adalah sebesar 13.02 V dengan daya maksimum sebesar 8.476 W. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h sebesar 12.88 V dengan daya maksimum sebesar 8.294 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/h adalah sebesar 14.19 V dengan daya maksimum sebesar 10.067 W.

- Pada hambatan 25 ohm



(a)



(b)

Gambar 4.25 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati *Speedbump* Dengan Hambatan 25 ohm

Pada gambar 4.25 grafik (a) dan grafik (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 5 km/h adalah sebesar 11.37 V dengan daya maksimum sebesar 5.171 W. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h sebesar 16.84 V dengan daya maksimum sebesar 11.343 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/h adalah sebesar 18.48 V dengan daya maksimum sebesar 13.66 W.

Pada saat melewati *speedbump*, grafik cenderung memiliki 2 lonjakan besar, hal tersebut diakibatkan karena pada lonjakan pertama saat roda depan melewati *speedbump* dan lonjakan kedua saat roda belakang melewati *speedbump* selain itu juga ketinggian *speedbump* yang mencapai 10 cm,

sehingga membuat *ball screw* pada BS-RESA bertranslasi cukup besar dan dapat menghasilkan daya cukup besar. Kemudian setelah melewati *speedbump*, tegangan dan daya turun drastis. Dapat disimpulkan bahwa saat melewati *speedbump*, BS-RESA dapat menghasilkan energi sangat besar daripada jalan aspal, jalan paving dan *speedtrap*. Tegangan bangkitan terbesar ada pada *speedbump* dengan kecepatan 15 km/h dengan hambatan 25 ohm, sedangkan untuk daya bangkitan terbesar ada pada *speedbump* dengan kecepatan 15 km/h dengan hambatan 15 ohm.

Sebelum melewati *speedbump*, dapat dilihat pada grafik hampir tidak ada tegangan maupun daya bangkitannya. Hal tersebut dikarenakan sebelum melewati *speedbump*, kendaraan melewati jalan paving yang relatif rata sehingga daya bangkitan yang dihasilkan kecil. Sehingga dapat disimpulkan pada saat melewati *speedbump* memiliki tegangan dan daya bangkitan yang relative besar namun masih lebih rendah daripada besar *speedtrap*. Gambar grafik diatas merupakan gabungan tegangan pada seluruh variasi kecepatan dan daya bangkitan pada seluruh variasi kecepatan. Dapat dilihat semakin tinggi kecepatan maka tegangan dan daya yang dibangkitkan juga semakin besar. Hal ini sama halnya pada saat melewati *speedbump*, semakin besar kecepatan maka frekuensi semakin tinggi, yang menyebabkan putaran generator meningkat, kemudian tegangan dan daya bangkitan juga semakin meningkat.

4.4.6 *Root mean square* Tegangan dan Daya Bangkitan

Dari beberapa pengambilan data tersebut, selanjutnya mencari tegangan dan daya bangkitan rata-rata dengan metode *Root mean square* (RMS) menggunakan MS Excel. Data-data tersebut dapat dilihat pada Tabel seperti berikut.

- Pada hambatan 15 ohm

Tabel 4.1 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* dan *Speedtrap* pada hambatan 15 ohm

Variasi Kecepatan	Variasi Jalan			
	<i>Speedbump</i>		<i>Speedtrap</i>	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
5 km/h	3.618	0.683	3.926	0.733
10 km/h	4.714	0.889	5.449	1.188
15 km/h	6.571	1.727	8.218	2.701

Tabel 4.2 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Jalan Aspal dan Jalan Paving pada hambatan 15 ohm

Variasi Kecepatan	Variasi Jalan			
	Jalan Aspal		Jalan Paving	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
10 km/h	0.918	0.033	3.899	0.608
20 km/h	1.077	0.046	6.414	1.645
30 km/h	1.722	0.118	7.654	2.532

- Pada hambatan 20 ohm

Tabel 4. 3 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* dan *Speedtrap* pada hambatan 20 ohm

Variasi Kecepatan	Variasi Jalan			
	<i>Speedbump</i>		<i>Speedtrap</i>	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
5 km/h	3.012	0.453	3.429	0.588
10 km/h	4.334	0.939	5.301	1.405
15 km/h	4.620	1.067	6.381	2.035

Tabel 4. 4 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Jalan Aspal dan Jalan Paving pada hambatan 20 ohm

Variasi Kecepatan	Variasi Jalan			
	Jalan Aspal		Jalan Paving	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
10 km/h	0.797	0.031	2.853	0.407
20 km/h	0.991	0.049	4.951	1.225
30 km/h	1.009	0.050	6.715	1.968

- Pada hambatan 25 ohm

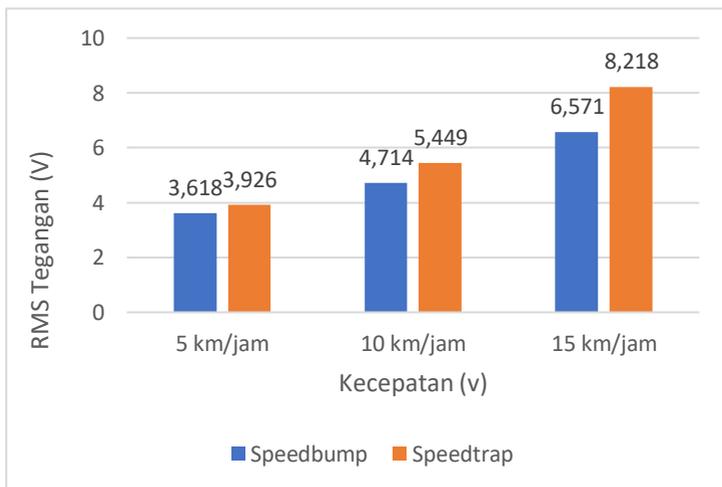
Tabel 4. 5 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Speedbump dan Speedtrap pada hambatan 25 ohm

Variasi Kecepatan	Variasi Jalan			
	<i>Speedbump</i>		<i>Speedtrap</i>	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
5 km/h	4.154	1.062	4.371	1.236
10 km/h	4.869	1.397	4.986	1.445
15 km/h	5.935	2.349	6.349	2.687

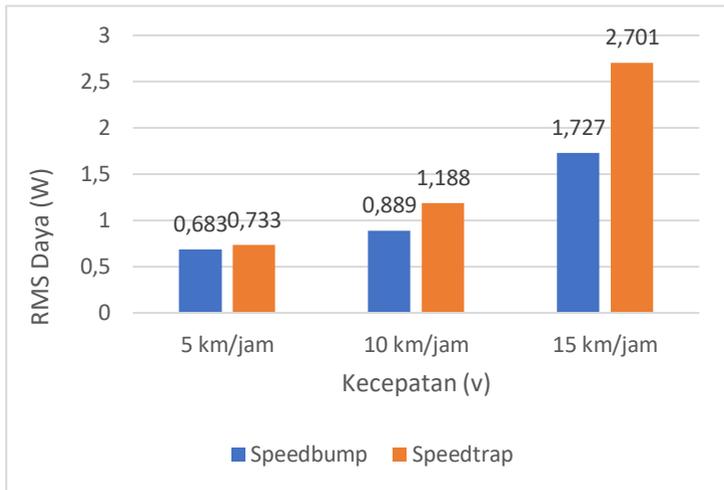
Tabel 4. 6 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Jalan Aspal dan Jalan Paving pada hambatan 25 ohm

Variasi Kecepatan	Variasi Jalan			
	Jalan Aspal		Jalan Paving	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
10 km/h	0.759	0.038	3.503	0.830
20 km/h	0.861	0.049	3.986	1.059
30 km/h	1.209	0.097	5.342	1.902

- Pada hambatan 15 ohm



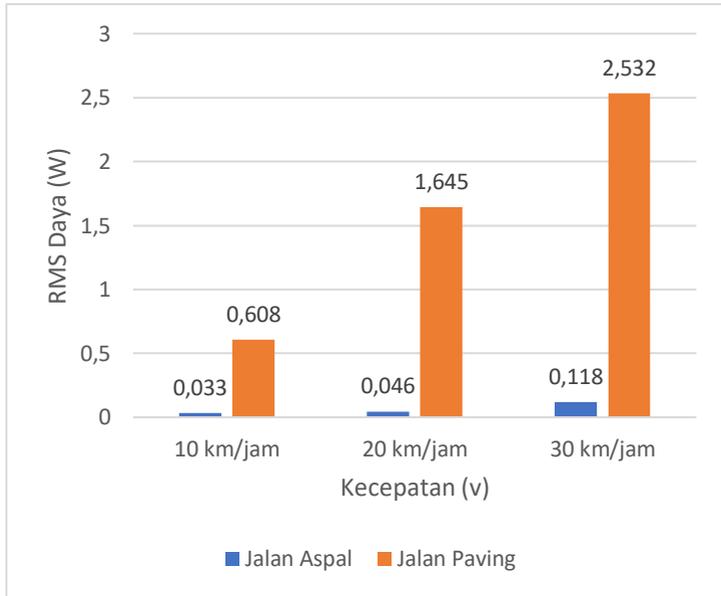
(a)



(b)



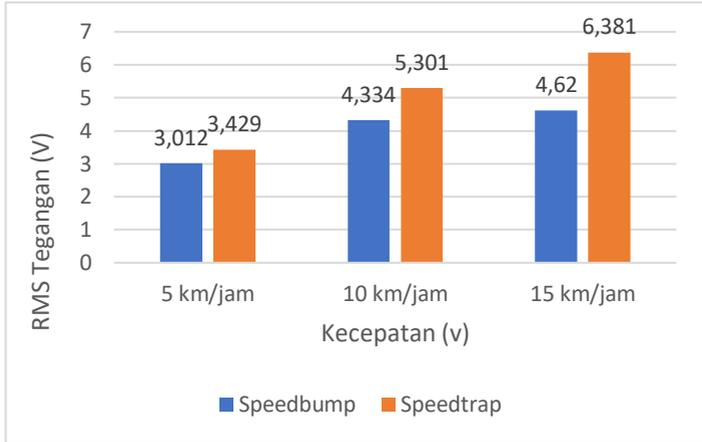
(c)



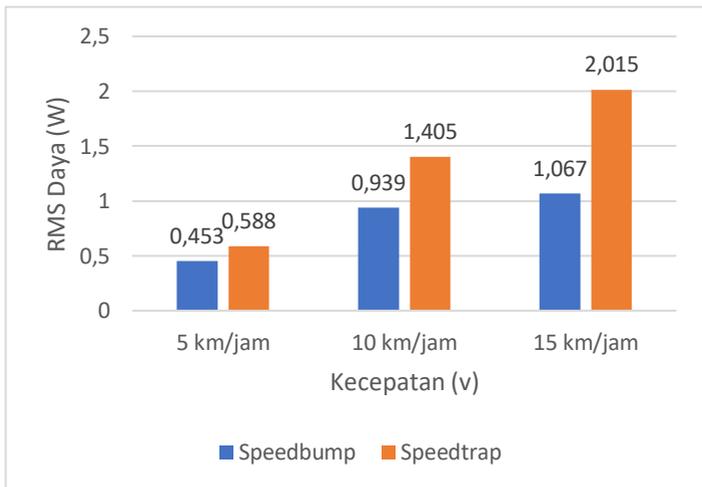
(d)

