



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR - TM 184835

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

PRASETYA FAIZ PAMBUDI  
0211154000066

Dosen Pembimbing  
Prof. 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 RUSH**

**PRASETYA FAIZ PAMBUDI**

**0211154000066**

**Dosen Pembimbing**

**Prof. 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**

**THE DEVELOPMENT OF *REGENERATIVE SHOCK ABSORBER*  
(RESA) WITH BALL SCREW MECHANISM AND ITS  
IMPLEMENTATION ON TOYOTA RUSH**

**PRASETYA FAIZ PAMBUDI  
0211154000066**

**Academic Advisor  
Prof. 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 RUSH**

**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:**

**Prasetya Faiz Pambudi  
NRP. 0211154000066**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof.Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M. Eng ..... (Pembimbing)  
NIP. 197505111999031001
2. Dr. Wiwick Hendrowati, S.T., M.T. ..... (Penguji I)  
NIP. 197004121997032003
3. Aida Annisa Amin Daman, S.T., M.T. ..... (Penguji II)  
NIP. 198907052015042005
4. Ari Kurniawan Saputra, S.T., M.T. ..... (Penguji III)  
NIP. 198604012015041001



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

**Nama Mahasiswa : Prasetya Faiz Pambudi**  
**NRP : 0211154000066**  
**Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS**  
**Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Eng. Harus Laksana Guntur,  
S.T., M.Eng**

**ABSTRAK**

Sumber energi alternatif semakin dibutuhkan seiring dengan menipisnya ketersediaan bahan bakar fosil di alam. Salah satu yang dapat dijadikan sumber energi alternatif adalah pemanfaatan energi terbuang. Menurut Departemen Energi Amerika pada 2014, 33-40% energi pada kendaraan hilang dalam bentuk *mechanical losses*. Getaran pada suspensi kendaraan merupakan salah satu energi yang terbuang. Untuk memanfaatkan energi kinetik pada suspensi, maka diciptakan *regenerative shock absorber* yang berfungsi sebagai *energy harvester* (pemanen energi). Sistem pada *regenerative shock absorber* bekerja dengan memanfaatkan gerakan translasi naik turun pada suspensi.

Metode penelitian ini adalah eksperimental dimulai dari tahap perancangan, fabrikasi dan pengujian dari alat *Ball Screw Regenerative Shock Absorber* (BS-RESA) pada Toyota Rush. Mekanisme dari *ball screw* mampu mengubah gerak translasi naik turun pada suspensi menjadi gerak rotasi. Gerak rotasi ini nantinya akan dihubungkan dengan *shaft* generator melalui *coupling* sehingga generator berputar dan menghasilkan listrik yang dapat dipakai untuk keperluan elektrikal kendaraan. BS-RESA ini akan diuji pada Toyota Rush untuk mengetahui daya bangkitan yang dihasilkan serta bagaimana respon *body* Toyota Rush terhadap penggunaan BS-RESA. Pengujian dilakukan dengan variasi

kecepatan 10 km/jam, 20 km/jam, dan 30 km/jam ketika melewati jalan paving dan jalan aspal serta variasi kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Selain itu pengujian juga dilakukan dengan variasi nilai hambatan sebesar 15 Ohm, 20 Ohm dan 25 Ohm. Pada akhirnya nanti akan didapat respon dinamis kendaraan dan daya bangkitan BS-RESA.

Penelitian ini telah berhasil merancang, merealisasikan dan mengimplementasikan BS-RESA dengan mekanisme *coupling* untuk diuji pada kendaraan Toyota Rush. BS-RESA mampu menghasilkan RMS daya terbesar senilai 5.917 W ketika melewati jalan paving dengan kecepatan 30 km/jam dan besar hambatan 15 Ohm. Respon percepatan vertikal terbesar saat menggunakan BS-RESA terjadi pada saat melewati *speedbump* dengan kecepatan 20 km/jam dan besar hambatan 15 Ohm yaitu sebesar  $0.676 \text{ m/s}^2$  sedangkan respon terkecil didapat ketika melewati jalan aspal dengan kecepatan 10 km/jam dan besar hambatan 25 Ohm sebesar  $0,002 \text{ m/s}^2$ .

**Kata kunci:** energi alternatif, *regenerative shock absorber*, suspensi kendaraan, *ball screw*



***THE DEVELOPMENT OF REGENERATIVE SHOCK  
ABSORBER (RESA) WITH BALL SCREW  
MECHANISM AND ITS IMPLEMENTATION ON  
TOYOTA RUSH***

**Student Name : Prasetya Faiz Pambudi**  
**Student ID Number : 0211154000066**  
**Department : Mechanical Engineering**  
**Advisory Lecturer : Prof. Dr. Eng. Harus Laksana Guntur,  
S.T., M.Eng**

**ABSTRACT**

Alternative energy resources are increasingly needed along with the depletion of fossil fuels in nature. One that can be used as an alternative energy source is the use of wasted energy. According to the US Department of Energy in 2014, 33-40% of energy in vehicles are lost in the form of mechanical losses. Vibration in the vehicle suspension is one of the energy wasted. To utilize the kinetic energy in the suspension, a regenerative shock absorber is created which functions as an energy harvester. The regenerative shock absorber system works by utilizing the translation movement of the suspension, which is up and down.

This research's method is experimental starting from the designing, the fabrication and the testing stages of the Ball Screw Regenerative Shock Absorber (BS-RESA) on the Toyota Rush. The mechanism of the ball screw is able to change the up and down translational motion of the suspension into rotational motion. This rotational motion will be connected to the generator shaft through a coupling so that the generator rotates and produces electricity that can be used for the vehicle's electrical needs. This BS-RESA will be tested on the Toyota Rush to determine the generated power and how the Toyota Rush body responds to the use of BS-RESA. Tests were carried out with variations in speed of 10 km / hour, 20 km /

hour, and 30 km / hour when passing paved roads and asphalt roads as well as variations in speed of 10 km / hour, 15 km / hour, and 20 km / hour. In addition, testing was also carried out with variations in the resistance value of 15 Ohm, 20 Ohm and 25 Ohm. In the end, we will get the dynamic response of the vehicle and the generated power of BS-RESA.  $m/s^2$

This research has succeeded in designing, realizing and implementing the BS-RESA with a coupling mechanism to be tested on Toyota Rush vehicles. BS-RESA is able to produce the largest RMS power worth 5,917 W when passing paving roads with a speed of 30 km / h and 15 Ohm resistance. The largest vertical acceleration response when using BS-RESA occurs when passing speed bumps with a speed of 20 km / h and a 15 Ohm resistance, which is  $0.676 m/s^2$ , while the smallest response is obtained when passing an asphalt road with a speed of 10 km / hour and 25 Ohm resistance valued  $0.002 m/s^2$ .

**Index term:** *alternative energy, regenerative shock absorber, vehicle suspension, ball screw*

## 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 RUSH”** saat keadaan pandemi COVID-19 dalam keadaan sehat. 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, Bapak Suharno, S.Pt, Ibu Sari Suksesi, S.P. dan Adik Farras Zahy Fitriani Pramudya, yang telah memberikan doa dan dukungan tiada henti hingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini
2. Bapak Prof.Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang senantiasa 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. TIM RESA (5 Tahun), Ateng, Lek Ban, Tamara, Lukman

Yasser yang telah menjadi tim dan partner yang hebat sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan mantap.

5. Sahabat kontrakan “Star Family”, RSMario, Sutom, Reskisi, Bob Alfin, Abud, Prembil, Son, Atm, Bong, Pacul, Gowok, Jambong, Pohung dan dulur-dulur M58 yang telah menjadi keluarga dalam menghadapi dunia perkuliahan di Teknik Mesin ITS.
6. Keluarga BATMAN Banyumas ITS yang menjadi teman ngopi penulis selama menempuh perkuliahan di Surabaya.
7. Keluarga LLMF yang menjadi pemacu saya untuk cepat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. CV. Aditama Karya, Singosari, Pak Anang, Pak Koes, Pak Kunarlan, dan Pak Rohmad yang telah membantu selama proses fabrikasi RESA dalam kondisi pandemi COVID-19.
9. BCS Lawang, The One and Only Mr. Muji Pati yang telah membantu dan memberikan ide-ide dalam proses fabrikasi hingga RESA dapat terwujud dan dapat diujikan.
10. Zahnia Salsabila, yang telah menyemangati penulis dikala penulis bermalas-malasan.

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, Agustus 2020

Penulis

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN	
ABSTRAK.....	i
ABSTRACT.....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB 1 .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	3
1.3    Batasan Masalah Penelitian.....	3
1.4    Tujuan Penelitian.....	4
1.5    Manfaat Penelitian .....	4
BAB 2 .....	5
TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 <i>Regenerative Shock Absorber</i> .....	5
2.2 <i>Hydraulic Energy-Regenerative Shock Absorber</i> (HERSA) .....	7
2.3 <i>Leg-Mechanism Regenerative Shock Absorber</i> .....	9
2.4 <i>Rack Pinion Regenerative Shock Absorber</i> .....	10
2.5 <i>Ball Screw Regenerative Shock Absorber</i> .....	13
2.6    Pengaruh Percepatan Kendaraan terhadap Kenyamanan Kendaraan.....	17

2.7	Kopling .....	19
2.8	<i>Bearing</i> .....	19
2.9	<i>Ball Screw</i> .....	20
2.10	Generator Listrik .....	21
BAB 3 .....		25
METODOLOGI PENELITIAN .....		25
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	25
3.2	Penjelasan Tahap Penelitian.....	26
3.2.1	Studi Literatur.....	27
3.2.2	Identifikasi Masalah.....	27
3.2.3	Penentuan Parameter.....	27
3.2.4	Persamaan Matematis dan Penurunan Rumus .....	31
3.2.5	Rancang Bangun RESA .....	34
3.2.6	Tahap Eksperimen dan Pengambilan Data.....	36
3.2.7	Peralatan Pengambilan Data.....	41
3.2.8	Instalasi Peralatan Pengambilan Data .....	43
BAB 4 .....		45
PEMBAHASAN.....		45
4.1	Perancangan dan Pengembangan Prototip <i>Ball Screw</i> RESA 45	
4.2	Perbandingan BS-RESA dengan RSA Terdahulu .....	50
4.3	Pengujian Sistem BS-RESA pada Toyota Rush.....	53
4.3.1	Pemasangan Sistem BS-RESA pada Kendaraan Angkut	55
4.3.2	Instalasi Peralatan Pengambilan Data .....	57
4.3.3	Pengambilan Data.....	59



4.4	Analisa Hasil Pengambilan Data .....	61
4.4.1	Analisa Tegangan Bangkitan dan Daya yang Dihasilkan BS-RESA .....	62
4.4.2	Analisa Respon Percepatan Vertikal Kendaraan Antara <i>Conventional Shock Absorber</i> dan BS-RESA .....	107
BAB 5	.....	133
KESIMPULAN DAN SARAN	.....	133
5.1	Kesimpulan .....	133
5.2	Saran .....	134
DAFTAR PUSTAKA	.....	135
LAMPIRAN 1	.....	137
BIODATA PENULIS	.....	146

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b>	(a). Linier Elektromagnetik Absorber, (b). Rotational Absorber. (R.A. Oprea, 2012).....	6
<b>Gambar 2.2</b>	(a) Struktur dan skema kerja HERSA. (b) Diagram ekuivalen HERSA. (Zou dkk, 2017).....	7
<b>Gambar 2.3</b>	Hasil Simulasi Optimalisasi HERSA. (Zou dkk, 2017).....	8
<b>Gambar 2.4</b>	Screw Linkage Mechanism Regenerative Shock Absorber (Reza Sabzehgar, 2014).....	9
<b>Gambar 2.5</b>	Skema Alat Screw Linkage Mechanism Regenerative Shock Absorber (Reza Sabzehgar, 2014) .....	10
<b>Gambar 2.6</b>	Skema rack and pinion RSA (Dhalwar dan Jadhav, 2016).....	11
<b>Gambar 2.7</b>	Assembly komponen rack and pinion RSA (Dhalwar dan Jadhav, 2016) .....	11
<b>Gambar 2.8</b>	Assembly pengujian rack and pinion RSA (Dhalwar dan Jadhav, 2016) .....	12
<b>Gambar 2.9</b>	Setup pengujian rack and pinion RSA (Dhalwar dan Jadhav, 2016).....	13
<b>Gambar 2.10</b>	Getaran Suspensi Bolak-Balik untuk Memutar Satu Arah Generator dengan MMR Berbasis <i>Ball Screw</i> (Liu, 2017).....	14
<b>Gambar 2.11</b>	Skema Alat <i>Ball-Screw Regenerative Shock Absorber</i> (Liu, 2017).....	15
<b>Gambar 2.12</b>	Daya Bangkitan dengan Eksitasi Frekuensi 4 Hz (Liu, 2017) .....	16
<b>Gambar 2.13</b>	Grafik Perbandingan Percepatan menggunakan BSRSA dan Konvensional <i>Shock Absorber</i> (Liu, 2017) .....	17
<b>Gambar 2.14</b>	Desain Kopleng (Google Image) .....	19
<b>Gambar 2.15</b>	(a) Linear Bearing (b) Ball Bearing (Google Image) .....	20
<b>Gambar 2.16</b>	<i>Ball Screw</i> (THK <i>Ball Screw</i> Katalog) .....	21