Gambar 4.26 Diagram Batang RMS (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, Grafik RMS (c) Tegangan dan (d) Daya Bangkitan Melewati Jalan Aspal dan Paving Dengan Hambatan 15 ohm

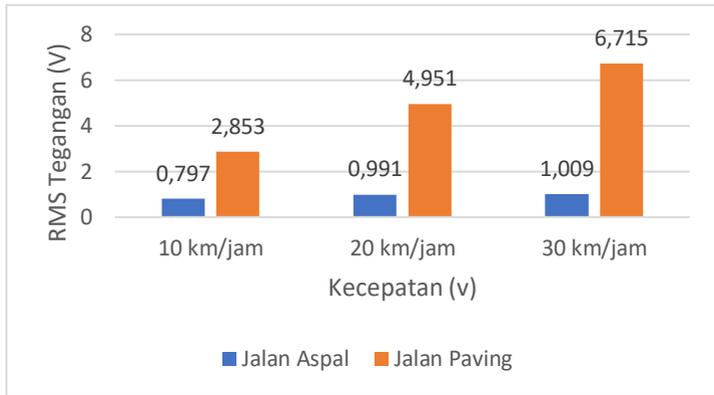
- Pada hambatan 20 ohm



(a)



(b)



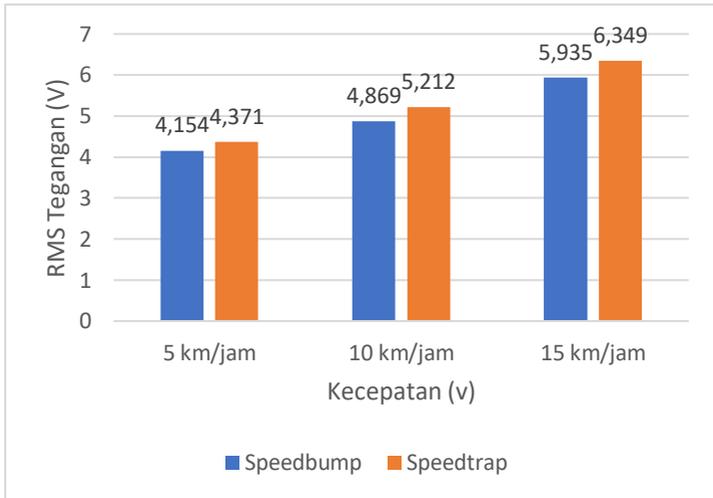
(c)



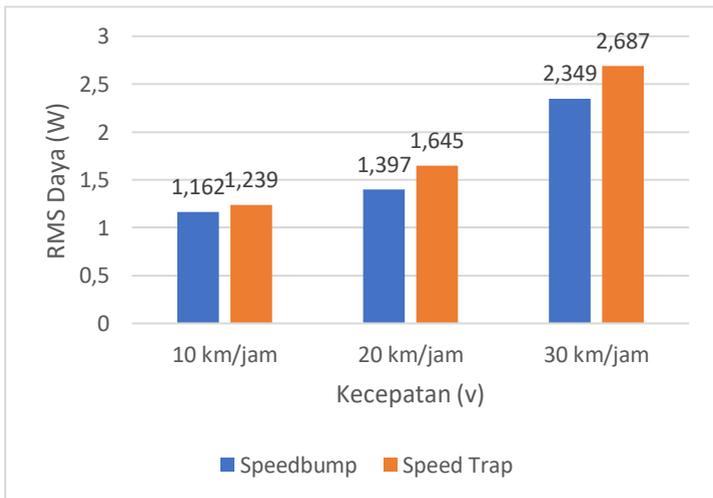
(d)

Gambar 4.28 Diagram Batang RMS (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, Grafik RMS (c) Tegangan dan (d) Daya Bangkitan Melewati Jalan Aspal dan Paving Dengan Hambatan 20 ohm

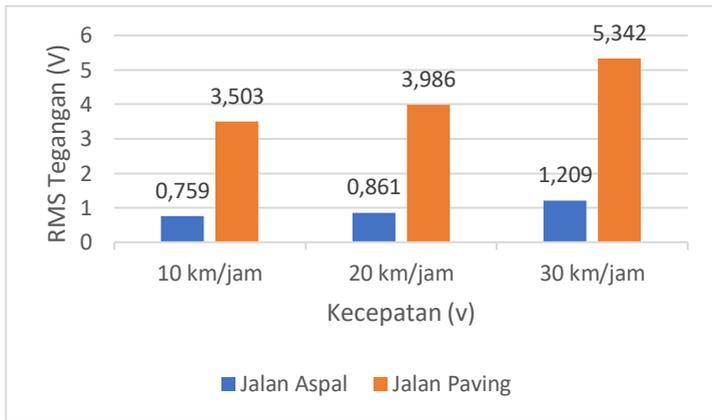
- Pada hambatan 25 ohm



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 4.27 Diagram Batang RMS (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, Grafik RMS (c) Tegangan dan (d) Daya Bangkitan Melewati Jalan Aspal dan Paving Dengan Hambatan 15 ohm

Gambar 4.26 dan 4.27 menunjukkan RMS tegangan dan daya bangkitan terbesar ditunjukkan pada saat melewati *speedtrap* pada kecepatan 15 km/h dengan hambatan 15 ohm yaitu sebesar 8.218 Volt dan 2.701 Watt. Hal tersebut dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan yang cukup tinggi, ditambah jumlah *bump* pada *speedtrap* yang menyebabkan BS-RESA dapat menghasilkan energi pada kurun waktu yang cukup lama. Kemudian RMS tegangan terkecil terjadi pada saat melewati jalan aspal dengan kecepatan 10 km/h pada hambatan 25 ohm dengan tegangan hanya sebesar 0,759 Volt dan untuk daya terkecil terjadi pada saat melewati jalan aspal juga dengan kecepatan 10 km/h pada hambatan 20 ohm yaitu sebesar 0.031 Watt. Jalan aspal cenderung halus sehingga tidak menimbulkan getaran pada BS-RESA.

Dari tabel diatas, pada setiap variasi jalan, semakin tinggi kecepatan kendaraan maka RMS tegangan bangkitan dan RMS daya yang dihasilkan semakin besar. Dari sini dapat diketahui bahwa kecepatan kendaraan mempengaruhi besar kecilnya tegangan maupun daya yang dihasilkan, dimana pada saat kecepatan semakin meningkat, frekuensi juga meningkat dan kecepatan putar generator meningkat sehingga menghasilkan tegangan bangkitan lebih besar. Hal tersebut sesuai dengan teori, dimana diketahui $f = \frac{v}{\lambda}$, apabila kecepatan semakin besar, maka frekuensi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Kemudian dari rumus $f = 2\pi\omega$, semakin besar nilai frekuensi maka kecepatan angular *ball screw* juga semakin besar. Sehingga putaran generator akan semakin tinggi dan membangkitkan daya leih besar. Dari segi hambatan juga mempunyai pengaruh pada daya bangkitan, ketika semakin besar hambatan maka daya yang dihasilkan semakin kecil.

4.4.7 Analisis Respon Percepatan Vertikal Kendaraan Antara *Conventional Shock Absorber* dan BS-RESA

Pembahasan selanjutnya mengenai perbandingan respon percepatan vertikal kendaraan antara *conventional shock absorber* dengan BS-RESA variasi jalan, variasi kecepatan, dan variasi hambatan. Perbandingan tersebut dilakukan untuk mengetahui perbedaan karakteristik yang terjadi pada saat kecepatan kendaraan yang berbeda-beda. Respon percepatan *Conventional Shock Absorber* dan BS-RESA didapatkan dari *probe accelerometer* yang dipasang pada bagian belakang penumpang atau di atas *shock absorber*. *Accelerometer* tersebut mengirimkan data ke *inverter* dan sinyal yang diterima diperbesar, sehingga *oscilloscope* dapat membaca hasil yang didapatkan dari *accelerometer*. Hasil yang didapatkan pada *oscilloscope* berupa voltase, sehingga perlu dilakukan pengolahan lagi dalam *software* Microsoft Excel untuk mendapatkan respon percepatan. Berikut merupakan rumus untuk mengonversi tegangan dari *accelerometer* menjadi percepatan.

$$\ddot{x} = G \frac{g}{10mV \times \text{perbesaran}}$$

Keterangan:

\ddot{x} : percepatan (m/s^2)

G : tegangan dari *accelerometer* (V)

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

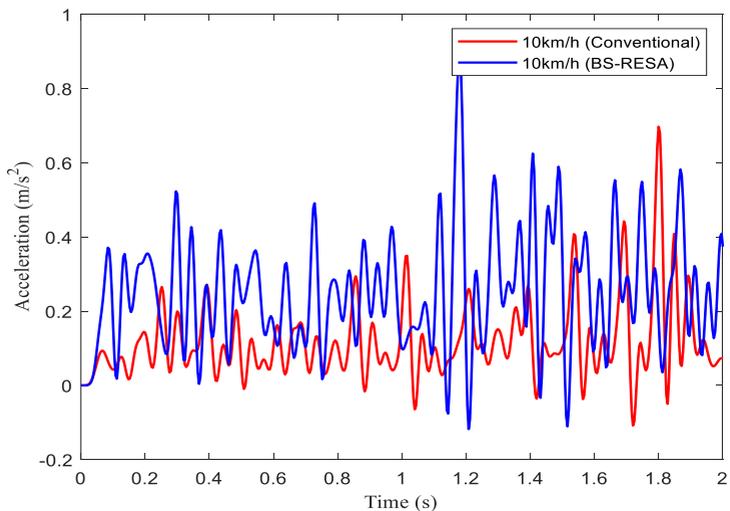
Untuk nilai G diperoleh dari data angka pada *excel* dikalikan dengan skala pembacaan pada *oscilloscope*. Misal data angka yang diperoleh adalah 0.565 kemudian skala

pembacaan *oscilloscope* adalah 10mV, maka $G = 0.565 \times 10$ mV

4.4.8 Analisa Respon Percepatan Vertikal Kendaraan Saat Melalui Jalan Aspal

Pengambilan data pertama dilakukan pada jalan aspal (jalan rata). Berikut merupakan data perbandingan percepatan vertikal ketika melalui jalan aspal dengan variasi kecepatan 10 km/h, 20 km/h dan 30 km/h dan juga variasi hambatan 15 ohm, 20 ohm, dan 25 ohm.

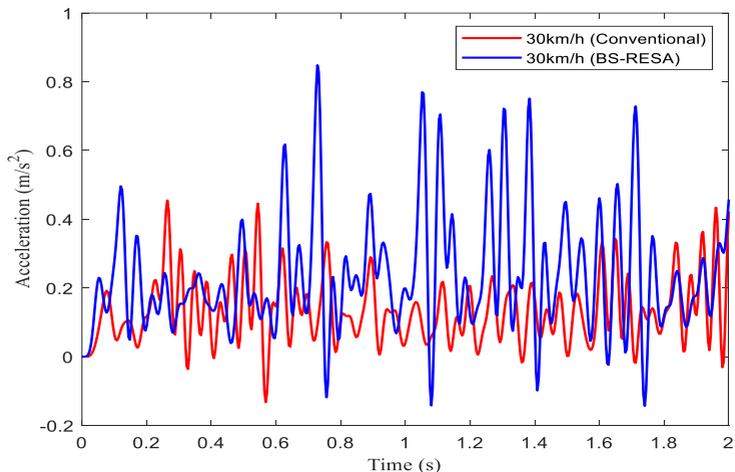
- Hambatan 15 ohm



Gambar 4.28 Perbandingan Percepatan Vertikal *Conventional* dan BS-RESA pada 10 km/h dengan hambatan 15 ohm

Dari Gambar 4.28 di atas, pada kecepatan 10 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.72 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.93 m/s^2 . Kemudian pada kecepatan 20 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.57 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.99 m/s^2 . Selanjutnya pada kecepatan 30 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.85 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 1.32 m/s^2 . Dari data tersebut, besarnya percepatan vertikal maksimum yang didapatkan BS-RESA sekitar 2 kali lebih besar daripada *conventional shock absorber*.

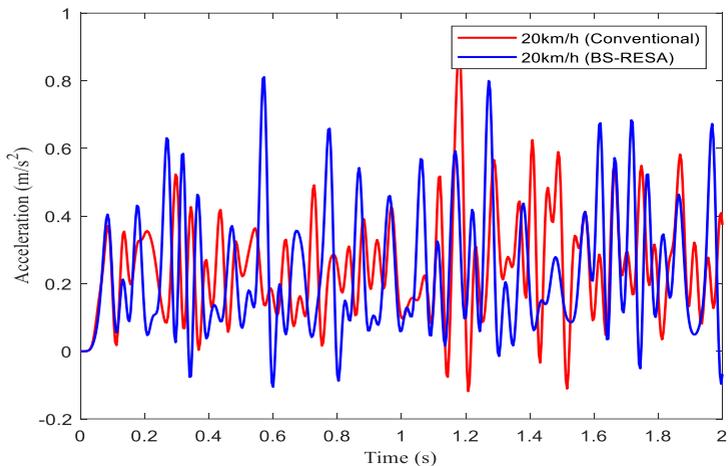
- Hambatan 20 ohm



Gambar 4.29 Perbandingan Percepatan Vertikal *Conventional* dan BS-RESA pada 30 km/h dengan hambatan 20 ohm

Dari Gambar 4.29 di atas, pada kecepatan 30 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.48 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.85 m/s^2 . Kemudian pada kecepatan 20 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.57 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.63 m/s^2 . Selanjutnya pada kecepatan 10 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.72 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.89 m/s^2 . Dari data tersebut, besarnya percepatan vertikal maksimum yang didapatkan BS-RESA sekitar 2 kali lebih besar daripada *conventional shock absorber*.

- Hambatan 25 ohm



Gambar 4.30 Perbandingan Percepatan Vertikal *Conventional* dan BS-RESA pada 20 km/h dengan hambatan 25 ohm

Dari Gambar 4.30 di atas, pada kecepatan 20 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.84 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.81 m/s^2 . Kemudian pada kecepatan 10 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.72 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.97 m/s^2 . Selanjutnya pada kecepatan 30 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.854 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.80 m/s^2 .

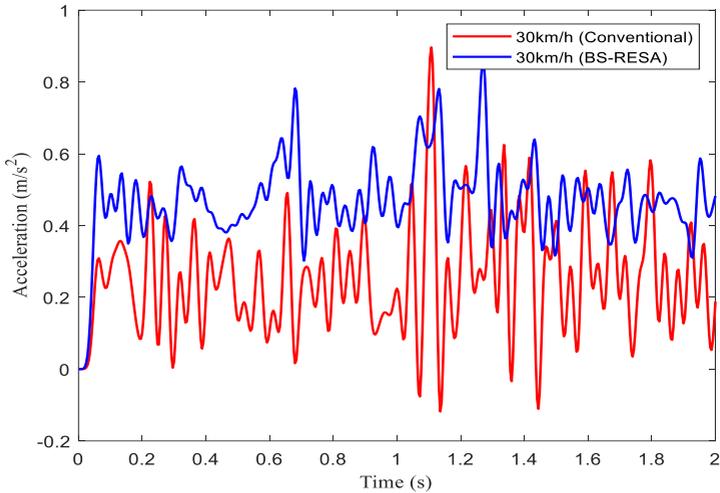
Pada pengujian melewati jalan aspal, pola grafik respon yang dihasilkan dari kedua jenis *shock absorber* mirip dengan pengujian melewati jalan paving, namun dengan besar respon yang jauh lebih kecil. Hal ini dikarenakan kontur jalan yang cukup halus sehingga tidak menimbulkan getaran yang cukup berarti pada kendaraan. Pada pengujian ini, BS-RESA tetap memiliki respon percepatan vertikal lebih besar daripada *conventional shock absorber*, walaupun nilainya kecil. Dapat dilihat beberapa bagian pada grafik, terdapat lonjakan yang disebabkan adanya lubang pada jalan sehingga terjadi hentakan yang menyebabkan respon percepatan vertikalnya naik. Dengan bertambahnya kecepatan, maka respon percepatan vertikal yang dihasilkan dari kedua *shock absorber* tersebut juga naik. Hal tersebut dikarenakan frekuensi pada *shock absorber* meningkat.

4.4.9 Analisa Respon Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melalui Jalan Paving

Pengambilan data kedua dilakukan pada jalan Paving. Berikut merupakan data perbandingan percepatan vertikal ketika melalui jalan paving dengan variasi kecepatan 10 km/h,

20 km/h dan 30 km/h dan juga variasi hambatan 15 ohm, 20 ohm, dan 25 ohm.

- Hambatan 15 ohm

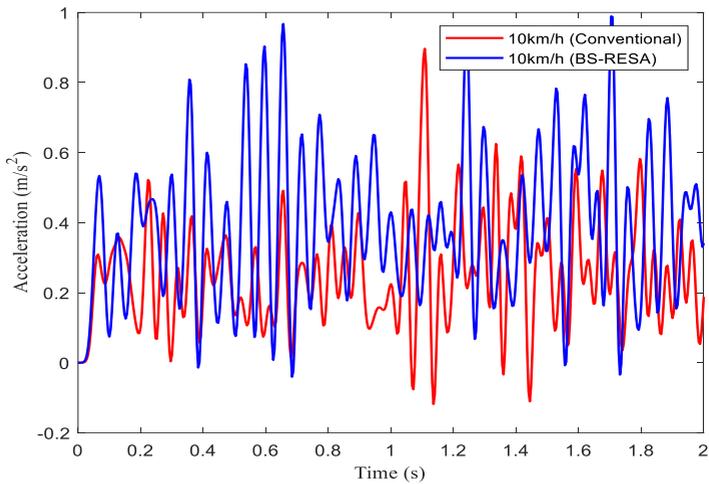


Gambar 4.31 Perbandingan Percepatan Vertikal *Conventional* dan BS-RESA pada 30 km/h dengan hambatan 15 ohm

Dari Gambar 4.31 di atas, pada kecepatan 30 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.87 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.92 m/s^2 . Kemudian pada kecepatan 20 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.98 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 1.26 m/s^2 . Selanjutnya pada kecepatan 10 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.42 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.88 m/s^2 . Dari data

tersebut, besarnya percepatan vertikal maksimum yang didapatkan BS-RESA sekitar 2 kali lebih besar daripada *conventional shock absorber*.

- Hambatan 20 ohm

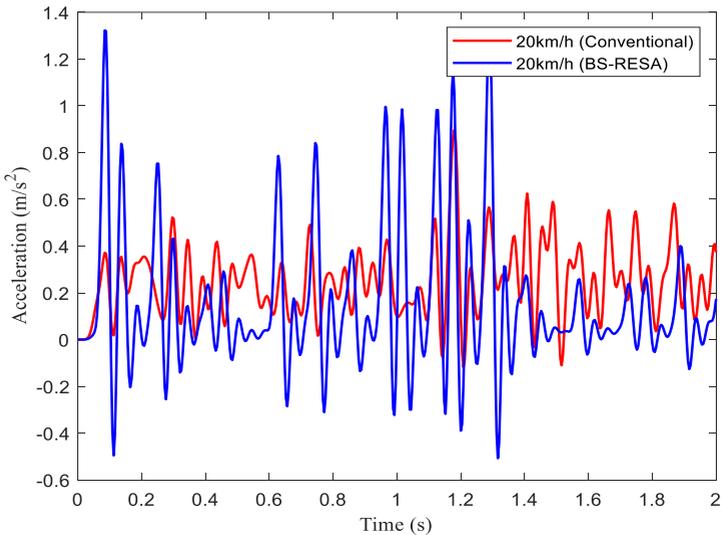


Gambar 4.32 Perbandingan Percepatan Vertikal *Conventional* dan BS-RESA pada 10 km/h dengan hambatan 20 ohm

Dari Gambar 4.32 di atas, pada kecepatan 10 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.82 m/s² dan pada BS-RESA sebesar 0.96 m/s². Kemudian pada kecepatan 20 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.98 m/s² dan pada BS-RESA sebesar 0.64 m/s². Selanjutnya pada kecepatan 30 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar

0.85 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 1.18 m/s^2 . Dari data tersebut, besarnya percepatan vertikal maksimum yang didapatkan BS-RESA sekitar 2 kali lebih besar daripada *conventional shock absorber*.

- Hambatan 25 ohm



Gambar 4.33 Perbandingan Percepatan Vertikal *Conventional* dan BSRSA pada 20 km/h dengan hambatan 25 ohm

Dari Gambar 4.33 di atas, pada kecepatan 20 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.85 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 1.3 m/s^2 . Kemudian pada kecepatan 30 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.85 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.98

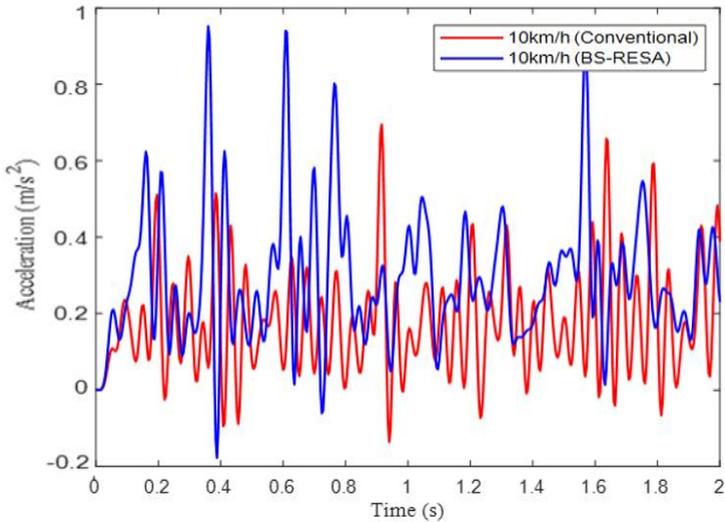
m/s^2 . Selanjutnya pada kecepatan 10 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar $0.42 m/s^2$ dan pada BS-RESA sebesar $0.87 m/s^2$.