<b>Gambar 2.17</b>	Skema RL Circuit untuk Generator (Farisah, 2015) .....	22
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Tugas Akhir .....	26
<b>Gambar 3.2</b>	Rancangan Parameter BS-RESA.....	29
<b>Gambar 3.3</b>	<i>Shock Absorber</i> Konvensional Toyota Rush.....	29
<b>Gambar 3.4</b>	Kendaraan Uji .....	31
<b>Gambar 3.5</b>	Arah torsi dan <i>axial force Ball Screw</i> .....	32
<b>Gambar 3.6</b>	Gambar 2D BS-RESA .....	35
<b>Gambar 3.7</b>	Gambar 3D BS-RESA .....	36
<b>Gambar 3.8</b>	Diagram Alir Pengujian <i>Shock Absorber</i> Konvensional .....	38
<b>Gambar 3.9</b>	Diagram Alir Eksperimen BS-RESA .....	39
<b>Gambar 3.10</b>	Lokasi Pemasangan RESA pada Toyota Rush.....	40
<b>Gambar 3.11</b>	Lokasi dan Sketsa <i>Speedbump</i> dan <i>Speedtrap</i> .....	40
<b>Gambar 3.12</b>	<i>Oscilloscope</i> Tektronix TBS1104 .....	41
<b>Gambar 3.13</b>	<i>Converter</i> tegangan DC ke AC .....	41
<b>Gambar 3.14</b>	<i>Inverter</i> .....	42
<b>Gambar 3.15</b>	<i>Acclerometer</i> .....	42
<b>Gambar 3.16</b>	<i>Probe</i> Tegangan .....	43
<b>Gambar 3.17</b>	Skema Instalasi Peralatan Pengambilan Data .....	43
<b>Gambar 4.1</b>	Komponen-komponen BS-RESA (a) Generator (b) <i>Ball Screw</i> (c) <i>Linear Bearing</i> (d) <i>Thrust Bearing</i> (e) <i>Coupling</i> .....	46
<b>Gambar 4.2</b>	Perakitan <i>Ball Screw</i> dan <i>Nut</i> .....	47
<b>Gambar 4.3</b>	Perakitan <i>Shaft</i> dan Dudukan Atas .....	48
<b>Gambar 4.4</b>	Perakitan Bagian Bawah BS-RESA .....	49
<b>Gambar 4.5</b>	Tampilan BS-RESA setelah <i>Finishing</i> .....	50
<b>Gambar 4.6</b>	Pengukuran Massa BS-RESA.....	51
<b>Gambar 4.7</b>	Perbandingan BS-RESA dengan BSRSA Spur Gear .....	52
<b>Gambar 4.8</b>	Perbandingan BS-RESA dengan HMERSA .....	53
<b>Gambar 4.9</b>	Komponen pada BS-RESA.....	54
<b>Gambar 4.10</b>	Sudut Kemiringan Pemasangan <i>Shock Absorber</i> .....	56
<b>Gambar 4.11</b>	Pemasangan RESA Tampak Belakang dan Tampak Samping.....	56

<b>Gambar 4.12</b>	Set-up Besar Hambatan .....	58
<b>Gambar 4.13</b>	Instalasi Peralatan Pengambilan Data.....	59
<b>Gambar 4.14</b>	Lokasi Pengambilan Data (a) <i>Speedtrap</i> (b) Paving dan <i>Speedbump</i> (c) Jalan Aspal .....	61
<b>Gambar 4.15</b>	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui Jalan Aspal dengan Hambatan 15 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h .....	64
<b>Gambar 4.16</b>	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui Jalan Paving dengan Hambatan 15 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h .....	67
<b>Gambar 4.17</b>	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui <i>Speedtrap</i> dengan Hambatan 15 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h .....	70
<b>Gambar 4.18</b>	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui <i>Speedbump</i> dengan Hambatan 15 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h .....	73
<b>Gambar 4.19</b>	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui Jalan Aspal dengan Hambatan 20 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h .....	76
<b>Gambar 4.20</b>	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui Jalan Paving dengan Hambatan 20 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h .....	79
<b>Gambar 4.21</b>	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui <i>Speedtrap</i> dengan Hambatan 20 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h .....	82
<b>Gambar 4.22</b>	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui <i>Speedbump</i> dengan Hambatan 20 Ohm	

	Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h .....	85
<b>Gambar 4.23</b>	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui Jalan Aspal dengan Hambatan 25 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h .....	88
<b>Gambar 4.24</b>	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui Jalan Paving dengan Hambatan 25 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h .....	91
<b>Gambar 4.25</b>	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui <i>Speedtrap</i> dengan Hambatan 25 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h .....	94
<b>Gambar 4.26</b>	Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui <i>Speedbump</i> dengan Hambatan 25 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h .....	97
<b>Gambar 4.27</b>	Diagram Batang RMS Tegangan saat Melewati (a) Paving dan Aspal, (c) Speedbump dan Speedtrap. Diagram Batang RMS Daya saat Melewati (b) Aspal dan Paving, (d) Speedbump dan Speedtrap dengan hambatan 15 Ohm.....	102
<b>Gambar 4.28</b>	Diagram Batang RMS Tegangan saat Melewati (a) Paving dan Aspal, (c) Speedbump dan Speedtrap. Diagram Batang RMS Daya saat Melewati (b) Aspal dan Paving, (d) Speedbump dan Speedtrap dengan hambatan 20 Ohm.....	104
<b>Gambar 4.29</b>	Diagram Batang RMS Tegangan saat Melewati (a) Paving dan Aspal, (c) Speedbump dan Speedtrap. Diagram Batang RMS Daya saat Melewati (b) Aspal dan Paving, (d) Speedbump dan Speedtrap dengan hambatan 25 Ohm.....	106
<b>Gambar 4.30</b>	Percepatan Vertikal Kendaraan di Jalan Aspal pada Kecepatan 20 km/h .....	109

<b>Gambar 4.31</b>	Percepatan Vertikal Kendaraan di Jalan Aspal pada Kecepatan 30 km/h .....	110
<b>Gambar 4.32</b>	Percepatan Vertikal Kendaraan di Jalan Paving pada Kecepatan 10 km/h .....	112
<b>Gambar 4.33</b>	Percepatan Vertikal Kendaraan di Jalan Paving pada Kecepatan 20 km/h .....	113
<b>Gambar 4.34</b>	Percepatan Vertikal Kendaraan di Jalan Paving pada Kecepatan 30 km/h .....	114
<b>Gambar 4.35</b>	Percepatan Vertikal Kendaraan di <i>Speedtrap</i> pada Kecepatan 10 km/h .....	116
<b>Gambar 4.36</b>	Percepatan Vertikal Kendaraan di <i>Speedtrap</i> pada Kecepatan 15 km/h .....	117
<b>Gambar 4.37</b>	Percepatan Vertikal Kendaraan di <i>Speedtrap</i> pada Kecepatan 20 km/h .....	118
<b>Gambar 4.38</b>	Percepatan Vertikal Kendaraan di <i>Speedbump</i> pada Kecepatan 10 km/h .....	120
<b>Gambar 4.39</b>	Percepatan Vertikal Kendaraan di <i>Speedbump</i> pada Kecepatan 15 km/h .....	121
<b>Gambar 4.40</b>	Percepatan Vertikal Kendaraan di <i>Speedbump</i> pada Kecepatan 20 km/h .....	122
<b>Gambar 4.41</b>	Diagram Batang RMS Respon Percepatan Kendaraan saat Melewati (a) Jalan Aspal, (b) Jalan Paving, (c) <i>Speedtrap</i> , dan (d) <i>Speedbump</i> .....	126
<b>Gambar 4.42</b>	Grafik Frekuensi Natural Toyota Rush.....	128
<b>Gambar 4.43</b>	Pemodelan Sistem Dinamis dengan <i>Damped Dynamic Vibration Absorber</i> (Rao, 2011) .....	129

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Nilai percepatan yang dapat diterima untuk kenyamanan pengemudi.....	18
<b>Tabel 3.1</b> Tabel Parameter Regenerative Shock Absorber (BS-RESA) .....	28
<b>Tabel 3.2</b> Tabel Parameter <i>shock absorber Toyota Rush</i> .....	30
<b>Tabel 3.3</b> Tabel Parameter Generator.....	30
<b>Tabel 3.4</b> Tabel Parameter Kendaraan Uji.....	31
<b>Tabel 4.1</b> RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Jalan Paving dan Jalan Aspal dengan Hambatan 15 Ohm....	99
<b>Tabel 4.2</b> RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Speedbump dan Speedtrap dengan Hambatan 15 Ohm.....	99
<b>Tabel 4.3</b> RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Jalan Paving dan Jalan Aspal dengan Hambatan 20 Ohm....	99
<b>Tabel 4.4</b> RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Speedbump dan Speedtrap dengan Hambatan 20 Ohm.....	100
<b>Tabel 4.5</b> RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Jalan Paving dan Jalan Aspal dengan Hambatan 25 Ohm..	100
<b>Tabel 4.6</b> RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Speedbump dan Speedtrap dengan Hambatan 25 Ohm.....	100
<b>Tabel 4.7</b> RMS Respon Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melalui Jalan Aspal dan Jalan Paving .....	124
<b>Tabel 4.8</b> RMS Respon Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melalui Speedtrap dan Speedbump .....	124

*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 1

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

Kendaraan bermotor masih menjadi primadona bagi sebagian besar masyarakat Indonesia dalam menjalankan aktivitasnya. Hal ini dibuktikan dengan jumlah kendaraan bermotor pada tahun 2015 yang menyentuh angka 121.394.185 dimana jumlah ini meningkat 7.184.925 dari tahun 2014 (BPS, 2017). Karena laju pertumbuhan kendaraan bermotor tadi, penggunaan bahan bakar fosil di Indonesia menjadi semakin meningkat. Minyak bumi yang merupakan bahan utama dalam pembuatan bahan bakar semakin menipis ketersediaannya dikarenakan semakin bertambahnya kebutuhan manusia. Maka dari itu, penelitian ini dilaksanakan untuk menemukan sumber energi alternatif yang dapat memenuhi kebutuhan energi khususnya di bidang otomotif. Menurut *The Official U.S. Government Source For Fuel Economy Information*, 33-40% energi pada kendaraan hilang dalam bentuk *mechanical losses*. Getaran pada suspensi mobil adalah salah satu contoh energi yang terbuang. Berangkat dari permasalahan tersebut, maka dikembangkan suatu sistem yaitu RSA (*Regenerative Shock Absorber*) yang mampu menghasilkan energi listrik bangkitan dengan memanfaatkan getaran pada suspensi.

Sampai saat ini mekanisme dan desain untuk RSA masih terus dikembangkan melalui penelitian dengan tujuan mendapat performa dan hasil yang optimal dari RSA itu sendiri. Salah satu yang menginisiasi eksperimen tentang RSA adalah Anderson dkk (2010) yang berhasil mengembangkan *shock absorber* konvensional menjadi *regenerative shock absorber*. Energi getaran yang terbuang sia-sia pada *shock absorber* konvensional

dimanfaatkan menjadi energi listrik. Dalam penelitiannya, RSA diuji pada truk dan dapat menghasilkan sekitar 1 kW pada jalan biasa. Rancang bangun RSA juga dilakukan oleh Kurniawan dan Harus L.G. (2012) yang menciptakan model RSA 1:5 dengan dimensi panjang 25 cm, lebar 15 cm dan tinggi 40 cm. RSA ini diuji pada *suspension test rig* dan menghasilkan daya sebesar 4,365W.

Seiring berjalannya waktu banyak metode yang dikembangkan pada RSA, salah satunya yaitu penelitian dari Liu dkk (2017) mengenai *energy harvesting shock absorber* menggunakan mekanisme *ballscrew* dan *one-way clutch* sebagai pengganti suspensi konvensional dimana pada *energy-harvesting shock absorber* ini suspensi dapat bekerja sebagai peredam sekaligus pemanen energi untuk keperluan kendaraan. Liu dkk menyatakan bahwa ketika kendaraan berjalan pada jalanan beraspal dengan kecepatan 40 mph, *shock absorber* jenis ini dapat mengurangi nilai rata-rata percepatan sasis kendaraan sebesar 11.12% dibandingkan dengan *oil shock absorber* dan secara bersamaan dapat memanen daya rata-rata sebesar 13.3 W dalam waktu 8 detik. Mekanisme *ballscrew* juga digunakan oleh Dhion (2019) dengan memanfaatkan *bevel gear* sebagai pengubah arah dua putar menjadi satu arah putar generator. RSA diuji pada kendaraan *pickup* dengan 4 tipe jalan yang berbeda yaitu *speedbump*, *speed trap*, jalan aspal dan jalan paving. Daya maksimum yang mampu dihasilkan RSA ini sebesar 3,82 W pada kecepatan 15 km/h.

Pada penelitian ini, akan dikembangkan prototip *Ball Screw Regenerative Shock absorber* (BS-RESA) untuk kendaraan Toyota Rush. Pengembangan yang dilakukan adalah dengan menghilangkan mekanisme gear dan memperbesar *leadscrew*. Prototip ini nantinya akan diuji dengan dipasang pada mobil

Toyota Rush. Hasil dari pengujian didapat data daya bangkitan maksimum serta data pengaruh variasi kecepatan terhadap percepatan vertikal kendaraan saat dipasang BS-RESA dibanding dengan *shock absorber* konvensional.

## 1.2 Rumusan Masalah

Beberapa permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

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

## 1.3 Batasan Masalah Penelitian

Batasan masalah ditentukan agar pembahasan penelitian yang akan dilakukan nanti tidak melebar dan melakukan pembahasan diluar konteks yang telah ditentukan, adapun batasan masalah tersebut adalah:

1. Penelitian ini berfokus pada rancang bangun dan eksperimen prototip BS-RESA dengan mekanisme *ball screw*.
2. Material prototip *ball screw* RESA dianggap kuat.
3. Parameter prototip *ball screw* RESA standar pabrikan sesuai dengan yang tertulis pada spesifikasi dan jurnal.
4. Konvensional *shock absorber* pada Toyota Rush berfungsi dengan baik.
5. Respon dinamis yang dianalisa pada Toyota Rush adalah percepatan vertikal kendaraan.

6. Sistem suspensi mobil yang digunakan masih standar pabrikan.
7. Tidak membahas mengenai RL *circuit* generator AC 3 Fasa

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditetapkan, maka tujuan penelitian TA ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan merealisasikan model *Ball Screw Regenerative Shock Absorber* (BS-RESA) model *ball screw* yang diaplikasikan pada Toyota Rush.
2. Menganalisa respon dinamis dari kendaraan Toyota Rush yang telah dipasang BS-RESA, lalu dibandingkan dengan respon dinamis pada saat menggunakan *shock absorber* konvensional.
3. Mendapatkan karakteristik energi bangkitan yang dihasilkan BS-RESA dengan variasi kecepatan.
4. Mendapatkan karakteristik efek redaman pada BS-RESA dengan variasi hambatan 15 ohm, 20 ohm dan 25 ohm.