Dari ketiga grafik tersebut, ketiganya membentuk pola yang tidak teratur pada BS-RESA maupun *conventional shock absorber*. Hal tersebut diakibatkan oleh kontur jalan paving yang tidak menentu seperti adanya lubang pada paving, pemasangan paving yang tidak rata, *noise* dari *accelerometer*, dan kontur tanah yang menyebabkan pemasangan paving bergelombang. Kemudian ditinjau dari *shock absorber* yang digunakan, terlihat BS-RESA menghasilkan percepatan vertikal yang lebih besar dibandingkan *shock absorber conventional* walaupun tidak sebesar pada saat melewati *speedbump* dan *speedtrap*. Hal tersebut menandakan bahwa BS-RESA tidak dapat meredam getaran sebaik *conventional shock absorber*. Kemudian sama halnya pada saat melewati *speedbump* dan *speedtrap*, semakin tinggi kecepatan semakin besar respon percepatannya.

4.4.10 Analisa Respon Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melalui *Speedtrap*

Pengambilan data ketiga dilakukan pada jalan *speedtrap*. Berikut merupakan data perbandingan percepatan vertikal ketika melalui *speedtrap* dengan variasi kecepatan 10 km/h, 20 km/h dan 30 km/h dan juga variasi hambatan 15 ohm, 20 ohm, dan 25 ohm.

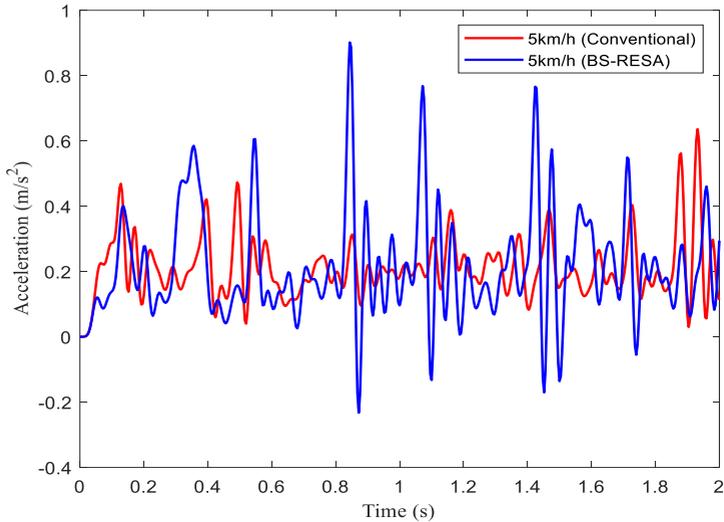
- Hambatan 15 ohm



Gambar 4.34 Perbandingan Percepatan Vertikal *Conventional* dan BS-RESA pada 15 km/h dengan hambatan 15 ohm

Dari Gambar 4.34 di atas, pada kecepatan 10 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.73 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.94 m/s^2 . Kemudian pada kecepatan 15 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.38 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.86 m/s^2 . Selanjutnya pada kecepatan 5 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.62 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 1.67 m/s^2 . Dari data tersebut, besarnya percepatan vertikal maksimum yang didapatkan BS-RESA sekitar 2 kali lebih besar daripada *conventional shock absorber*.

- Hambatan 20 ohm

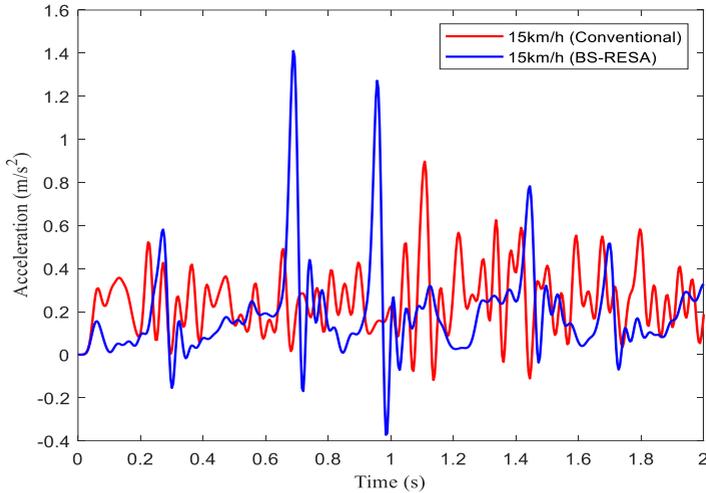


Gambar 4.35 Perbandingan Percepatan Vertikal *Conventional* dan BS-RESA pada 5 km/h dengan hambatan 20 ohm

Dari Gambar 4.36 di atas, pada kecepatan 5 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.62 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.943 m/s^2 . Kemudian pada kecepatan 10 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.38 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.88 m/s^2 . Selanjutnya pada kecepatan 15 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.82 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 1.02 m/s^2 . Dari data tersebut, besarnya percepatan vertikal maksimum yang

didapatkan BS-RESA sekitar 2 kali lebih besar daripada *conventional shock absorber*.

- Hambatan 25 ohm



Gambar 4.36 Perbandingan Percepatan Vertikal *Conventional* dan BS-RESA pada 10 km/h dengan hambatan 25 ohm

Dari Gambar 4.36 di atas, pada kecepatan 15 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.88 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 1.51 m/s^2 . Kemudian pada kecepatan 10 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.34 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.62 m/s^2 . Selanjutnya pada kecepatan 5 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.82 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.976 m/s^2 . Dari data

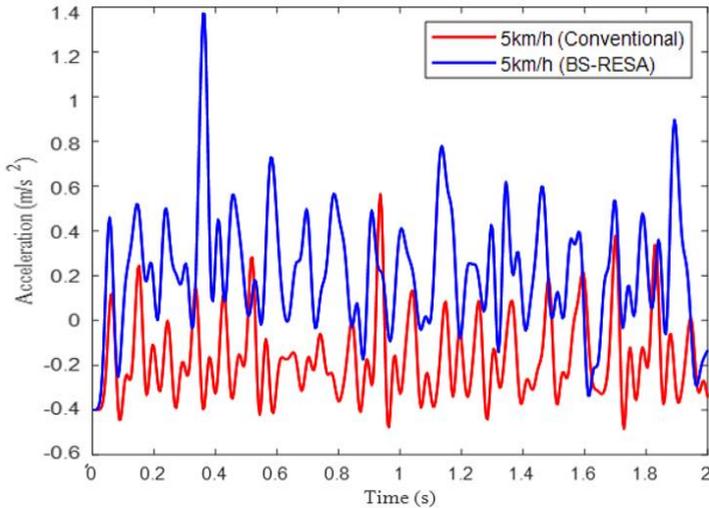
tersebut, besarnya percepatan vertikal maksimum yang didapatkan BS-RESA sekitar 2 kali lebih besar daripada *conventional shock absorber*.

Dari grafik yang dihasilkan, dapat dilihat terdapat beberapakali pengulangan puncak dari grafik, hal tersebut diakibatkan dari *bump* sebanyak 4 buah dari *speedtrap*, sehingga terjadi hentakan beberapakali pada kendaraan, berbeda dengan pada saat melewati *speedbump* yang hanya terjadi 1 hentakan. Kemudian apabila dilihat dari setiap variasi kecepatan, BS-RESA memiliki percepatan maksimum vertikal yang lebih besar. Hal tersebut menandakan bahwa BS-RESA tidak dapat menyerap getaran kendaraan sebaik *shock absorber conventionalnya*. Kemudian melihat dari variasi kecepatan yang dilakukan, semakin tinggi kecepatan, dari kedua jenis *shock absorber* percepatan vertikal yang dihasilkan juga meningkat. Hal tersebut disebabkan oleh gerakan *ball screw* yang semakin cepat seiringnya meningkatnya kecepatan kendaraan sehingga getaran pada kendaraan juga meningkat.

4.4.11 Analisa Respon Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melalui *Speedbump*

Pengambilan data ketiga dilakukan pada jalan *speedbump*. Berikut merupakan data perbandingan percepatan vertikal ketika melalui *speedbump* dengan variasi kecepatan 10 km/h, 20 km/h dan 30 km/h dan juga variasi hambatan 15 ohm, 20 ohm, dan 25 ohm.

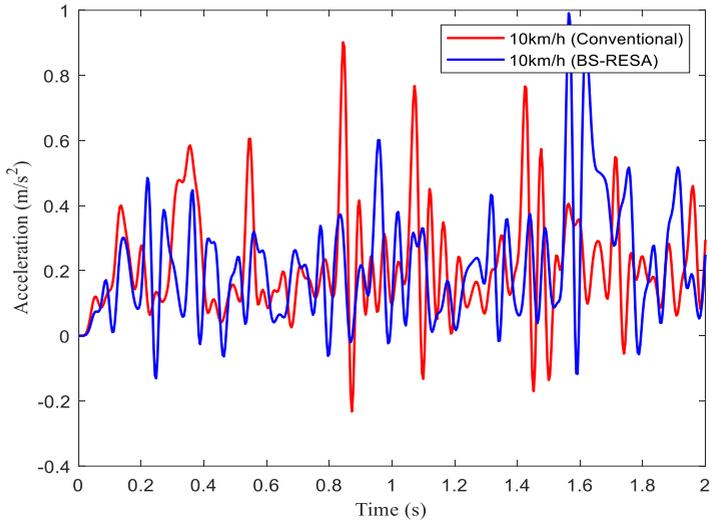
- Hambatan 15 ohm



Gambar 4.37 Perbandingan Percepatan Vertikal Conventional dan BS-RESA pada 5 km/h dengan hambatan 15 ohm

Dari Gambar 4.37 di atas, pada kecepatan 5 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.521 m/s² dan pada BS-RESA sebesar 1.36 m/s². Kemudian pada kecepatan 15 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.613 m/s² dan pada BS-RESA sebesar 1.31 m/s². Selanjutnya pada kecepatan 10 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.82 m/s² dan pada BS-RESA sebesar 0.9 m/s².

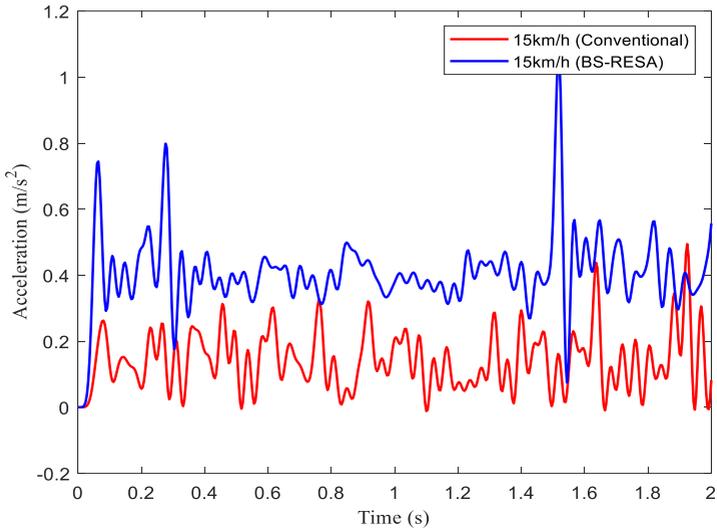
- Hambatan 20 ohm



Gambar 4.38 Perbandingan Percepatan Vertikal *Conventional* dan BS-RESA pada 10 km/h dengan hambatan 20 ohm

Dari Gambar 4.38 di atas, pada kecepatan 10 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.82 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.93 m/s^2 . Kemudian pada kecepatan 15 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.613 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 1.31 m/s^2 . Selanjutnya pada kecepatan 5 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.0521 m/s^2 dan pada BS-RESA sebesar 0.90 m/s^2 . Dari data tersebut, besarnya percepatan vertikal maksimum yang didapatkan BS-RESA sekitar 2 kali lebih besar daripada *conventional shock absorber*.