#### **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 2

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 *Regenerative Shock Absorber*

Peredam kejut (*Shock Absorber*), paralel dengan pegas suspensi, telah banyak digunakan untuk mengurangi getaran dengan menghilangkan energi getaran menjadi panas yang terbuang. Untuk mencapai kualitas berkendara yang lebih baik dan penanganan jalan, suspensi aktif telah dieksplorasi oleh banyak peneliti. Namun, itu membutuhkan banyak energi dan implementasinya sangat sempit. Karenanya, suspensi regeneratif didesain untuk memanen energi dari getaran suspensi sambil mengurangi getaran dari pegas. *Regenerative Shock Absorber* atau yang biasa dikenal dengan RSA telah banyak mendapat perhatian dan dikembangkan dalam bidang penelitian. *Regenerative Shock Absorber* (RSA) merupakan mekanisme *Vibration Energy Harvesting* (VEH) dimana dihasilkan listrik akibat gerak relatif suspensi dengan bodi kendaraan. *Vibration Energy Harvesting* (VEH) adalah alat pemanen energi yang memanfaatkan getaran pada kendaraan terutama di sistem suspensi.

Terdapat dua metode *regenerative shock absorber* seperti yang terlihat pada gambar 2.1 yaitu *linier electromagnetic absorber* dan *rotational absorber*. Metode *linier electromagnetic absorber* mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Energi dapat dihasilkan dari suspensi kendaraan oleh penggunaan kembali atau penyimpanan energi osilasi kendaraan. Jika digunakan sebagai peredam kejut, gerakan relatif antara magnet dan rakitan koil menghasilkan daya listrik. 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. Tegangan ini kemudian diperbaiki dan dapat memasok baterai atau perangkat listrik lain. (R.A. Oprea, 2012)



**Gambar 2.1** (a). Linier Elektromagnetik Absorber, (b). Rotational Absorber. (R.A. Oprea, 2012)

Sedangkan *rotational absorber* menggunakan gerak linier yang akan diubah menjadi gerak rotasi dengan roda gigi. Kemudian roda gigi tersebut digunakan untuk memutar generator yang telah di hubungan dengan satu poros. Generator akan menghasilkan energi yang nantinya akan di simpan guna keperluan kendaraan. Sehingga komponen utama *rotational absorber* adalah roda gigi dan generator. Pada RSA model rotasi ini dibagi menjadi empat macam diantaranya adalah sebagai berikut :

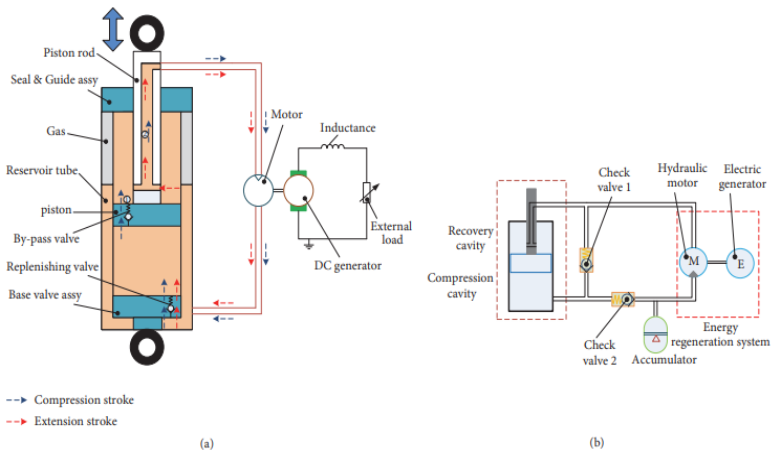
1. *Rack pinion*
2. *Hydraulic*
3. *Leg-mechanism*
4. *Ball screw*



## 2.2 *Hydraulic Energy-Regenerative Shock Absorber (HERSA)*

### *Hydraulic Energy-Regenerative Shock Absorber*

dikembangkan pada suspensi kendaraan untuk memanfaatkan energi getaran yang terdisipasi pada suspensi konvensional. Penelitian HERSA ini dilakukan oleh Junyi Zou dkk pada tahun 2017. Gerakan bolak-balik silinder dimanfaatkan dengan sirkuit hidraulik yang dirancang sehingga aliran cairan dari suspensi hidraulik menjadi searah dengan tujuan menggerakkan motor hidraulik dan generator untuk menghasilkan daya. (Zou dkk, 2017)

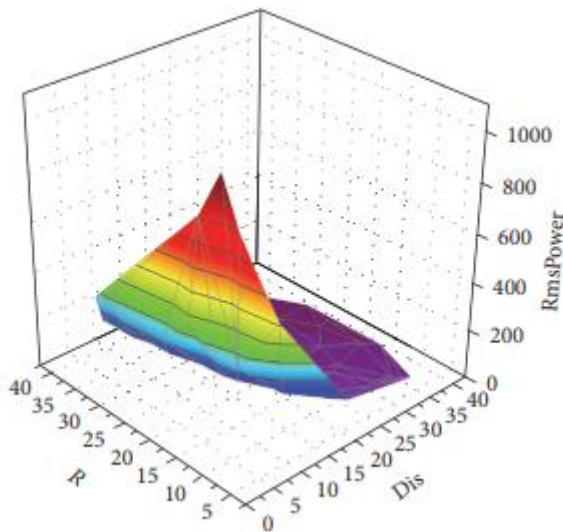


**Gambar 2.2** (a) Struktur dan skema kerja HERSA. (b) Diagram ekuivalen HERSA. (Zou dkk, 2017)

Seperti yang terlihat pada gambar 2.2, struktur HERSA mengandung tiga komponen: bagian mekanis yang terdiri dari sebuah silinder dan bagian batang piston; bagian penyearah hidraulik yang terdiri akumulator, motor hidraulik dan saluran pipa; bagian pengatur energi yang terdiri dari generator dan pengisian daya sirkuit termasuk kapasitansi, induktansi, dan beban eksternal.

Piston dalam silinder dibedakan dari tradisional shock absorber, yaitu dengan membuat batang piston berlubang sehingga cairan dapat mengalir ke bagian eksternal.

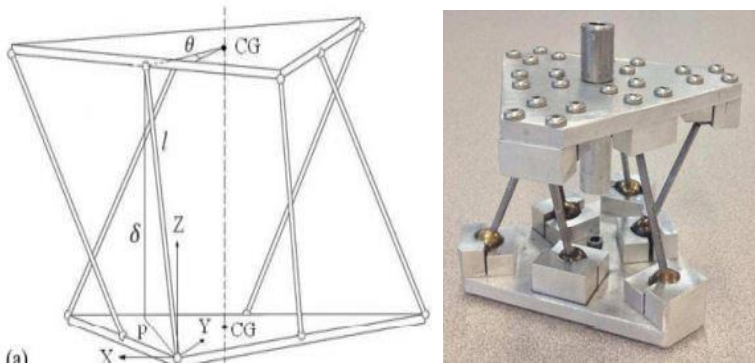
Cara kerja sistem diilustrasikan seperti pada gambar 2.2. Turbin dipaksa untuk berputar searah jarum jam. Putaran tersebut diakibatkan adanya gaya dorongan oli/fluida dari naik turunnya oli dari piston peredam suspensi. *Prototipe* menggunakan reservoir oli agar penyaluran udara pada turbin tidak terhambat oleh fluida yang tersisa pada turbin. Jenis fluida yang digunakan adalah minyak rem. *Check valve* berfungsi untuk membuat aliran tetap mendorong turbin berputar searah. Hasil simulasi HERSA sendiri didapat data RMS maksimal 107,94 W pada *displacement* 14 dan *external loads* 18 seperti yang tertera di gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Hasil simulasi optimalisasi HERSA. (Zou dkk, 2017)

### 2.3 *Leg-Mechanism Regenerative Shock Absorber*

Penelitian ini diusulkan oleh Sabzehgar (5 Linkage RSA) mengenai pengembangan *shock absorber* pada sistem suspensi mobil menggunakan *screw linkage mechanism*. Energi yang dapat dikonversi dengan *shock absorber* jenis ini diklaim memiliki efisiensi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan *shock absorber* jenis lain seperti *ball-screw*, *rack-pinion*, dan jenis *linear mechanism* karena desainnya yang simple namun dapat mengkonversi gerakan suspensi dengan sangat baik. Skema RSA ini dapat dilihat pada gambar 2.4 dan gambar 2.5.

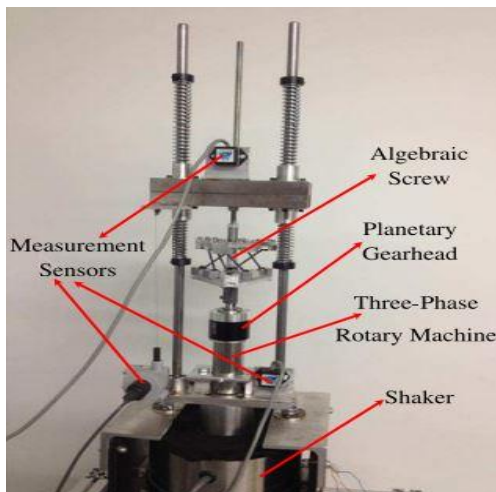


**Gambar 2.4** Screw Linkage Mechanism Regenerative Shock Absorber (Reza Sabzehgar, 2014)

Komponen-komponen yang digunakan pada penelitian ini adalah RSA yang terdiri dari *Algebraic Screw*, *planetary gearhead*, dan *three-phase rotary machine*. Prinsip kerjanya yaitu dengan mengubah gerakan translasi yang diakibatkan oleh profil jalan menjadi gerakan rotasi. Ditinjau dari bangkitan energinya, *planetary gearhead* meningkatkan putaran amplitudo sehingga menghasilkan tegangan tinggi pada output generator yang kemudian akan dikonversi menjadi energi listrik. Kemudian jika

ditinjau dari redamannya, mesin rotasi dihubungkan pada *charging circuit* memberikan redaman rotasi yang kemudian dikonversi oleh *screw linkage mechanism* menjadi redaman linear.

Dari penelitian ini, didapatkan hasil dengan *Rotary Machine* yang dihubungkan dengan *Algebraic Screw* dan *Planetary Gearhead* dapat menciptakan *mechanical damping* yang cukup besar. (Reza Sabzehgar, 2014)

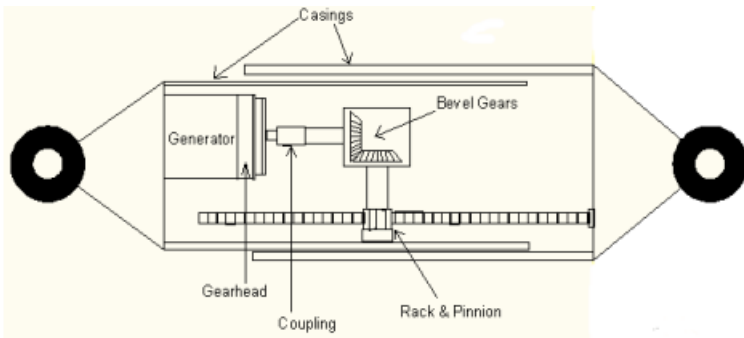


**Gambar 2.5** Skema Alat Screw Linkage Mechanism Regenerative Shock Absorber (Reza Sabzehgar, 2014)

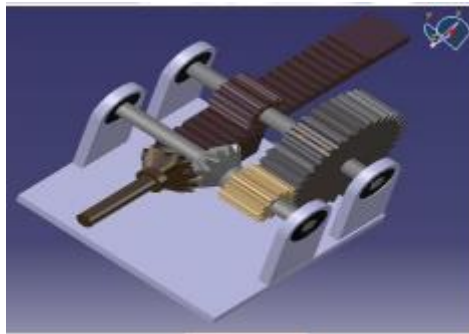
#### **2.4 Rack Pinion Regenerative Shock Absorber**

Pada tahun 2016, Dhalwar dan Jadhav menciptakan *energy-harvesting shock absorber* menggunakan mekanisme *rack pinion* dan roda gigi yang dirancang seperti gambar 2.6 dan gambar 2.7. Sistem ini dapat digunakan secara efektif pada kendaraan sebagai pembangkit listrik. *Energy-harvesting* ini memanfaatkan gerak relatif naik-turun suspensi yang ditangkap oleh sebuah alat

terpisah dan dikonversi menjadi energi listrik untuk menggantikan alternator.



**Gambar 2.6** Skema rack and pinion RSA (Dhalwar dan Jadhav, 2016)



**Gambar 2.7** Assembly komponen rack and pinion RSA (Dhalwar dan Jadhav, 2016)

Ketika kendaraan melewati *speed breakers*, hal ini berpengaruh kepada peningkatan energi kinetik pada *shock absorber*. Energi kinetik ini bisa dipanen dengan menggunakan susunan *rack and pinion* dalam sistem suspensi regeneratif. Dalam sistem ini, momen linier *rack* diperoleh karena kompresi dan ekspansi pegas suspensi. Poros terhubung ke gigi yang digerakkan

dengan mekanisme tipe *ratchet-wheel*. Ini menghasilkan rotasi poros roda gigi yang digerakkan dengan pegas recoil. Keluaran dari ini poros digabungkan ke dinamo (generator) untuk mengubah energi rotasi menjadi listrik dengan bantuan bevel gears.



**Gambar 2.8** Assembly pengujian rack and pinion RSA (*Dhalwar dan Jadhav, 2016*)



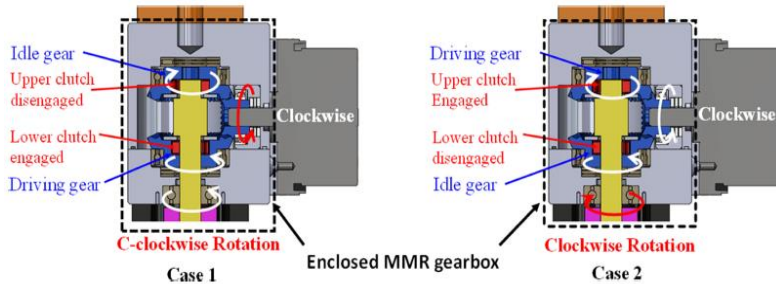
**Gambar 2.9** Setup *pengujian rack and pinion RSA* (Dhalwar dan Jadhav, 2016)

Dari penelitian yang *setup* pengujiannya seperti gambar 2.9, Dhalwar dan Jadhav menyimpulkan bahwa dengan menggunakan *Rack and Pinion RSA*, Pada 100 rpm motor 4,01 V tegangan & daya 0,6533A dihasilkan. Dengan menambah rpm motor menggunakan dimmer ada perubahan output. Pada 120 rpm ada 4,44 V & 0,716 A saat ini. Tetapi rpm motor harus dibatasi di bawah ini 250, karena di atas sistem rpm ini akan mendapatkan getaran ekstra saat pengujian.

## 2.5 ***Ball Screw Regenerative Shock Absorber***

Penelitian oleh Liu mengenai *energy-harvesting shock absorber* menggunakan mekanisme *ball-screw* dan *one-way clutch* telah dilakukan sebagai pengganti suspensi konvensional dimana suspensi pada *energy-harvesting shock absorber* ini dapat bekerja sebagai peredam sekaligus pemanen energi untuk keperluan kendaraan. Sehingga, *shock absorber* memiliki potensi untuk

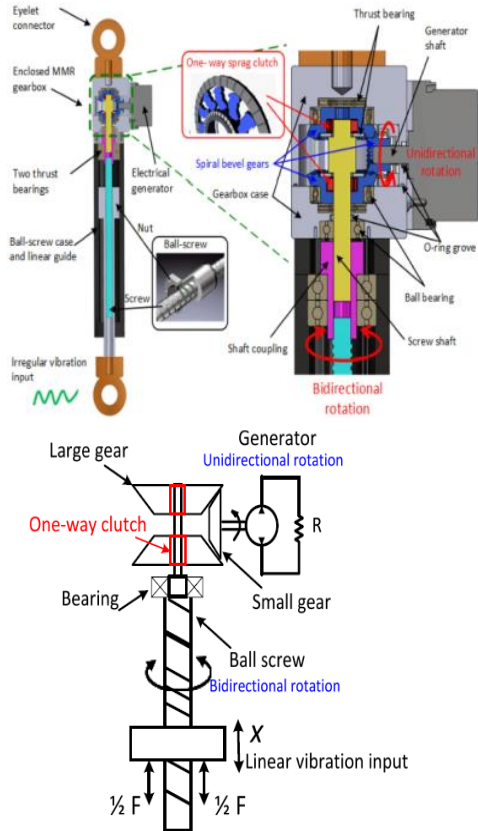
meningkatkan efisiensi bahan bakar melalui pemanenan energi kinetik dan mencapai peningkatan kinerja yang tinggi.



**Gambar 2.10** Getaran Suspensi Bolak-Balik untuk Memutar Satu Arah Generator dengan MMR Berbasis *Ball Screw* (Liu, 2017)

Cara kerja sistem ini dapat dilihat pada gambar 2.10, untuk *case 1*, ketika poros *screw* berputar berlawanan arah jarum jam maka kopling bawah terlibat pada poros *screw* dan gigi bawah menjadi gigi penggerak untuk menggerakkan generator dan berputar searah jarum jam. Selama putaran ini, kopling atas tidak mencekam poros *screw* sehingga gigi atas berputar bebas. Untuk *case 2*, putaran searah jarum jam dari poros *screw* mengakibatkan gigi atas sebagai gigi penggerak dan gigi bawah berputar bebas. Dengan cara ini, generator selalu berputar di satu arah.

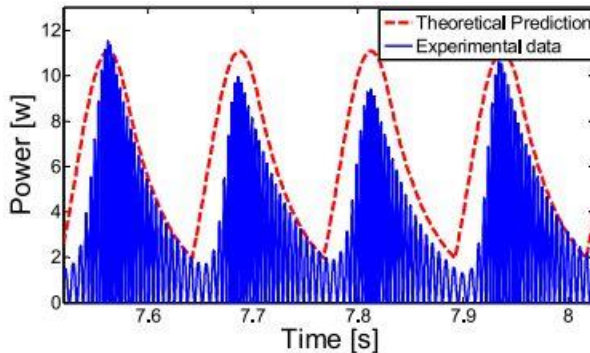




**Gambar 2.11** Skema Alat *Ball-Screw Regenerative Shock Absorber* (Liu, 2017)

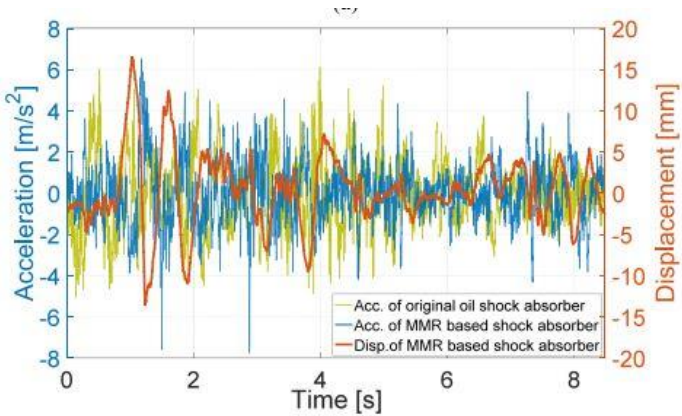
Tantangan dalam memanen energi dari getaran bolak-balik yang dihasilkan suspensi telah diusung dalam penelitian ini dengan cara menyearahkan gerak mekanis melalui desain sesuai gambar, dimana getaran bolak-balik akan diubah menjadi gerak rotasi yang searah dengan putaran generator. Sebagai hasilnya, *shock absorber* jenis ini dapat memanen energi dengan tingkat efisiensi tinggi dan

kecepatan putar generatornya yang relatif stabil selama getaran terjadi secara tidak teratur. Selain itu juga dapat meningkatkan keandalan sistem dengan cara mengurangi gaya *impact* pada transmisi roda gigi. *Backlash* pun berkurang secara signifikan berkat penggunaan *ball-screw* sehingga dapat meningkatkan ketahanan gear dan efisiensi dalam mentransmisikan energi.



**Gambar 2.12** Daya Bangkitan dengan Eksitasi Frekuensi 4 Hz  
(Liu, 2017)

Pada gambar 2.12 merupakan grafik daya bangkitan yang di prediksi dengan daya bangkitan yang didapatkan saat pengujian. Daya maksimum yang dapat dihasilkan mencapai 11,52 Watt dengan rata-rata daya bangkitan sebesar 2,25 Watt.



**Gambar 2.13** Grafik Perbandingan Percepatan menggunakan BSRSA dan Konvensional *Shock Absorber* (Liu, 2017)

Hasil dari penelitian ini menyatakan bahwa ketika kendaraan berjalan pada jalanan beraspal dengan kecepatan 40 mph, *shock absorber* jenis ini dapat mengurangi nilai rata-rata percepatan sasis kendaraan sebesar 11.12% dengan nilai percepatan  $1,45 \text{ m/s}^2$  dibandingkan dengan *oil shock absorber* dan secara bersamaan dapat memanen daya rata-rata sebesar 13.3 W dalam waktu 8 detik.

## 2.6 Pengaruh Percepatan Kendaraan terhadap Kenyamanan Kendaraan

Untuk kriteria kenyamanan berdasarkan besar percepatan menurut standar ISO 2631, ditampilkan pada tabel 2.1

**Tabel 2. 1** Nilai percepatan yang dapat diterima untuk kenyamanan pengendara (Rao, 2011)

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

Nilai-nilai yang tercantum pada Tabel 2.2 dapat dijadikan acuan bagaimana respon manusia terhadap percepatan yang terjadi pada kendaraan akibat getaran pada kendaraan publik. Namun reaksi tersebut juga bergantung pada durasi perjalanan dan ekspektasi pengendara ketika mengendarai kendaraan.

Selain dari kriteria kenyamanan berdasarkan percepatan, acuan baik tidaknya suspensi kendaraan juga dilihat berdasarkan keamanan. Ditinjau dari segi keamanan, suspensi 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.

## 2.7 **Kopling**

Kopling/*Clutch* adalah merupakan peralatan transmisi yang menghubungkan suatu poros penggerak dengan suatu poros lainnya. Kopling berfungsi untuk memindahkan daya mekanis dan putaran dari poros penggerak (Paridawati, 2013). Selain itu, *coupling* juga berfungsi untuk mengurangi karakteristik getaran dari dua poros yang berputar. Penggunaan *coupling* pada perancangan ini karena konstruksi pemasangan *coupling* yang ringkas dan ringan, sehingga tidak mempengaruhi kekuatan poros dan tidak menggunakan banyak ruang dalam pengaplikasiannya. Dalam perancangan ini *coupling* terletak diantara poros ulir (*screw*) menuju poros dari generator AC. Kedua poros tersebut terletak pada satu garis lurus.



**Gambar 2.14** Desain Kopling (Google Image)

## 2.8 **Bearing**

*Bearing* merupakan komponen yang berfungsi untuk menahan beban radial maupun aksial poros agar dapat berputar pada pusat putarnya, juga dapat digunakan sebagai *linear guiding* pada poros yang bergerak secara linear. Dalam rancang bangun ini, diperlukan dua jenis *bearing* yaitu *linear bearing* dan *ball bearing*.

*Linear bearing* digunakan sebagai lintasan untuk gerakan linear poros pada suatu sistem mekanika dengan cara mengurangi



untuk menahan beban dorong. Kemudian, beban radian dan moment secara langsung terjadi pada mur dan poros ulir pada *ball screw*. Contohnya, apabila *ball screw* hanya digunakan tanpa bantuan lintasan linear, bagian structural pada *ball screw* akan digunakan sebagai penahan akibat ketidak seimbangan yang terjadi pada mekanisme *ball screw*.



**Gambar 2.16** *Ball Screw* (THK *Ball Screw* Katalog)

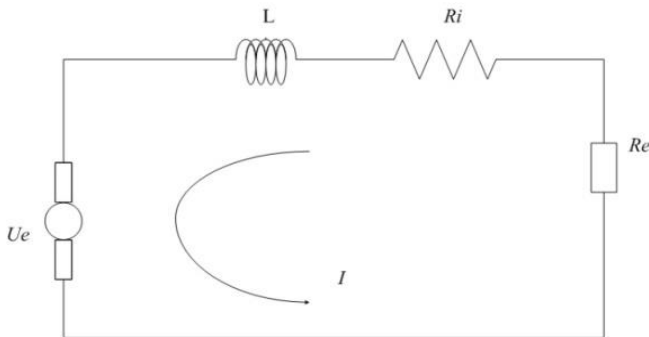
## 2.10 Generator Listrik

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).

- Generator AC; di mana bagian utama terdiri atas ***magnet permanen (tetap), kumparan (solenoida), cincin geser, dan sikat***. Pada generator, perubahan garis gaya magnet diperoleh dengan cara memutar kumparan di dalam

medan magnet permanen. Karena dihubungkan dengan cincin geser, putaran kumparan menimbulkan GGL (Gaya Gerak Listrik) induksi AC. Oleh karena itu, arus induksi yang ditimbulkan berupa arus AC.

- Generator DC; di mana generator ini terdiri dari dua bagian. Yang pertama adalah *stator*, yaitu bagian mesin DC yang diam/tidak bergerak, dan yang kedua adalah *rotor*, yaitu bagian mesin DC yang berputar. *Bagian stator* terdiri dari: *rangka motor, belitan stator, sikat arang, bearing dan terminal box*. Sedangkan *bagian rotor* terdiri dari: *komutator, belitan rotor, kipas rotor dan poros rotor*. Prinsip kerja generator DC sama dengan generator AC. Namun, pada generator DC arah arus induksinya tidak berubah. Hal ini disebabkan cincin yang digunakan pada generator DC berupa *cincin belah (komutator)*.