- Hambatan 25 ohm



Gambar 4.39 Perbandingan Percepatan Vertikal *Conventional* dan BS-RESA pada 15 km/h dengan hambatan 25 ohm

Dari Gambar 4.39 di atas, pada kecepatan 15 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.51 m/s² dan pada BS-RESA sebesar 1.14 m/s². Kemudian pada kecepatan 10 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.82 m/s² dan pada BS-RESA sebesar 1.31 m/s². Selanjutnya pada kecepatan 5 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *conventional shock absorber* sebesar 0.521 m/s² dan pada BS-RESA sebesar 0.90 m/s².

Dilihat dari ketiga grafik dengan kecepatan yang semakin meningkat, didapatkan percepatan maksimum dari

tiap *shock absorber* juga meningkat. Hal ini dikarenakan ketika kecepatan kendaraan tinggi, *ball screw* bergerak naik turun lebih cepat sehingga percepatannya naik pada tiap kecepatan yang berbeda. Kemudian dilihat dari jenis *shock absorber* yang digunakan, pada setiap variasi kecepatan kendaraan dapat dilihat bahwa BS-RESA memiliki percepatan maksimum yang lebih besar daripada *conventional shock absorber*. Hal tersebut menunjukkan bahwa *conventional shock absorber* lebih mampu untuk menyerap getaran yang dihasilkan oleh kendaraan dibandingkan dengan BS-RESA.

Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, saat melewati *speedbump* terdapat lonjakan yang tinggi pada grafik. Hal tersebut menunjukkan saat kendaraan melewati *bump* yang cukup tinggi. Kemudian terdapat lonjakan-lonjakan kecil yang disebabkan kontur jalan paving yang tidak rata sebelum/sesudah melewati *speedbump*.

4.4.12 Root mean square Percepatan Vertikal

Kemudian dari keseluruhan data tersebut, dicari rata-ratanya menggunakan metode *Root mean square* (RMS) menggunakan MS Excel kemudian ditabelkan. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel halaman selanjutnya.

- RMS percepatan vertical pada *speedbump*

Tabel 4.7 RMS Respon Percepatan Vertikal Melalui *Speedbump*

Hambatan	Variasi Kecepatan		
	5 km/h	10 km/h	15 km/h
15 ohm	0,351 m/s ²	0,463 m/s ²	0,54 m/s ²
20 ohm	0,314 m/s ²	0,386 m/s ²	0,511 m/s ²
25 ohm	0,268 m/s ²	0,332 m/s ²	0,492 m/s ²
<i>Conventional</i>	0,235 m/s ²	0,312 m/s ²	0,342 m/s ²

- RMS percepatan vertical pada *speedtrap*

Tabel 4.8 RMS Respon Percepatan Vertikal Melalui *Speedtrap*

Hambatan	Variasi Kecepatan		
	5 km/h	10 km/h	15 km/h
15 ohm	0,419 m/s ²	0,455 m/s ²	0,57 m/s ²
20 ohm	0,322 m/s ²	0,332 m/s ²	0,53 m/s ²
25 ohm	0,256 m/s ²	0,314 m/s ²	0,493 m/s ²
<i>Conventional</i>	0,224 m/s ²	0,298 m/s ²	0,361 m/s ²

- RMS percepatan vertical pada jalan aspal

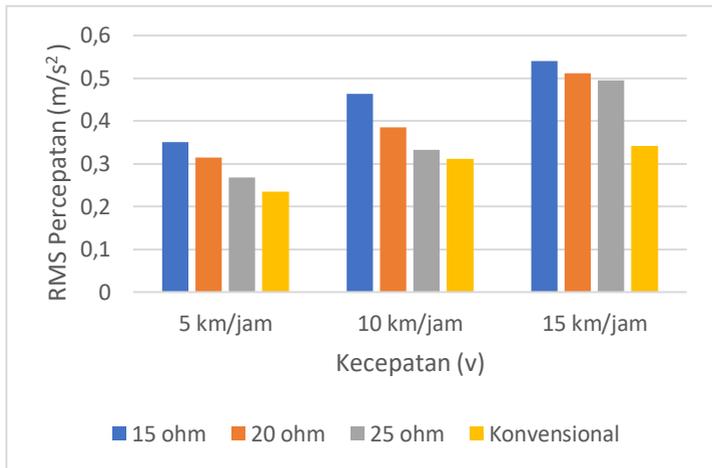
Tabel 4.9 RMS Respon Percepatan Vertikal Melalui Jalan Aspal

Hambatan	Variasi Kecepatan		
	10 km/h	20 km/h	30 km/h
15 ohm	0,277 m/s ²	0,372 m/s ²	0,398 m/s ²
20 ohm	0,248 m/s ²	0,323 m/s ²	0,361 m/s ²
25 ohm	0,224 m/s ²	0,242 m/s ²	0,267 m/s ²
<i>Conventional</i>	0,167 m/s ²	0,186 m/s ²	0,193 m/s ²

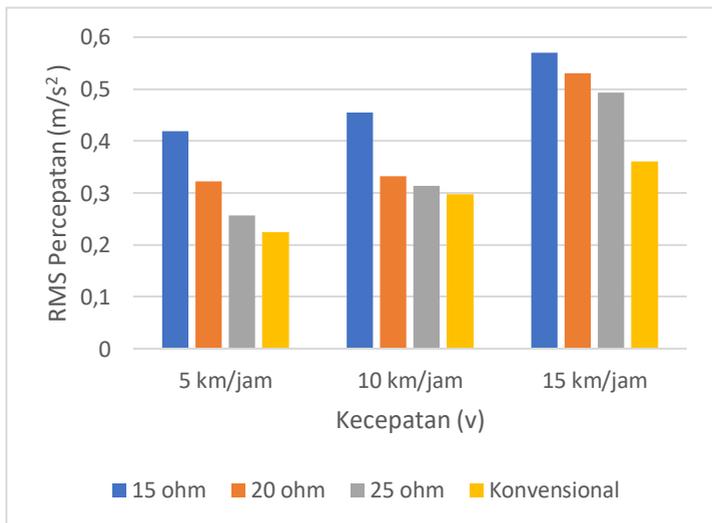
- RMS percepatan vertical pada jalan paving

Tabel 4.10 RMS Respon Percepatan Vertikal Melalui Jalan Paving

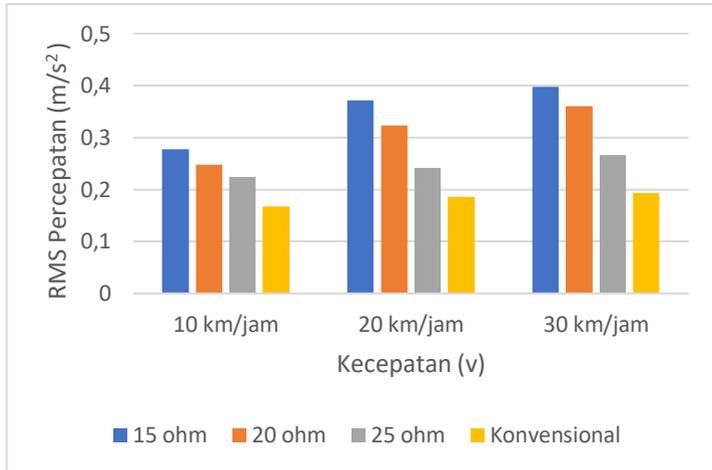
Hambatan	Variasi Kecepatan		
	10 km/h	20 km/h	30 km/h
15 ohm	0,314 m/s ²	0,432 m/s ²	0,485 m/s ²
20 ohm	0,306 m/s ²	0,417 m/s ²	0,427 m/s ²
25 ohm	0,293 m/s ²	0,354 m/s ²	0,421 m/s ²
<i>Conventional</i>	0,282 m/s ²	0,328 m/s ²	0,339 m/s ²



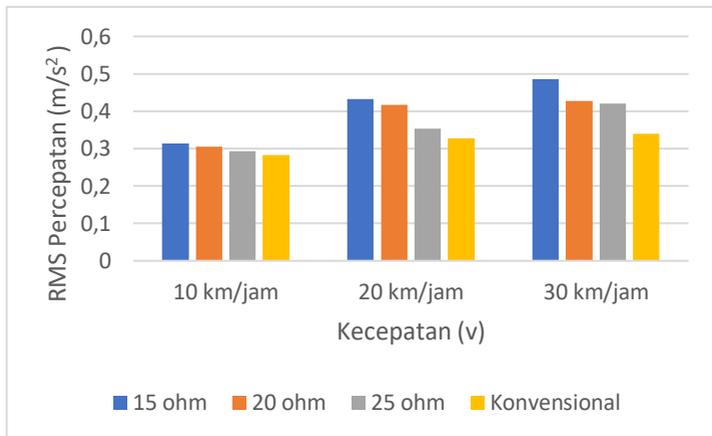
(a)



(b)



(c)



(d)

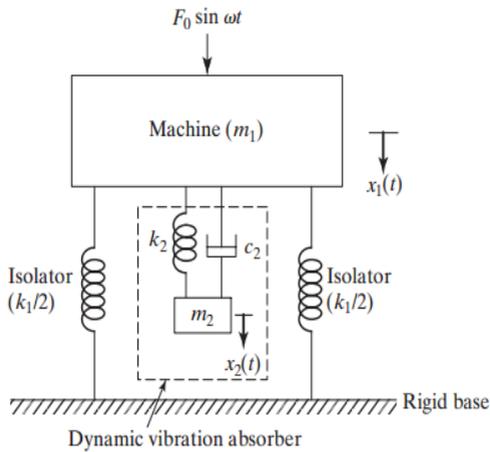
Gambar 4.40 Diagram Batang RMS Percepatan Vertikal (a) Speedbump, (b) Speedtrap, (c) Jalan Paving, dan (d) Jalan Aspal

Dari tabel 4.7, 4.8, 4.9 dan 4.10 diatas, RMS respon percepatan terbesar BS-RESA terjadi pada saat melewati *speedtrap* dengan kecepatan 15 km/h pada hambatan 15 ohm yaitu sebesar $0,57 \text{ m/s}^2$, sama halnya dengan *shock absorber conventional* dimana respon percepatan terbesar terjadi pada saat melewati *speedtrap* dengan kecepatan 15 km/h yaitu sebesar $0,416 \text{ m/s}^2$. Hal tersebut diakibatkan tingginya *bump* pada *speedtrap* yang mengakibatkan hentakan yang cukup besar pada kendaraan. Kemudian RMS respon percepatan terkecil pada BS-RESA terjadi pada saat melewati jalan aspal pada kecepatan 10 km/h dengan hambatan 25 ohm yaitu sebesar 0.224 m/s^2 , sama halnya dengan *shock absorber conventional* dimana saat melalui jalan aspal dengan kecepatan 10 km/h yaitu sebesar 0.167 m/s^2 . Hal ini terjadi karena kontur jalan yang halus sehingga tidak terjadi getaran yang begitu berarti.