**Gambar 2.17** Skema RL Circuit untuk Generator (Farisah, 2015)

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

$$(R_e + R_i)I + L \frac{dI}{dt} = V_e \quad (2.4)$$

Dengan,



$$V_e = 2NBla\dot{\theta} = \alpha\dot{\theta} \quad (2.5)$$

Karena induktansi diabaikan, maka persamaan tersebut menjadi:

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

Sehingga persamaan menjadi:

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

$$I = I = \frac{\alpha}{(R_e + R_i)}\dot{\theta} = \beta\dot{\theta} \quad (2.6)$$

dimana:

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

Rumus torsi elektrik pada generator:

$$T_e = F_e a$$

$$T_e = (NBII)a$$

$$T_e = NBI(\beta\dot{\theta})a$$

$$T_e = NBla\beta\dot{\theta} = c_{Te}\dot{\theta} \quad (2.7)$$

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)

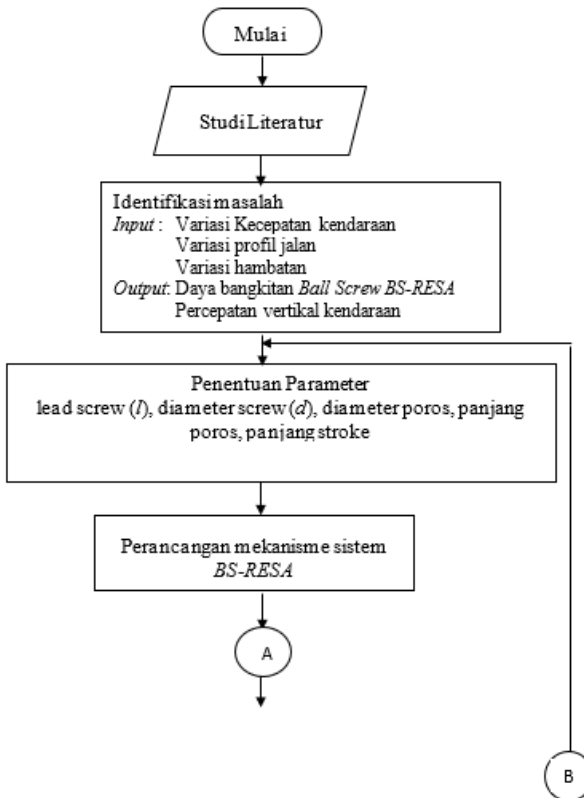
*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

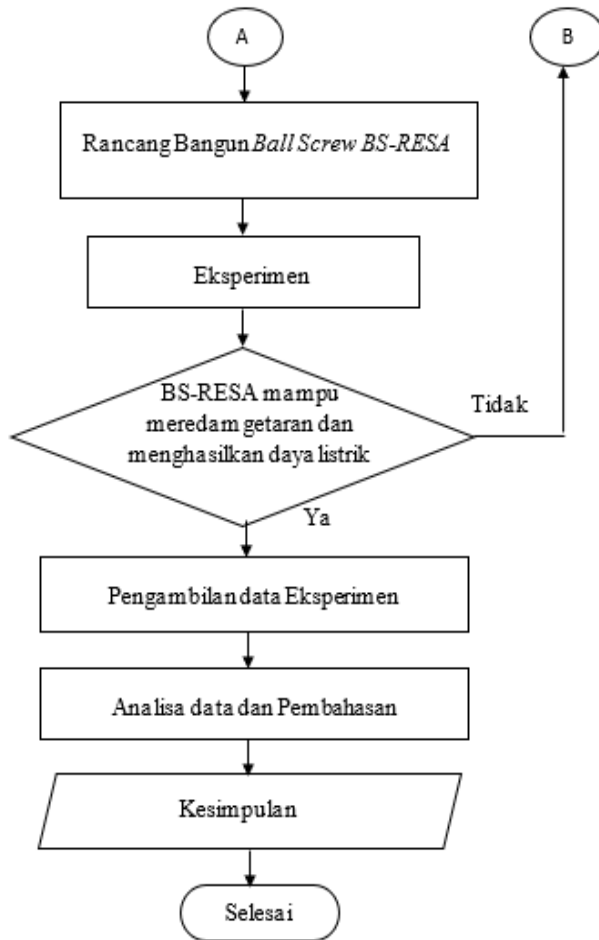
## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian tugas akhir ini berupa eksperimen yang mana bertujuan untuk mengetahui respon dinamis berupa perpindahan dan kecepatan pada *ball screw regenerative shock absorber* (BS-RESA) serta daya bangkitan yang dihasilkan oleh BS-RESA. Pada pelaksanaannya, penelitian tugas akhir ini dilakukan secara bertahap. Tahapan yang dilaksanakan pada penelitian ini secara garis besar digambarkan pada diagram alir berikut ini





**Gambar 3.1** Diagram Alir Tugas Akhir

### 3.2 Penjelasan Tahap Penelitian

Diagram alir pada gambar 3.1 akan dijelaskan secara rinci pada sub bab 3.2.1 sampai 3.2.8.

### 3.2.1 Studi Literatur

Dalam penulisan tugas akhir ini diperlukan beberapa referensi untuk menunjang penelitian dan proses analisis yang terkait dari sistem suspensi *Regenerative Shock Absorber* (BS-RESA) menggunakan *Ball Screw*. Hal tersebut bertujuan untuk menambah pengetahuan, wawasan, serta landasan mengenai permasalahan yang dibahas dalam penulisan tugas akhir ini. Pada proses awal diperlukan tahap studi literatur. Referensi untuk studi literatur didapat dari buku, jurnal ilmiah dan penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan. Nilai parameter yang digunakan diperoleh dari jurnal ilmiah serta penelitian terdahulu yang berkaitan.

### 3.2.2 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah pada penelitian tugas akhir *Regenerative Shock Absorber* menggunakan *Ball Screw* 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 Rush*. *Output* merupakan hasil yang didapatkan dalam penelitian ini, yaitu berupa grafik percepatan vertikal kendaraan pada saat menggunakan *shock absorber* konvensional maupun dengan menggunakan BS-RESA dan juga grafik daya bangkitan.

### 3.2.3 Penentuan Parameter

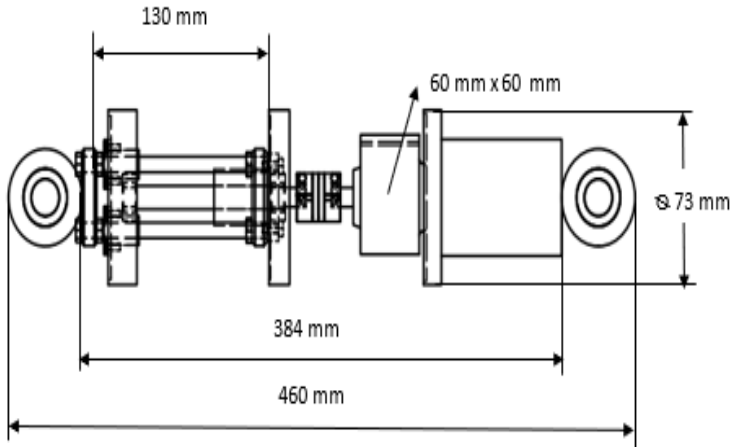
*Toyota Rush* menjadi kendaraan yang dipilih sebagai sarana kendaraan untuk melaksanakan eksperimen. Untuk itu diperlukan data parameter yang menunjang perancangan *Regenerative Shock Absorber* (BS-RESA) menggunakan *Ball Screw* yang sesuai dengan kondisi *Toyota Rush*. Data parameter yang diperlukan pada BS-RESA meliputi dimensi *ball screw*, panjang *screw*, diameter *gear*, panjang poros, dan

diameter poros. Parameter BS-RESA dan *shock absorber* Toyota Rush tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1 dan 3.2.

**Tabel 3.1** Tabel Parameter *Regenerative Shock Absorber* (BS-RESA)

Parameter	Nilai
Diameter BS-RESA	73 mm
Panjang BS-RESA terpasang	460 mm
Panjang maksimal BS-RESA	580 mm
Panjang minimal BS-RESA	384 mm
Diameter Ball Screw Nut	45 mm
Panjang Ball Screw Nut	44 mm
Diameter Linear Bearing	8 mm
Diameter Thrust Bearing	10 mm
Panjang Screw	170 mm
Diameter Screw	12 mm
Panjang Stroke BS-RESA	100 mm
Lead Screw	8 mm
Diameter linear bearing	8 mm
Diameter thrust bearing	10 mm
Diameter shaft konektor	6 mm
Panjang shaft konektor	130 mm
Diameter Inside Coupling	10 mm
Diameter Outer Coupling	25 mm

Dimensi Generator	60 x 60 mm
-------------------	------------



**Gambar 3.2** Rancangan Parameter BS-RESA

Penentuan parameter diatas sendiri memiliki acuan yaitu *shock absorber* konvensional milik Toyota Rush yang diamati secara langsung oleh penulis. Berikut merupakan data parameter dari *shock absorber* Toyota Rush tersebut.



**Gambar 3.3** *Shock Absorber* Konvensional Toyota Rush

**Tabel 3.2** Tabel Parameter *shock absorber Toyota Rush*

Parameter	Nilai
Diameter <i>shock absorber</i>	47 mm
Panjang terpasang	460 mm
Panjang maksimal	580 mm
Panjang minimal	384 mm
Panjang stroke	196 mm

**Tabel 3.3** 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 Toyota Rush dan ketersediaan di pasaran. Parameter tersebut digunakan sebagai acuan (*guide*) dalam mendesain BS-RESA, tujuannya untuk memastikan agar BS-RESA dapat diaplikasikan di Toyota Rush. Untuk gambar desain dan ukuran detail dari rancangan *BS-RESA* ini telah terlampir.

Pengambilan data RESA ini menggunakan kendaraan penumpang yaitu menggunakan Toyota Rush. 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 3.4** Tabel Parameter Kendaraan Uji

Parameter	Keterangan	Nilai	Unit
$m_v$	Massa Kendaraan	1185	Kg
$K_v$	Koefisien Pegas Kendaraan	82675	N/m
$m_w$	Massa ban	15	Kg
$K_w$	Koefisien Kekakuan Ban	180.53	N/m
$C_w$	Koefisien Redaman Ban	2670	N.s/m



**Gambar 3.4** Kendaraan Uji

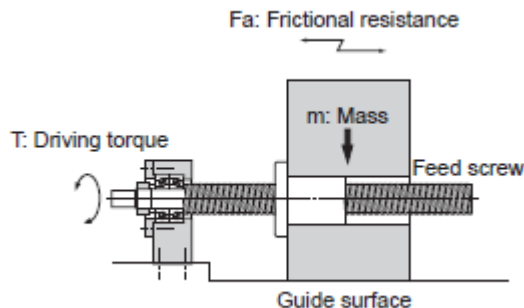
### 3.2.4 Persamaan Matematis dan Penurunan Rumus

Pada penelitian Tugas Akhir ini akan dianalisa respon gerak dari *Toyota Rush* ketika melewati profil jalan dengan

kecepatan tertentu menggunakan *shock absorber* konvensional dan menggunakan RESA. Hasilnya akan didapatkan respon gerak berupa kecepatan kendaraan, data *probe* tegangan dan data *accelerometer*. Data yang telah diperoleh terlebih dahulu diolah untuk mendapatkan daya bangkitan yang dihasilkan RESA dan percepatan *vertical* dari *Toyota Rush*. Sehingga dapat diketahui potensi energi yang terdisipasi oleh *shock absorber* dalam suspensi *Toyota Rush*. Hal inilah yang menjadi dasar perancangan RESA. Selain itu, energi yang terserap oleh RESA pada kondisi jalan dalam kecepatan tertentu dapat diketahui.

Persamaan matematis digunakan untuk mencari hubungan antara kecepatan *Toyota Rush* dengan daya bangkitan RESA yang terpasang pada sistem suspensi ketika melewati beberapa macam profil jalan. Berikut merupakan persamaan matematis dari sistem RESA (*Regenerative Shock Absorber*).

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:

$\tau_a$  : *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)

$\lambda$  : *Lambda*

$\pi$  : *Phi* (3,14)

$\omega$  : *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

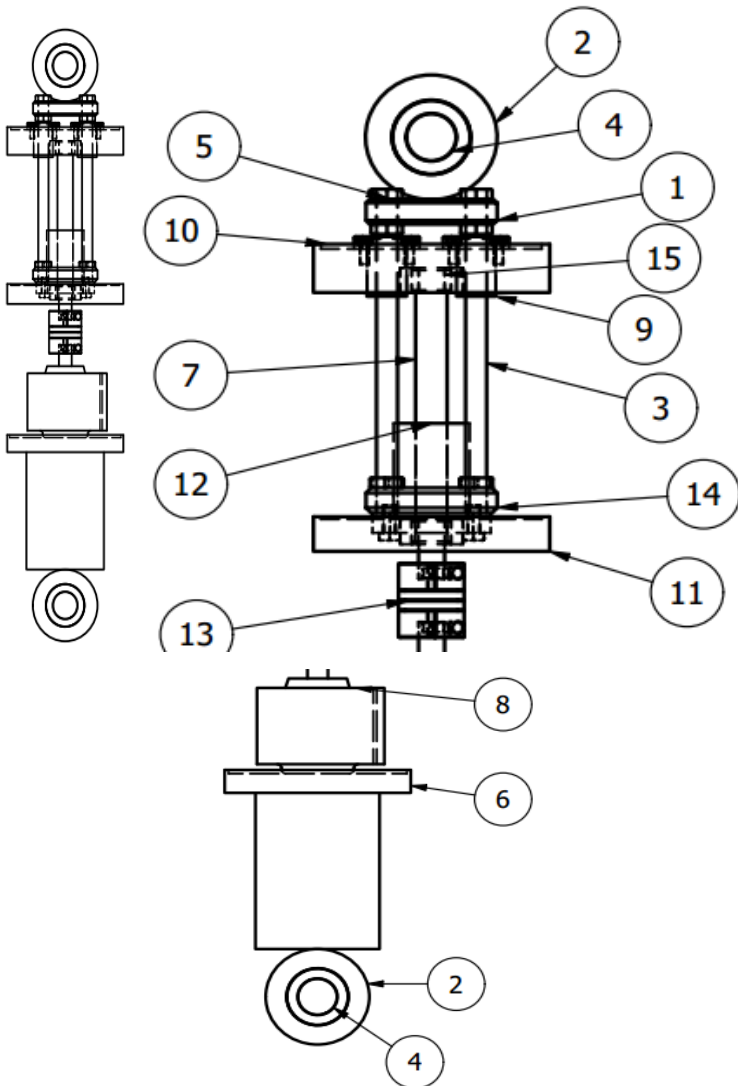
$$G = (\text{data } \textit{oscilloscope}). 100\text{mV}$$

Keterangan :

- $\ddot{x}$  : Percepatan ( $\text{m/s}^2$ )  
 G : Tegangan dari *accelerometer* (V)  
 g : Gravitasi bumi ( $\text{m/s}^2$ )

### 3.2.5 Rancang Bangun RESA

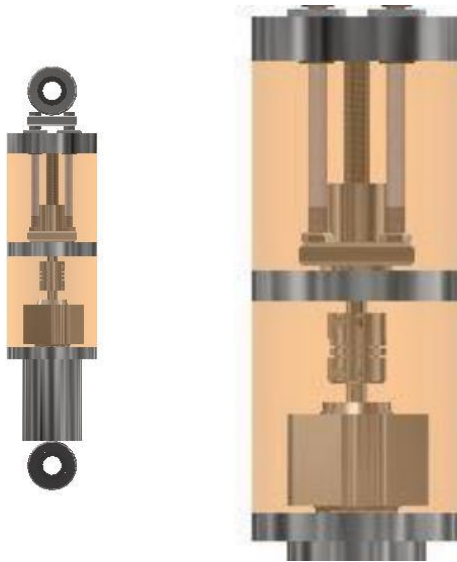
Dalam proses pembuatan RESA ini membutuhkan berbagai komponen. Komponen-komponen tersebut ada yang dibuat secara khusus melalui proses fabrikasi seperti *cover plat mounting ball screw nut* dan *casing*. Beberapa komponen sudah tersedia di pasar, komponen yang tersedia di pasar antara lain *ball screw*,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



**Gambar 3.6** Gambar 2D BS-RESA

**Keterangan:**

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

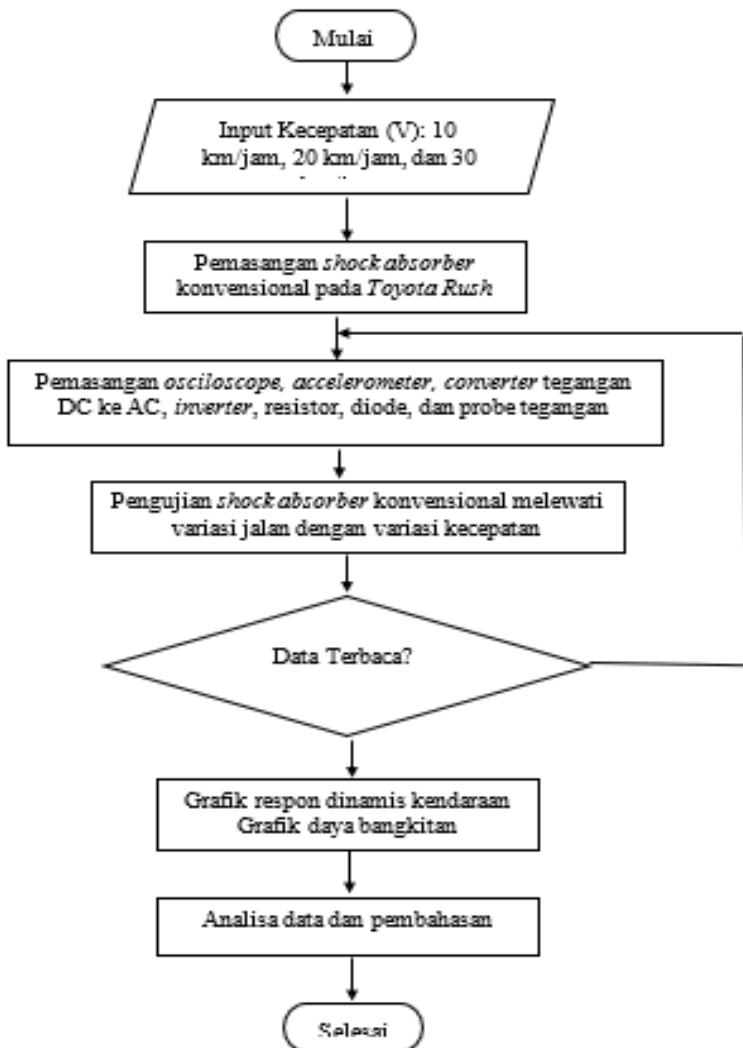


**Gambar 3.7** Gambar 3D BS-RESA

### 3.2.6 Tahap Eksperimen dan Pengambilan Data

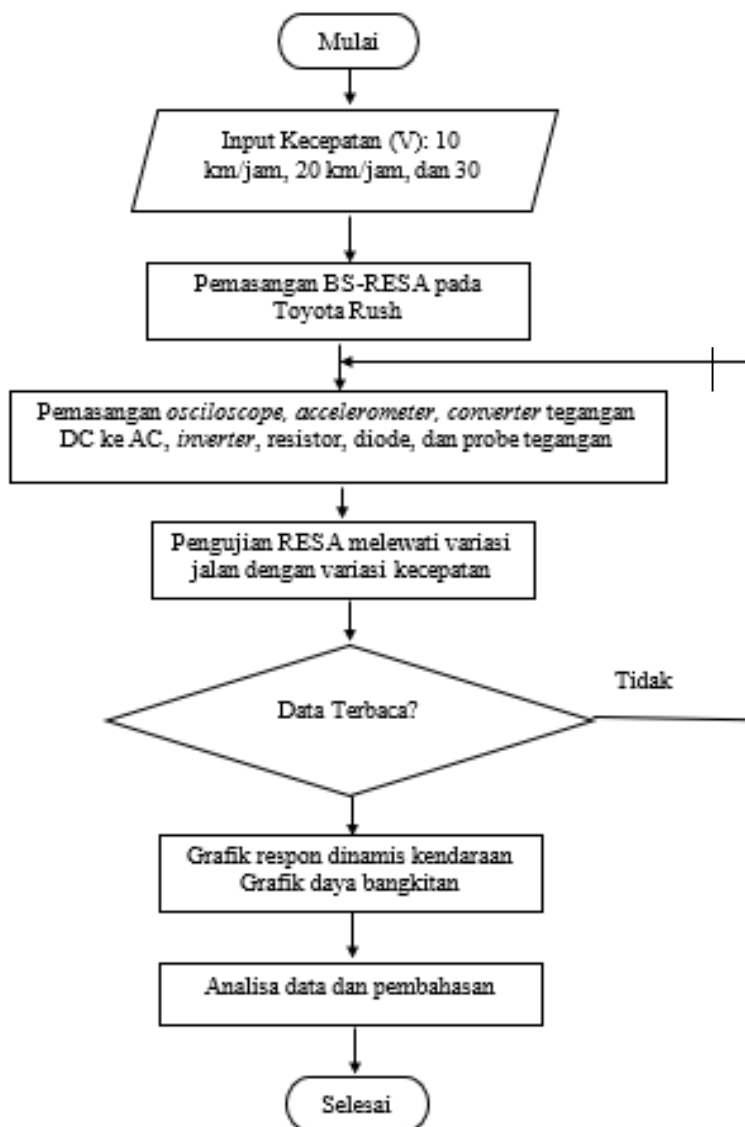
Penelitian ini dilakukan secara eksperimen menggunakan kendaraan penumpang yaitu Toyota Rush. Sebelum melakukan pengujian pada BS-RESA, kami akan menguji terlebih dahulu respon dinamis dari *shock absorber* konvensional Toyota Rush. Setelah data *shock absorber* konvensional didapat, kami

selanjutnya melakukan pengujian BS-RESA. BS-RESA dipasang pada sistem suspensi bagian roda belakang sisi kiri. Pengambilan data untuk variasi jalan paving berlokasi di area Departemen Teknik Mesin ITS, sedangkan untuk jalan aspal di daerah Jalan Kertajaya yang mana mencakup *speedtrap* dan *speedbump* (*speedbump*). Terdapat 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/jam, 20 km/jam, dan 30 km/jam. Masing-masing variasi kecepatan akan dilakukan 3 kali pengambilan data. Terdapat 3 variasi hambatan (R) guna mengetahui efek redaman yang dihasilkan yaitu 4 ohm, 8 ohm, dan 12 ohm. Masing-masing variasi hambatan (R) akan dilakukan 3 kali pengambilan data. Untuk proses pengambilan data dilakukan beberapa langkah yang ditunjukkan oleh diagram alir pada gambar berikut.



**Gambar 3.8** Diagram Alir Pengujian *Shock Absorber* Konvensional

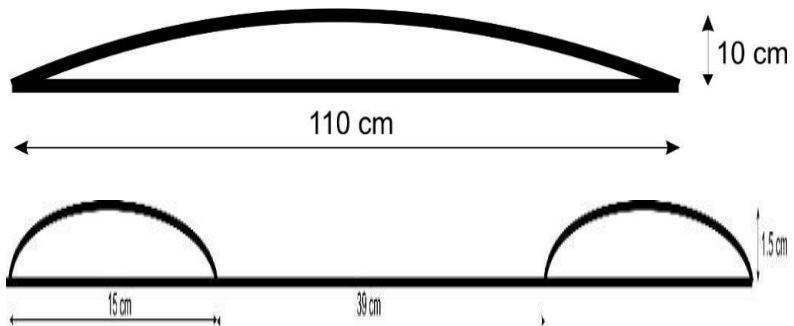




**Gambar 3.9** Diagram Alir Eksperimen BS-RESA



**Gambar 3.10** Lokasi Pemasangan RESA pada *Toyota Rush*



**Gambar 3.11** Lokasi dan Sketsa *Speedbump* dan *Speedtrap*

### 3.2.7 Peralatan Pengambilan Data

Dalam pengambilan data RESA di kendaraan *Toyota Rush*, 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 Rush 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*

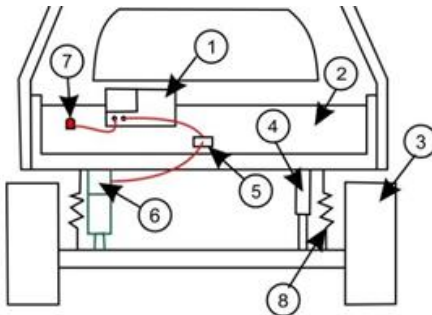
*Probe Tegangan* digunakan untuk mengukur tegangan yang dihasilkan generator BS-RESA



**Gambar 3.16** Probe Tegangan

### 3.2.8 Instalasi Peralatan Pengambilan Data

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



Keterangan:

1. *Oscilloscope*
2. *Body Kendaraan*
3. *Roda*
4. *Shock Absorber*
5. *Dioda*
6. *Generator RESA*
7. *Acclerometer*
8. *Spring*

**Gambar 3.17** Skema Instalasi Peralatan Pengambilan Data

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 4

### PEMBAHASAN

#### 4.1 Perancangan dan Pengembangan Prototip *Ball Screw* RESA

BS-RESA pada intinya berprinsip mengubah gerakan translasi dari *shock absorber* menjadi gerak rotasi untuk memutar generator. Pengembangan terbaru pada BS-RESA di penelitian kali ini menghilangkan mekanisme roda gigi pada penelitian sebelumnya dan digantikan dengan pemanfaatan *coupling* untuk memindah gerak rotasi dari *screw* ke *shaft* generator. Bahan baku pembuatan BS-RESA ini menggunakan *parts* yang ada di pasaran dan beberapa *parts* tersebut ada yang diolah terlebih dahulu dengan mesin bubut untuk menyesuaikan dengan keperluan BS-RESA.

Tahap pertama dalam penelitian rancang bangun BS-RESA adalah penentuan dimensi untuk selanjutnya dilakukan perancangan menggunakan *software* AutoCAD. Penentuan dimensi dilakukan dengan cara mengukur *shock absorber* konvensional dari Toyota Calya serta mengukur alokasi ruang yang tersedia untuk pemasangan BS-RESA nantinya. Kemudian hasil pengukuran tadi dituangkan pada AutoCAD untuk menghasilkan rancangan desain BS-RESA. Lalu setelah gambar rancangan selesai dibuat, gambar tersebut diberikan pada bengkel untuk dilakukan pengerjaan. Bagian-bagian yang dikerjakan diantaranya dudukan atas, dudukan bawah, dudukan generator dan dudukan nut.

Selanjutnya, dilakukan pembelian komponen-komponen lain seperti *generator*, *ball screw*, *linear bearing*, *thrust bearing* dan *coupling*. Generator yang digunakan adalah Tamagawa BLDC Motor TBL-i II Series TS 4607N1033E200. Untuk *ball screw* yang digunakan adalah THK BTK V dengan ukuran R1205. Kemudian *coupling* menggunakan *coupling* fleksibel yang tersedia di pasaran.

Dilakukan pengujian awal terhadap generator dengan memutar generator kemudian diberikan pembebanan berupa lampu LED.



(a)

(b)

(c)



(d)



(e)

**Gambar 4.1** Komponen-komponen BS-RESA (a) Generator (b) *Ball Screw* (c) *Linear Bearing* (d) *Thrust Bearing* (e) *Coupling*

Langkah berikutnya yaitu screw dengan tipe THK BTK V 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 terhubung dengan flexible coupling.



**Gambar 4.2** Perakitan *Ball Screw* dan *Nut*

Selain screw, shaft yang digunakan adalah stainless steel 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 boshing.



**Gambar 4.3** Perakitan *Shaft* dan Dudukan Atas

*Flexible coupling* yang digunakan 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 absorber* konvensional bagian bawah sepanjang 90mm yang selanjutnya terhubung dengan dudukan atau boshing.



**Gambar 4.4** Perakitan Bagian Bawah BS-RESA

Setelah dilakukan fabrikasi selanjutnya dilakukan percobaan terlebih dahulu dengan manual dengan menggerakkan naik turun BS-RESA, sesudah dirasa bergerak cukup lancar maka selanjutnya dilakukan pengecatan untuk menghindari terjadinya korosi pada BS-RESA serta mempercantik tampilannya. Setelah proses pengerjaan selesai, lalu dilakukan percobaan untuk 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 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** Tampilan BS-RESA setelah *Finishing*

#### **4.2 Perbandingan BS-RESA dengan RSA Terdahulu**

Perkembangan yang dialami oleh BS-RESA dapat dilihat dengan cara dibandingkan secara dimensi dan berat dengan RSA yang telah dibangun sebelumnya di Laboratorium Vibrasi dan Sistem Dinamis Institut Teknologi Sepuluh Nopember. BS-RESA sendiri memiliki massa sebesar 2.5 kg.



**Gambar 4.6** Pengukuran Massa BS-RESA

Setelah diketahui massanya selanjutnya BS-RESA dibandingkan dengan BSRSA *Spur Gear*. Ketika dibandingkan diketahui BS-RESA memiliki dimensi yang lebih kecil daripada BSRSA *Spur Gear*. Hal ini dikarenakan mekanisme *gear* yang memakan cukup ruang pada BSRSA *Spur Gear* dihilangkan pada BS-RESA dan digantikan dengan mekanisme *coupling*. Dari segi massa, BSRSA *Spur Gear* memiliki massa 5.6 kg, lebih berat 3 kg dibandingkan dengan BS-RESA.