Pada gambar 4.40, dapat diketahui dari ke empat variasi jalan tersebut, dapat dilihat bahwa kecepatan mempengaruhi besar kecilnya percepatan vertikal kendaraan, dimana semakin besar kecepatan maka percepatan vertikal kendaraan meningkat. Hal tersebut sesuai dengan teori, dimana diketahui $f = \frac{v}{\lambda}$, apabila kecepatan semakin besar, maka frekuensi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Kemudian dari rumus $f = 2\pi\omega$, semakin besar nilai frekuensi maka kecepatan angular *ball screw* juga semakin besar. Sehingga putaran generator akan semakin tinggi dan membangkitkan daya lebih besar. Selain itu dapat kita lihat juga bahwa semakin besar hambatan yang diberikan maka BS-RESA mampu bekerja mendekati *shock conventional*, dengan hambatan yang diberikan semakin kecil maka BS-RESA sangat berat untuk berkontraksi dan juga ekspansi sehingga membutuhkan gaya

dorong lebih untuk menggerakkan BS-RESA . Dari situ akan berhubungan pada redaman yang diberikan dan juga mempengaruhi kenyamanan berkendara.

Kemudian berdasarkan Tabel 2.2 Pada saat melewati *speedbump* untuk *conventional shock absorber* pada kecepatan 5 km/h dan 10 km/h tidak ada keluhan sedangkan pada kecepatan 15 km/h sedikit tidak nyaman, sedangkan untuk BS-RESA kondisi kendaraan dengan seluruh variasi hambatan pada kecepatan 15 km/h tidak nyaman. Berbeda halnya dengan variasi hambatan 15 ohm dan 20ohm dengan setiap 5 km/h dan 10 km/h sedikit tidak nyaman. Pada saat melewati *speedtrap* untuk *conventional shok absorber* dengan kecepatan 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h tidak ada keluhan. Sedangkan pada BS-RESA kecepatan 15 km/h dengan hambatan 15 ohm tidak nyaman. Untuk semua variasi kecepatan pada hambatan 20 ohm dan 25 ohm sedikit tidak nyaman. Kemudian saat melewati jalan aspal untuk *conventional shock absorber* untuk pada seluruh variasi kecepatan kondisi kendaraan tidak ada keluhan sama halnya degan BS-RESA pada seluruh variasi kecepatan pada hambatan 20 ohm. Berbeda halnya ketika kecepatan 20 km/h dan 30 km/h dengan masing masing hambatan 12 dan 20 ohm kenyamanan pengendara sedikit tidak nyaman. Selanjutnya saat melewati jalan paving untuk *conventional shock absorber* pada kecepatan 5 km/h kondisi kendraan tidak ada keluhan, pada10 km/h dan 15 km/h sedikit tidak nyaman. Untuk BS-RESA pada seluruh variasi kecepatan dan variasi hambatan sedikit tidak nyaman tetapi pada kecepatan 30 km/h dengan hambatan 15 ohm kenyaamaan pengendara agak tidak nyaman.



Gambar 4. 41 Pemodelan sistem dinamis dengan *damped dynamic vibration absorber* (Rao, 2011)

Dari gambar di atas, didapatkan persamaan gerak dari massa utama (m_1) dan massa *absorber* (m_2) yakni:

$$\begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + k_1 x_1 + k_2 (x_1 - x_2) + c_2 (\dot{x}_1 - \dot{x}_2) &= F_0 \sin \omega t \\ m_2 \ddot{x}_2 + k_2 (x_2 - x_1) + c_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) &= 0 \end{aligned}$$

Dengan asumsi persamaan harmonik, didapatkan:

$$x_j(t) = X_j \sin \omega t, \quad j = 1, 2$$

Sehingga dapat diperoleh amplitudo steady state dari massa utama (m_1) dan massa *absorber* (m_2), sebagai berikut:

$$X_1 = \frac{F_0(k_2 - m_2\omega^2 + ic_2\omega)}{[(k_1 - m_1\omega^2)(k_2 - m_2\omega^2) - m_2k_2\omega^2] + ic_2\omega(k_1 - m_1\omega^2 - m_2\omega^2)}$$

$$X_2 = \frac{X_1(k_2 - ic_2\omega)}{(k_2 - m_2\omega^2 + ic_2\omega)}$$

Dengan mendefinisikan:

$$\begin{aligned} \mu &= m_2 / m_1 = \text{Mass ratio} \\ \delta_{st} &= F_0 / k_1 = \text{Static deflection of the system} \\ \omega_{a2} &= k_2 / m_2 = \text{Square of natural frequency of} \\ &\text{the absorber} \\ \omega_{n2} &= k_1 / m_1 = \text{Square of natural frequency of} \\ &\text{main mass} \\ f &= \omega_a / \omega_n = \text{Ratio of natural frequencies} \\ g &= \omega / \omega_n = \text{Forced frequency ratio} \\ c &= 2m\omega_n = \text{Critical damping constant} \\ \zeta &= c_2 / c_c = \text{Damping ratio} \end{aligned}$$

Nilai X_1 dan X_2 dapat didefinisikan sebagai:

$$\frac{X_1}{\delta_{st}} = \left[\frac{(2\zeta g)^2 + (g^2 f^2)^2}{(2\zeta g)^2 (g^2 - 1 + \mu g^2)^2 + \{\mu f^2 g^2 - (g^2 - 1)(g^2 - f^2)\}^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

$$\frac{X_2}{\delta_{st}} = \left[\frac{(2\zeta g)^2 + f^4}{(2\zeta g)^2 (g^2 - 1 + \mu g^2)^2 + \{\mu f^2 g^2 - (g^2 - 1)(g^2 - f^2)\}^2} \right]^{\frac{1}{2}}$$

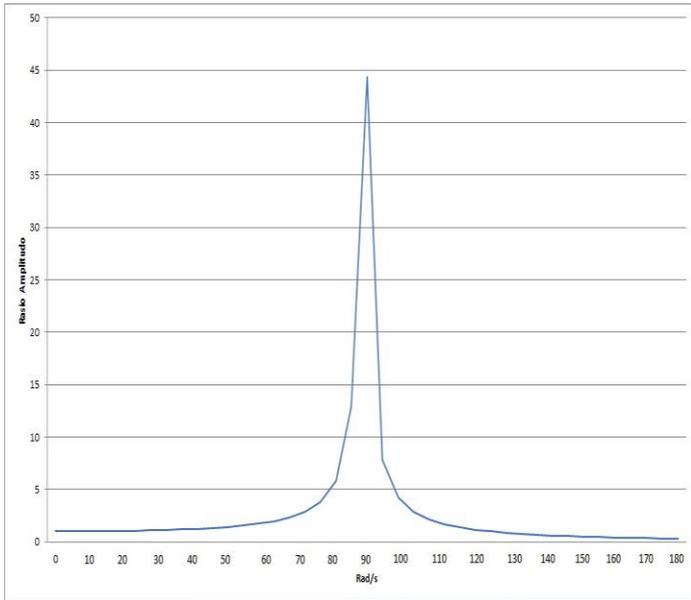
Pada persamaan diatas menunjukkan bahwa nilai amplitudo vibrasi dari massa utama merupakan fungsi dari μ , f , g , dan ζ . Berdasarkan respon gerak persamaan diatas dapat

dibentuk grafik hubungan antara rasio amplitudo respon terhadap defleksi statis sistem utama dengan rasio frekuensi operasional terhadap frekuensi natural sistem dengan nilai $\zeta = 0,1$. Menurut Plot grafik 4.41 didapatkan berdasarkan penurunan sistem dinamis pada buku rao yang telah dirubah

pada microsoft excel dengan parameter mobil yang digunakan massa mobil, massa ban, koefisien pegas kendaraan, koefisien kekakuan ban, dan juga koefisien redaman ban yang semua telah tercantum pada tabel 3.3. Pada Gambar 4.41 terlihat hubungan antara variasi kecepatan dengan respon percepatan vertikalnya, pada grafik terlihat bahwa ketika kecepatan meningkat hingga 90 rad/s maka respon percepatan vertikal juga meningkat sampai melewati amplitudo, percepatan vertikal mulai menurun saat melewati amplitudo sehingga kendaraan semakin nyaman, hal itu disebabkan karena telah melewati frekuensi natural. Ketika memvariasikan kecepatan yang terbilang rendah antara 5 km/h – 30 km/h didapatkan percepatan vertikal yang meningkat. Berikut merupakan tabel konversi kecepatan seperti pada tabel 4.11 dan juga gambar variasi kecepatan dengan respon percepatan vertikal.

Tabel 4. 11 Konversi Kecepatan

Kecepatan	5 km/h	7,806 rad/s
	10 km/h	15,618 rad/s
	15 km/h	23,434 rad/s
	20 km/h	31, 242 rad/s
	30 km/h	46,867 rad/s



Gambar 4. 42 Grafik Frekuensi Natural

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisa data yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Telah dikembangkan prototip BS-RESA model coupling yang dapat menyerap energi saat siklus kompresi maupun ekspansi sehingga dapat menghasilkan energi bangkitan yang lebih berkelanjutan.
2. Tegangan bangkitan dan daya bangkitan maksimum yang dapat dihasilkan sebesar 18,48 V saat melewati *speedbump* dengan kecepatan 15 km/h pada hambatan 25 ohm dan untuk daya bangkitan terbesar ketika melewati *speedbump* dengan kecepatan 15 km/h pada hambatan 25 ohm sebesar 13.66 Watt pada saat melewati. Pada tegangan bangkitan dan daya bangkitan terkecil terjadi pada jalan aspal dengan kecepatan 10 km/h dengan hambatan 25 ohm sebesar 1.158 V dan 0.089 Watt. Kemudian untuk RMS tegangan dan daya bangkitan paling besar dihasilkan pada saat melalui *speedtrap* dengan kecepatan 15 km/h sebesar 8.218 V dan 2.701 Watt. Untuk RMS tegangan paling kecil dihasilkan pada saat melalui jalan aspal dengan kecepatan 10 km/h dengan hambatan 25 ohm sebesar 0,759 V, Sedangkan untuk RMS daya bangkitan paling kecil dihasilkan pada saat melalui jalan aspal dengan kecepatan 10 km/h dengan hambatan 20 ohm sebesar 0.031 Watt