**Gambar 4.7** Perbandingan BS-RESA dengan BSRSA Spur Gear

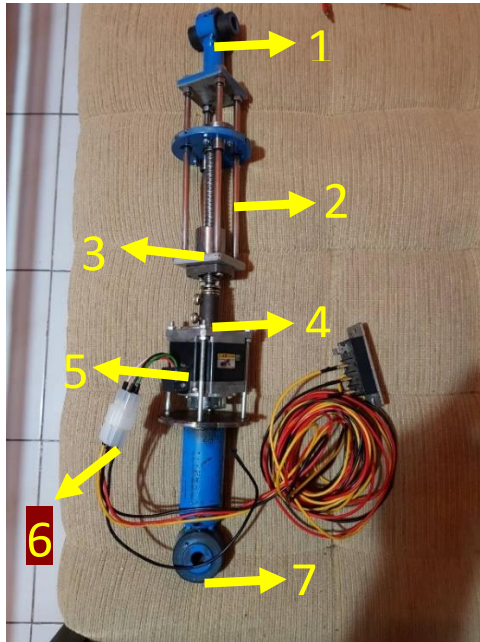
Kemudian, ketika dibandingkan dengan HMERSA, dari segi dimensi jauh lebih besar dimensi dari HMERSA. Hal tersebut dikarenakan ada bagian-bagian dari HMERSA yang letaknya berjauhan dari komponen utama, seperti *generator* dan penampungan fluida. Jika dibandingkan dari massanya, HMERSA lebih ringan karena komponennya terbuat dari bahan-bahan yang lebih ringan. Beratnya hanya berkisar 2 kg.



**Gambar 4.8** Perbandingan BS-RESA dengan HMERSA

#### **4.3 Pengujian Sistem BS-RESA pada Toyota Rush**

Persiapan pada mobil perlu dilakukan sebelum melakukan pengambilan data. Hal ini dilakukan agar data yang didapat akurat dan seperti yang diharapkan. Persiapan tersebut meliputi penambahan tekanan ban sesuai standar kendaraan, pengecekan fungsi aki, pengecekan sistem suspensi dan pengecekan fungsi *speedometer*. Selanjutnya dilakukan pengecekan kembali pada BS-RESA apakah sudah siap diuji. Setelah dipastikan BS-RESA siap diuji, selanjutnya BS-RESA dipasang pada Toyota Rush. Berikut merupakan gambar komponen-komponen BS-RESA yang telah dirakit.



Keterangan:

1. *Support Atas*
2. *Shaft*
3. *Ball Screw*
4. *Coupling*
5. *Generator*
6. *Kabel Output*
7. *Support Bawah*

**Gambar 4.9** Komponen pada BS-RESA

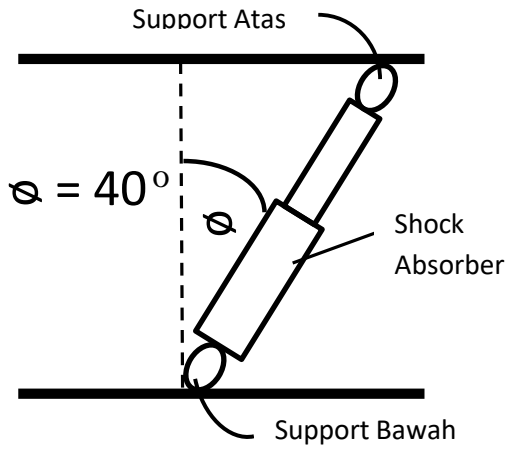


#### 4.3.1 Pemasangan Sistem BS-RESA pada Kendaraan Angkut

Pengujian sistem BSRSA dilakukan pada kendaraan angkut berjenis Toyota Rush. Toyota Rush dipilih karena merupakan salah satu jenis kendaraan angkut SUV yang paling banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia. Selain itu, bagian suspensi belakang dari Toyota Rush juga memiliki *space* yang luas, sehingga memudahkan pemasangan BS-RESA. Bagian bawah bodi dan proses pemasangan BS-RESA dapat dilihat pada Gambar 4.11.

Proses pemasangan BS-RESA dimulai dengan melepas *Conventional Shock Absorber* pada sebelah kanan belakang kendaraan. Sisi sebelah kanan kendaraan dipilih karena proses pemasangannya lebih mudah serta memiliki *space* yang lebih luas daripada sisi kiri sehingga *wiring* dari generator ke *oscilloscope* lebih mudah instalasinya. Setelah *shock absorber* dilepas, sistem BS-RESA dipasang menggantikan tempat *shock absorber* sebelumnya.

Untuk BSRSA sendiri memiliki sudut sebesar  $40^\circ$ . Hal tersebut dikarenakan posisi *support* bagian atas lebih menjorok ke belakang daripada *support* bagian bawahnya.



**Gambar 4.10** Sudut Kemiringan Pemasangan *Shock Absorber*



**Gambar 4.11** Pemasangan RESA Tampak Belakang dan Tampak Samping

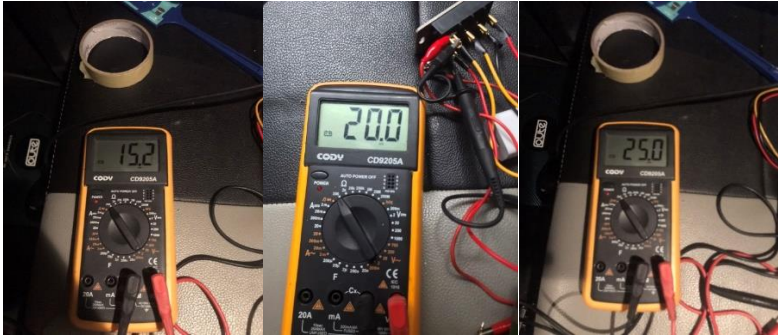
Keterangan:

1. *Shaft*
2. *Ball Screw*
3. *Nut*
4. *Coupling*
5. Generator
6. Kabel *Output Generator*

Setelah BS-RESA terpasang, dilakukan percobaan kembali untuk mengecek apakah generator dapat menghasilkan tegangan bangkitan sebelum diuji pada beberapa tipe jalan. Pada generator di kabel outputnya telah disambungkan kabel yang lebih panjang agar dapat mencapai lokasi dioda 3 fasa yang diletakkan di *row* kedua kendaraan. Kemudian di cek kembali sambungan-sambungan dan juga *coupling* untuk memastikan tidak terjadi kerusakan pada kedua hal tersebut. Hal itu membuat sistem BS-RESA sudah layak untuk diuji pada beberapa kontur jalan dengan kecepatan tertentu.

#### **4.3.2 Instalasi Peralatan Pengambilan Data**

Setelah pemasangan BS-RESA, dilakukan instalasi peralatan lain untuk menunjang proses pengambilan data dan diatur baik posisi maupun pengaturan rangkaiannya. Alat-alat yang digunakan untuk mengambil data terdiri dari Oscilloscope Tektronix TBS1104, Converter Tegangan DC ke AC, Inverter, Accelerometer, dan Probe Tegangan. Terdapat juga resistor yang sudah diatur sebesar 15, 20 dan 25 Ohm guna menghitung daya bangkitan.



**Gambar 4.12** Set-up Besar Hambatan

Ketika pengambilan data, semua peralatan pengambil data diletakkan di baris kedua kendaraan untuk memudahkan proses pengambilan data. Urutan pemasangan peralatan adalah pertama *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*. Kemudian *channel 4* pada *oscilloscope* dihubungkan pada probe tegangan yang telah tersambung dengan dioda. Dioda tersebut telah tersambung dengan kabel dari generator. Peletakan *probe* tegangan tidak boleh salah antara positif dengan negatif. *Channel 3* dari *oscilloscope* disambungkan dengan *inverter* dan *accelerometer*. Sementara *accelerometer* dipasang pada bagian atas suspensi kiri belakang kendaraan. Instalasi alat pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 4.13



**Gambar 4.13** Instalasi Peralatan Pengambilan Data

Keterangan:

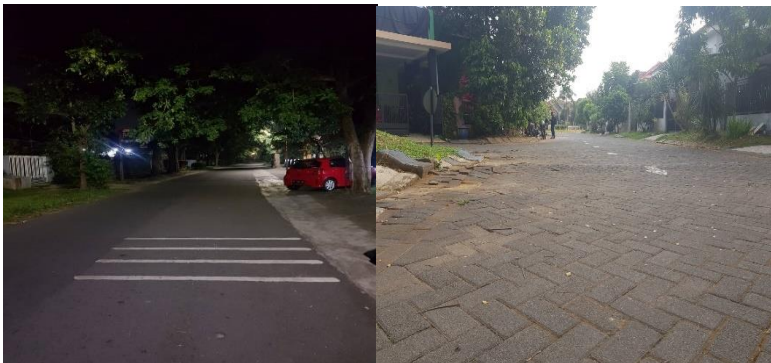
1. *Oscilloscope*
2. *Inverter*
3. Resistor
4. *Probe* Tegangan dan diode
5. *Acclerometer*

### 4.3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan pemilihan lokasi di sekitar Kota Malang. Pengambilan data dilakukan dengan variasi kecepatan 10 kmh, 20 kmh dan 30 kmh saat melewati aspal dan paving, kemudian 5 kmh, 10 kmh, dan 15 kmh pada *speedtrap* dan *speedbump*. Pengambilan data membutuhkan tiga personil dengan pembagian tugas sebagai berikut, yaitu satu orang pengemudi mobil, satu operator peralatan pengambilan data, dan satu orang

untuk dokumentasi dan pencatatan waktu pengambilan data. Pengujian dilakukan sebanyak 2 kali dengan waktu yang berbeda untuk menghindari terjadinya *error* pada data dari *oscilloscope*. Pengujian dilakukan secara bergantian antara BS-RESA dengan *conventional shock absorber*. Pengujian pertama untuk menguji tegangan yang dihasilkan oleh BS-RESA serta percepatan vertikalnya dan pengujian kedua untuk menguji percepatan vertikal *conventional shock absorber*. Data yang diambil adalah tegangan bangkitan generator dan respon percepatan body kendaraan bagian kanan belakang.

Proses pengambilan data yang pertama dilakukan adalah *speedbump* yang berada di kompleks perumahan Tirtasani Resort Karangploso, Malang. Kemudian kendaraan berjalan ke kompleks perumahan DeRoyal Tirtasani Karangploso, Malang untuk pengambilan data melalui jalan paving dan jalan aspal. Karena tidak adanya kontur jalan *speedtrap* di kompleks perumahan Tirtasani, selanjutnya kendaraan dibawa ke jalan raya depan SMP Negeri 1 Malang untuk pengambilan data variasi jalan *speedtrap*.



(a)

(b)



(c)

**Gambar 4.14** Lokasi Pengambilan Data (a) *Speedtrap* (b) Paving dan *Speedbump* (c) Jalan Aspal

#### 4.4 Analisa Hasil Pengambilan Data

Setelah data yang diperlukan tercatat semua, maka data tersebut diolah dan dilakukan analisa agar outputnya nanti sesuai yang diharapkan. Pengolahan data dilakukan dengan memasukkan data dari *oscilloscope* ke *software* Microsoft Excel. Untuk data dari *probe* tegangan diolah terlebih dahulu agar mendapatkan daya bangkitan, begitu juga dengan data dari *accelerometer* akan diolah terlebih dahulu agar mendapatkan data percepatan vertikal kendaraan. Data olahan tersebut selanjutnya dilakukan proses *smoothing* dan *filtering* menggunakan *software* MATLAB. Data yang didapatkan dari *oscilloscope* tidak dapat langsung digunakan sebagai hasil akhir karena terdapat terlalu banyak *noise* yang muncul pada saat pengujian. *Noise* yang muncul tersebut dapat di minimalkan dengan menggunakan program *filtering* dan *smoothing* yang tersedia dalam *software* MATLAB. Dari MATLAB nantinya akan didapatkan grafik data tegangan, daya bangkitan dan respon percepatan.

#### 4.4.1 Analisa Tegangan Bangkitan dan Daya yang Dihasilkan BS-RESA

Generator pada BS-RESA mampu menghasilkan listrik karena memanfaatkan gerakan rotasi yang didapat dari gerak translasi BS-RESA yang ditransformasikan menjadi gerak rotasi oleh mekanisme *ball screw*. Energi listrik yang dihasilkan oleh generator kemudian didata oleh *oscilloscope*, dan dilakukan *filtering* dan *smoothing* untuk menghilangkan *noise*. Untuk mendapatkan daya, digunakan rumus:

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

Keterangan:

$P$ : Daya (Watt)

$V$ : Tegangan (Volt)

$R$ : Hambatan (Ohm)

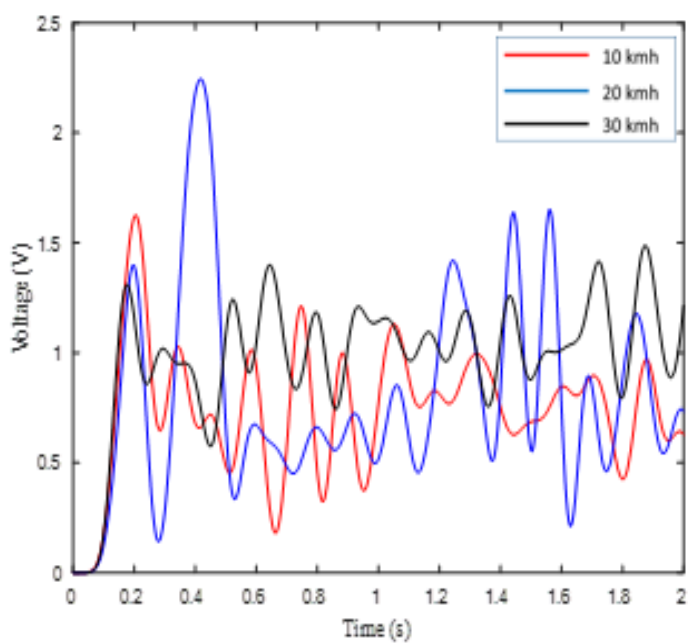
Hambatan yang digunakan sebesar 15 Ohm, 20 Ohm, dan 25 Ohm seperti yang telah tertera pada keterangan sebelumnya. Tegangan bangkitan dan daya yang dihasilkan oleh generator dari berbagai tipe jalan dan variasi kecepatan disajikan dibawah.