3. RMS percepatan vertikal terbesar pada *conventional shock absorber* terjadi ketika melewati *speedtrap* dengan kecepatan 15 km/h sebesar $0,416 \text{ m/s}^2$, sedangkan pada BS-RESA terjadi saat melewati *speedtrap* dengan kecepatan 15 km/h dengan hambatan 15 ohm yakni sebesar $0,57 \text{ m/s}^2$. Untuk RMS percepatan terkecil terjadi pada saat melewati jalan aspal dengan kecepatan 10 km/h yaitu sebesar 0.167 m/s^2 untuk *conventional shock absorber* dan untuk BS-RESA sebesar 0.224 m/s^2 pada kecepatan 10 km/h dengan hambatan 25 ohm di jalan aspal. Sedangkan ketika BS-RESA pada saat melewati *speedtrap* memiliki percepatan vertikal relative besar jika dibandingkan dengan semua variasi medan karena *speedtrap* yang dilalui setinggi 1,5 cm. Dilihat secara keseluruhan, saat menggunakan BS-RESA kondisi kendaraan agak tidak nyaman sedangkan untuk *conventional shock absorber* tidak ada keluhan.
4. 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. Respon percepatan yang dihasilkan BS-RESA masih lebih tinggi dibandingkan dengan *conventional shock absorber*. Ini terjadi pada semua tipe jalan dan variasi kecepatan. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan meredam getaran dari BS-RESA masih belum maksimal.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah:

1. Fabrikasi dari BS-RESA menggunakan CNC agar dimensi yang diharapkan lebih presisi.
2. Menghitung secara akurat dimensi dari setiap komponen yang digunakan untuk sistem BS-RESA sehingga memudahkan proses perakitan dan meminimalisir kemungkinan adanya komponen yang kurang cocok satu sama lain.
3. Mematangkan perencanaan untuk tahap perakitan sehingga dalam menyusun setiap komponen dapat terukur kekuatan dan ketahanan agar tidak terjadi kerusakan.
4. Perlu diperhatikan dalam pemasangan dan instalasi ball screw agar mekanisme ini berjalan dengan baik.
5. Memperkecil dimensi BS-RESA agar lebih mudah dalam pemasangan dan memperpanjang *screw* agar memiliki *stroke* yang panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- Anuar, Kaspul. (2014). Studi Numerik Karakteristik Respon Dinamik dari Model *Hydraulic Motor – Regenerative Shock Absorber*. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Bowen, L., Vinolas, J., & Olazagoitia, J. (2017). *Methodology for Comparing the Functional Performance of Energy Harvesting Shock Absorbers*. International Journal of Applied Electromagnetics and Mechanics.
- Bowen, L., Vinolas, J., Olazagoitia, J., & Otero, J. (2019). *An Innovative Energy Harvesting Shock Absorber System Using Cable Transmission*. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics* , Vol.24, No.2, Hal.689-699.
- Eriksson, Jesper. & Shwana Piroti. (2016) . *Review of Methods for Energy Harvesting from a Vehicle Suspension System*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology School of Engineering Science.
- Farisah, Sawungsari Nur. (2015). *Pemodelan dan Analisis Pengaruh Variasi Tekanan Awal Akumulator Terhadap Gaya Redam, Daya Listrik Bangkitan, dan Respon Dinamis Pada Hydraulic Motor Regenerative Shock Absorber*. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Isuzu Training Centre. (2000). Modul Isuzu Training Centre. Bekasi: Astra International
- Kireev A.V., et al. (2017). *Regenerative Shock Absorber in the Vehicle Suspension System*. International Journal of Applied Engineering Volume 12 Number 22.

Li, Z., Zuo, L., Luhrs, G., Lin, L., & Qin, Y.-x. (2013). *Electromagnetic Energy Harvesting Shock Absorbers: Design, Modeling, and Road Tests*. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.62, No.3, Hal.1065-1074.

Litbang ESDM RI. (2020). Outlook Energi Nasional. Jakarta: Kementrian ESDM RI.

Liu, Y., Xu, L., & Zuo, L. (2017). *Design, Modeling, Lab, and Field Tests of a Mechanical-Motion-Rectifier-Based Energy Harvester Using a Ball Screw Mechanism.3 Linear Electromagnetic*.

Nakano. et.all (2013). Design, Modeling, and Analysis of a *Ball-screw electromagnetic energy harvester*. Kyoto: School of Mechanical and Vehicle Engineering.

Nugraha, Dhion Khairul. (2020). Pengembangan Prototip *Ball Screw Rgenerative Shock Absorber (BSRSA)-Bevel Gear* Untuk Kendaraan *Pickup*. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Priyanto, Sakti. (2020). Rancang Bangun Sistem Suspensi Model Ball Screw dengan Spur Gear Pada Regenerative *Shock Absorber (RSA)* Kendaraan Pick Up. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Putra, Muhammad Rai. (2017). Pemodelan dan Analisis Pengaruh Penggunaan Adaptive *Shock Absorber* Menggunakan Variabel Oriifice Terhadap Karakteristik Gaya Redam dan Respon Dinamis Kendaraan. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Rao, S. S. (2011). *Mechanical Vibrations Fifth Edition*. Upper Saddle River: Pearson Education.

Saraswat, Nishant. (2015). *Regenerative Shock Absorber Using Rack and Pinion Mechanism for Passanger Car*. India: Dayananda Sagar College Mechanical Engineering.

Tang, X., Lin, T., & Zuo, L. (2014). *Design and Optimization of a Tubular Linear Electromagnetic Vibration Energy Harvester*. *IEEE/ASME Transaction of Mechatronics*, Vol 19, No.2, Hal.615-622.

Wu, Zhifei. & Guangzhao Xu. (2020). *Modeling and Analysis of a Hydraulic Energy-Harvesting Shock Absorber*. Taiyuan: School of Mechanical and Vehicle Engineering.

Xie, L., Li, J., Li, X., Huang, L., & Cai, S. (2018). *Damping-Tunable EnergyHarvesting Vehicle Damper with Multiple Controlled Generators: Design, Modeling and Experiments*. *Mechanical Systems and Signal Processing*, Vol.99, Hal.859-872.

Yandaka, R. (2018). Pengembangan dan Analisis Karakteristik Hydro-MagnetoElectric Regenerative Shock Absorber (HMERSA) dengan Dua Generator Hidraulis Terpasang Seri. Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

Zou, Junyi et.all. (2017). *Design, Modeling, and Analysis of a Novel Hydraulic Energy-Regenerative Shock Absorber for Vehicle Suspension*. Wuhan: School of Automotive Engineering.

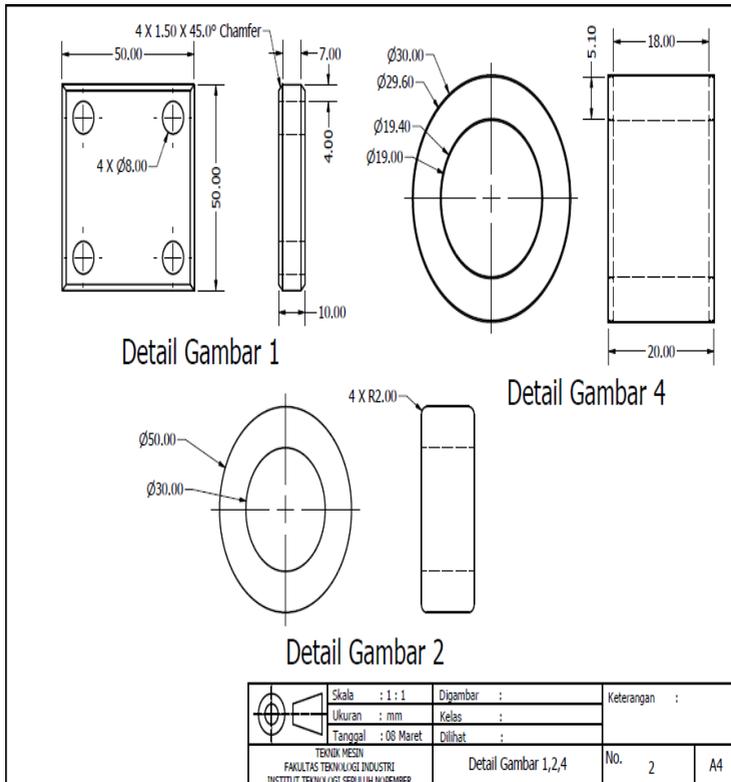
Zheng, Peng et.all. (2019). *Parameter Optimisation of Power Regeneration on the Hydraulic Electric Regenerative Shock Absorber System*. Changsa: College of Aerospace Science and Engineering.

LAMPIRAN

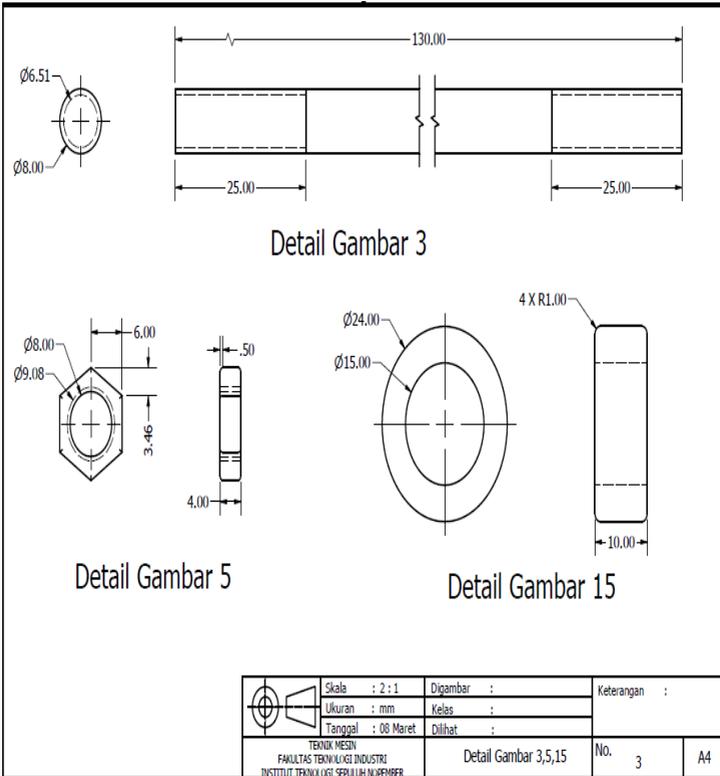
Lampiran 1

15	2	Thrust Bearing			
14	1	Ball Screw Nut Connector			
13	1	Flexible Coupling			
12	1	Ball Screw Nut			
11	1	Cover Plate middle			
10	1	Cover Plate atas			
9	1	Linear Bearing			
8	1	Generator 60 x 60 mm			
7	1	Screw			
6	1	Cover Plate bawah			
5	12	Nut M8			
4	2	Rubber Bushing			
3	4	Shaft			
2	2	Bushing Shock			
1	1	Shaft Connector			
NO.	JUMLAH	NAMA	BAHAN	NORMALISASI	KETERANGAN
Kelasiran Permukaan dalam µm		Toleransi Ukuran dalam µm			
	Skala : 1 : 3	Digambar :	PERINGATAN :		
	Satuan Ukuran : mm	Kelas :			
	Tanggal : 05 Maret	Dilhat :			
<small>TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK ILIHI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER</small>			Assembly Shock Absorber	No. 1	A4

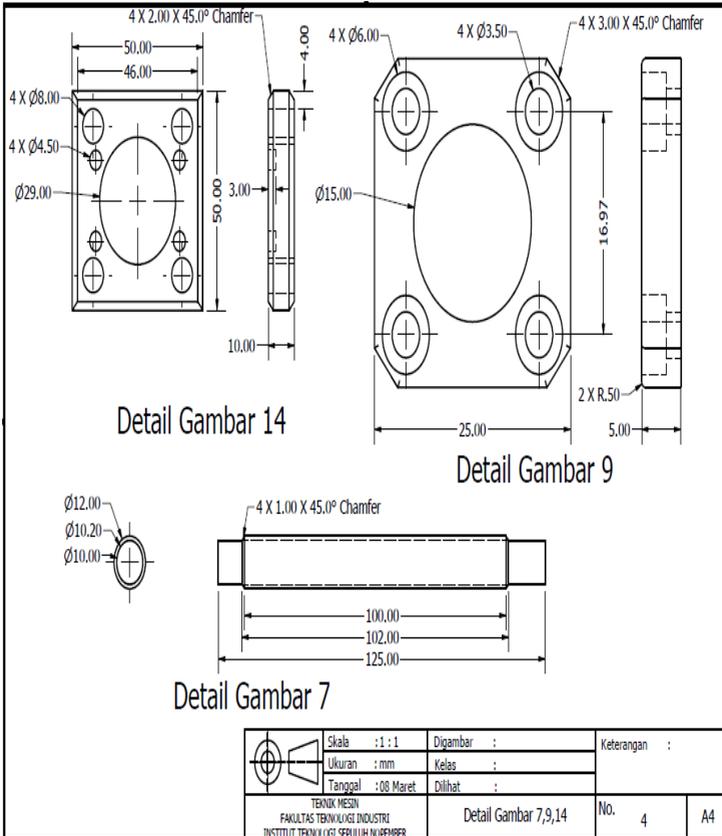
Gambar 1 Drawing Assembly BS-RESA



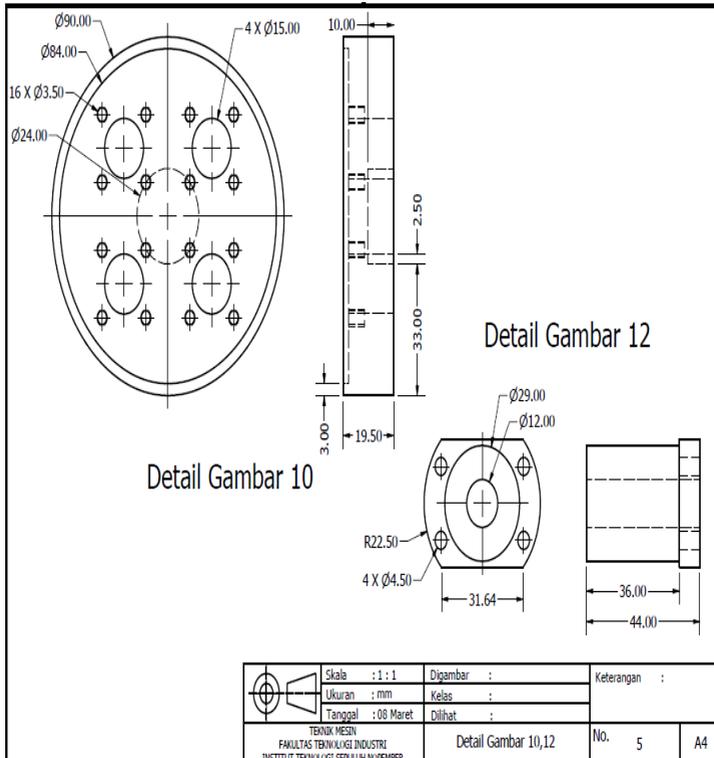
Gambar 2 Detail Gambar 1 Shaft Connector, Gambar 2 Bushing Shock, dan Gambar 4 Rubber Bushing



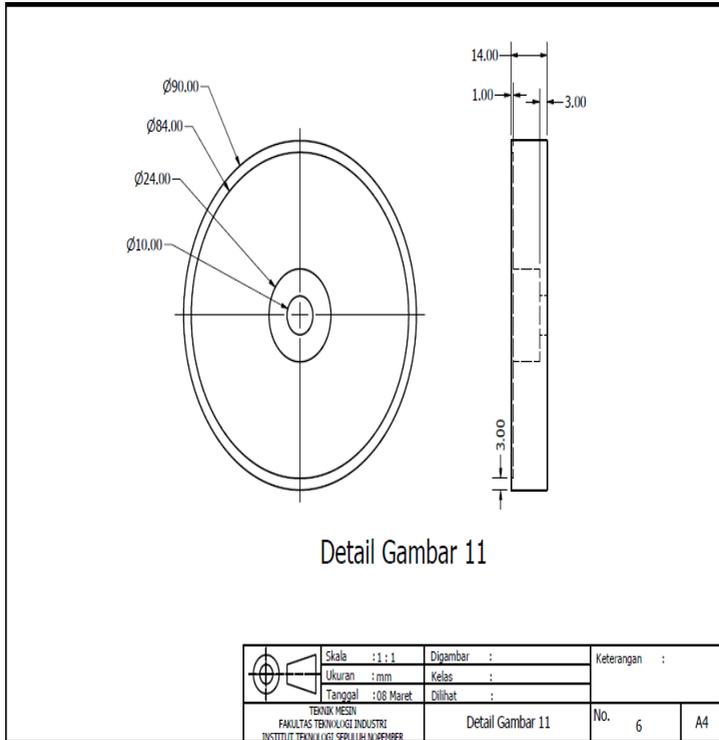
Gambar 3 Detail Gambar 3 Shaft, Gambar 5 Nut, dan Gambar 15 Thrust Bearing



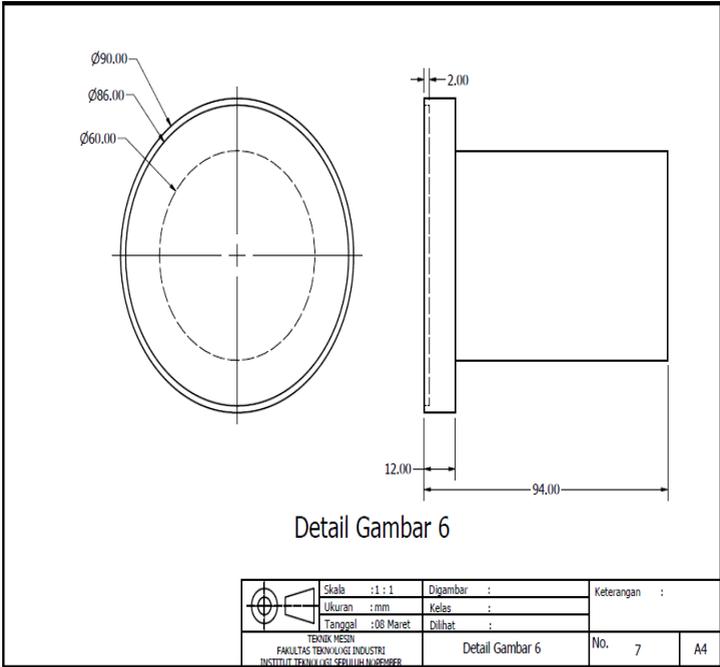
Gambar 4 Detail Gambar 7 Screw, Gambar 9 Linear Bearing, dan Gambar 14 Ball Screw Nut Connector



Gambar 5 Detail Gambar 10 Cover Plat Atas dan 12 Ball Screw Nut

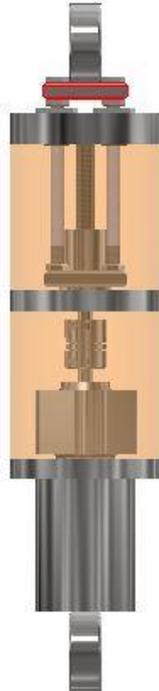


Gambar 6 Detail Gambar 11 Cover Plat Middle



Gambar 7 Detail Gambar 6 Cover Plat Bawah

Lampiran 2



Gambar 1 Tampak 3D RESA Keseluruhan



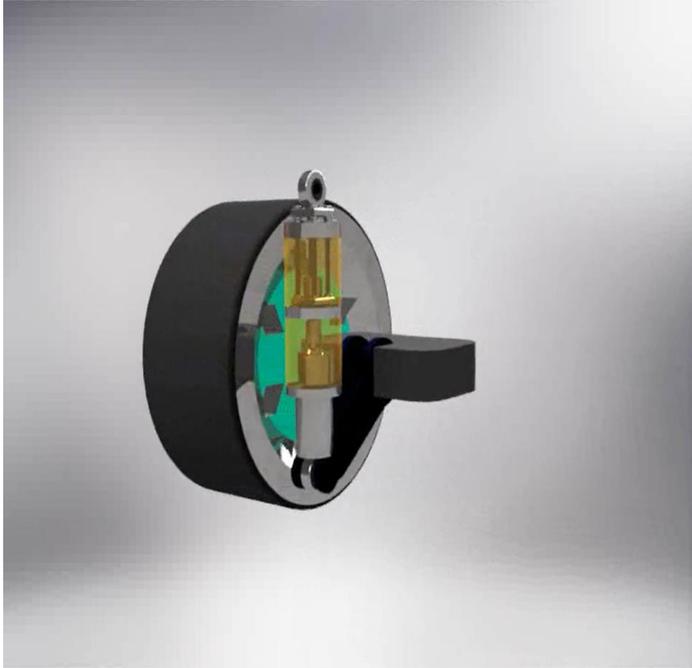
Gambar 2 Tampak *Isometric* 3D RESA



Gambar 3 Tampak 3D Depan RESA



Gambar 4 Tampak 3D Atas RESA



Gambar 5 Tampak 3D RESA Terpasang

BIODATA PENULIS

Marga Firnanda Sriminangga atau biasa dipanggil Marga lahir di Malang, 10 April 1997. Penulis telah menempuh pendidikan formal di, MIN 1 Malang pada tahun 2003-2009, MTSN 1 Malang pada tahun 2009-2012, SMA Negeri 3 Malang pada tahun 2012-2015. Setelah lulus dari SMA Negeri 3 Malang, Penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Departemen Teknik Mesin FTI-ITS Surabaya pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 0211154000020.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun non akademik selama perkuliahan. Penulis pernah menjadi asisten praktikum Laboratorium Vibrasi dan Sistem Dinamis. Selain itu, untuk mengisi kegiatan non akademik pada tahun ke-2 perkuliahan, penulis mulai mencoba menjadi wirausaha dengan menjalankan bisnis kecilnya yang bernama STARWASH bergerak dalam bidang laundry sepatu. Pada tahun tersebut, penulis juga aktif dalam kepanitiaan berbagai kegiatan seperti Mechanical City 2016, dan KMHE 2017. Pada tahun ke-5 perkuliahan, penulis fokus menjalani akademik dan penelitian mengenai *Regenerative Shock Absorber* dan masuk sebagai anggota Laboratorium Vibrasi dan Sistem Dinamis. Semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email marga15agam@gmail.com