#### ➤ Tegangan dan Daya yang Dihasilkan BS-RESA dengan Nilai Hambatan 15 ohm

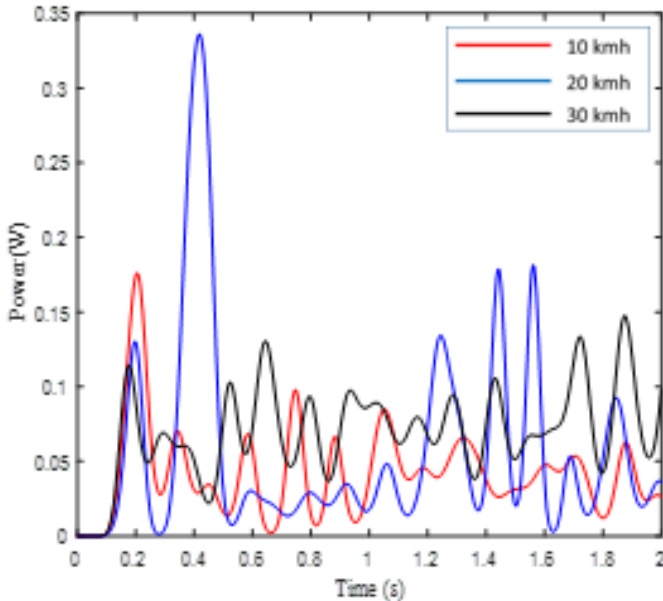
##### i. Kontur Jalan Aspal

Pengujian pertama dilakukan melewati jalan aspal dengan 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/jam, 20 km/jam, dan 30 km/jam. Berikut data tegangan bangkitan dan daya melewati jalan aspal (jalan rata).





(a)



(b)

**Gambar 4.15** Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui Jalan Aspal dengan Hambatan 15 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/jam, 20 km/jam, dan 30 km/jam

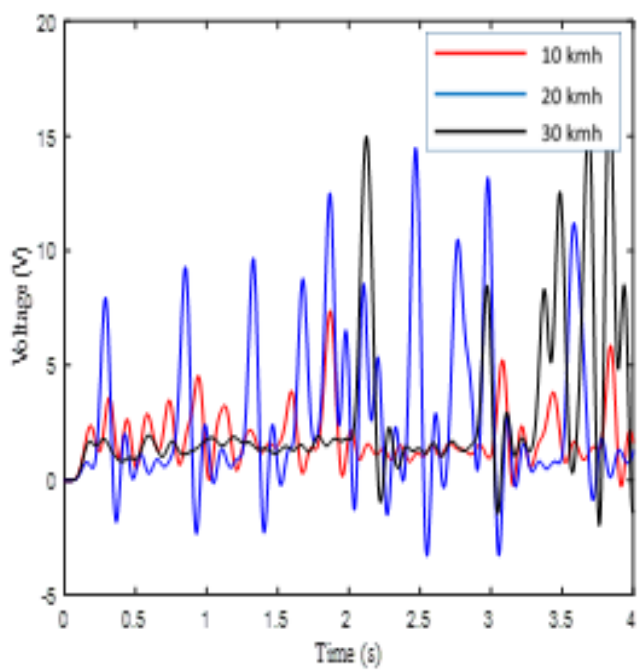
Pada Gambar 4.15 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/jam adalah sebesar 1.626 V dengan daya maksimum sebesar 0.105 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/jam adalah sebesar 2.27 V dengan daya maksimum sebesar 0.206 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 30 km/jam adalah sebesar 1.48 V dengan daya maksimum sebesar 0.087 W.

Dari kedua gambar tersebut, dapat dilihat bahwa tegangan dan daya yang dihasilkan tidak berpola dan nilainya sangat kecil, hal tersebut dikarenakan kontur jalan aspal yang cukup halus sehingga sedikit sekali getaran yang terjadi pada kendaraan. Saat melewati jalan aspal dari 3 variasi kecepatan yang dilakukan ketiganya memiliki pola yang berbeda dikarenakan titik jalan yang dilewati dapat berbeda. Dari grafik-grafik tersebut, dapat disimpulkan karakteristik energi bangkitannya mirip pada saat melewati jalan paving, hanya saja energi bangkitannya jauh lebih kecil.

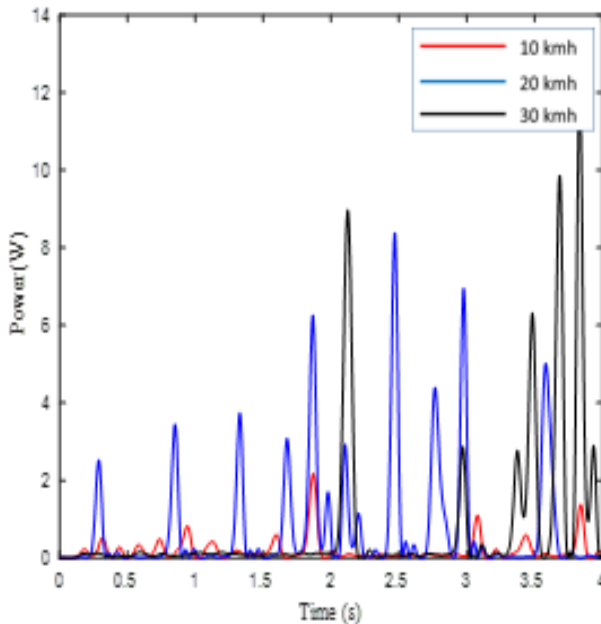
Pada Gambar 4.15, dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan, tegangan dan daya bangkitan yang dihasilkan semakin tinggi. Hal tersebut diakibatkan karena naiknya frekuensi putaran generator pada saat kendaraan melaju lebih cepat, walaupun perbedaan tegangan maupun energinya tidak terlalu signifikan. Terdapat pula lonjakan tegangan maupun daya pada beberapa titik, hal ini disebabkan adanya lubang pada beberapa spot di jalan aspal.

## **ii. Kontur Jalan Paving**

Pengujian selanjutnya dilakukan melewati jalan paving dengan 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/jam, 20 km/jam, dan 30 km/jam. Berikut data tegangan bangkitan dan daya melewati jalan paving.



(a)



(b)

**Gambar 4.16** Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui Jalan Paving dengan Hambatan 15 Ohm pada Kecepatan 10 km/jam, 20 km/jam, dan 30 km/jam

Pada Gambar 4.16 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/jam adalah sebesar 6.81 V dengan daya maksimum sebesar 1.855 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/jam adalah sebesar 10.1 V dengan daya maksimum sebesar 4.08 W. Selanjutnya, tegangan maksimum

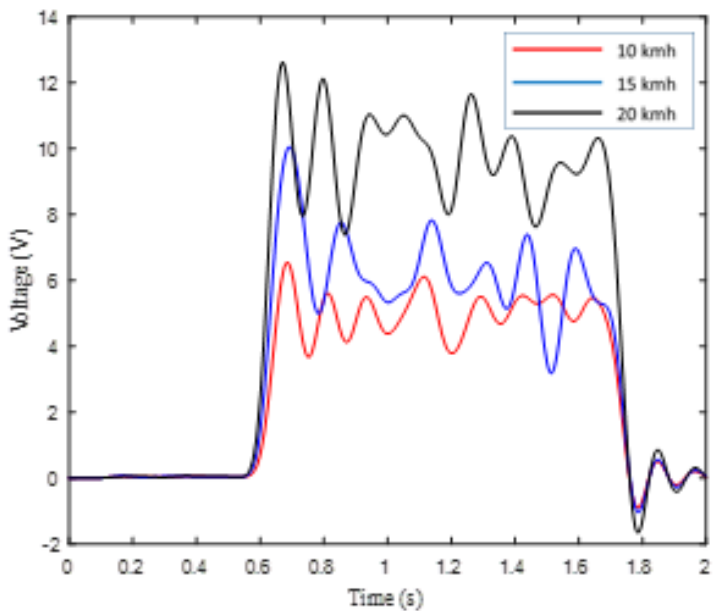
yang didapatkan pada kecepatan 30 km/jam adalah sebesar 15.28 V dengan daya maksimum sebesar 11.156 W.

Dari kedua gambar diatas, dapat dilihat bahwa grafik tersebut tidak berpola. Pada setiap variasi kecepatan menghasilkan pola grafik yang berbeda-beda. Ini mirip dengan apa yang terjadi pada jalan aspal namun dengan tegangan bangkitan yang lebih besar. 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. Hal lain yang menyebabkan perbedaan tersebut adalah pada saat pengambilan data dari 3 variasi kecepatan tersebut titik jalan yang dilalui dapat berbeda sehingga hasil yang di dapatkan juga sedikit berbeda. Dari data diatas dapat disimpulkan pada jalan paving, energi yang dihasilkan sangat bergantung pada kondisi jalan tersebut.

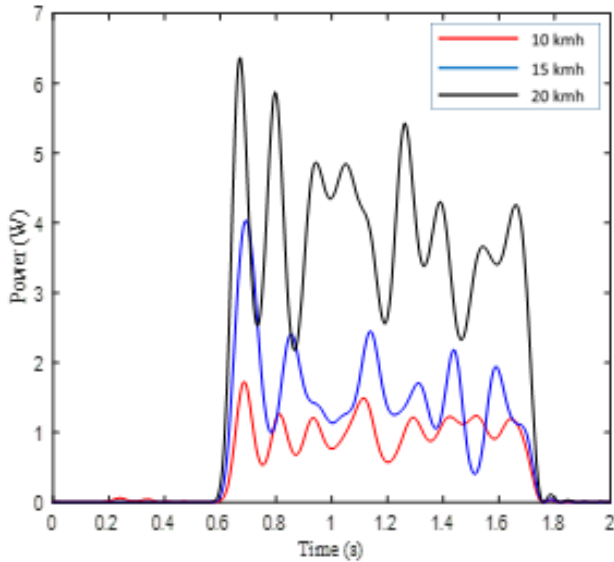
Pada Gambar 4.16 keduanya menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan kendaraan maka tegangan dan daya bangkitannya juga semakin besar. Hal tersebut sama halnya pada saat melewati *speedbump* dan *speedtrap*, semakin tinggi kecepatan maka frekuensi semakin tinggi. Namun ada juga pada beberapa titik yang tegangan atau daya nya lebih kecil padahal kecepatannya lebih besar, hal tersebut dikarenakan kontur jalan paving yang tidak menentu. Pada Gambar 4.16 (a) sendiri terjadi beberapa tegangan bangkitan yang menunjukkan nilai negatif. Hal ini disebabkan posisi *ball screw nut* yang melampaui posisi awalnya.

### iii. Kontur Jalan *Speedtrap*

Pengujian ketiga dilakukan melewati speedtrap dengan 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Sama halnya pada saat melewati *speedbump*, pengujian melalui ini juga diberi jarak 3 meter sebelum speedtrap sebagai acuan titik awal. Berikut data tegangan bangkitan dan daya melewati speedtrap.



(a)



(b)

**Gambar 4.17** Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedtrap* dengan Hambatan 15 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam

Pada Gambar 4.17 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/jam adalah sebesar 6.562 V dengan daya maksimum sebesar 1.722 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/jam adalah sebesar 10.53 V dengan daya maksimum sebesar 4.43 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/jam adalah sebesar 12.61 V dengan daya maksimum sebesar 6.36 W.



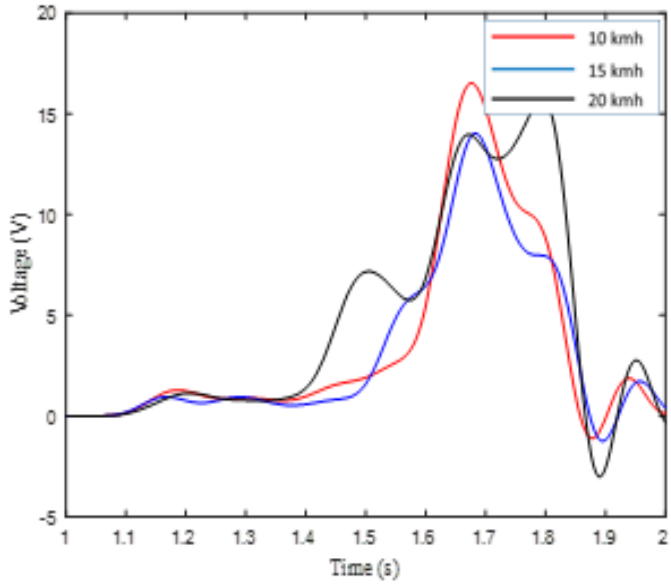
Dari kedua gambar, dapat dilihat pada saat melewati *speedtrap* grafik yang didapat menghasilkan beberapa puncak dengan ketinggian yang hampir sama dan berulang, atau dapat dikatakan menghasilkan tegangan dan daya bangkitan yang relatif konstan pada waktu yang cukup lama, berbeda dengan saat melewati *speedbump* yang hanya menghasilkan 1 puncak besar. Hal tersebut dikarenakan pada 1 *speedtrap* terdapat 4 buah *bump*, sehingga menghasilkan tegangan dan daya yang cukup konstan dalam waktu tertentu. Namun, titik puncaknya tidak dapat setinggi pada saat melewati *speedbump* karena ketinggian tiap *bump* pada *speedtrap* hanya berkisar 1.5 cm. Sebelum melewati *speedtrap*, dapat dilihat pada grafik hampir tidak ada tegangan maupun daya bangkitannya. Hal tersebut dikarenakan sebelum melewati *speedbump*, kedaraan melewati jalan aspal yang halus sehingga daya bangkitan yang dihasilkan sangat kecil kecil. Dapat disimpulkan pada saat melewati *speedtrap*, BS-RESA dapat menghasilkan energi cukup konstan dengan range waktu yang cukup lama dibandingkan pada saat melewati *speedbump*, walaupun titik tertingginya tidak sebesar pada saat melewati *speedbump*.

Dari Gambar 4.17, 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.

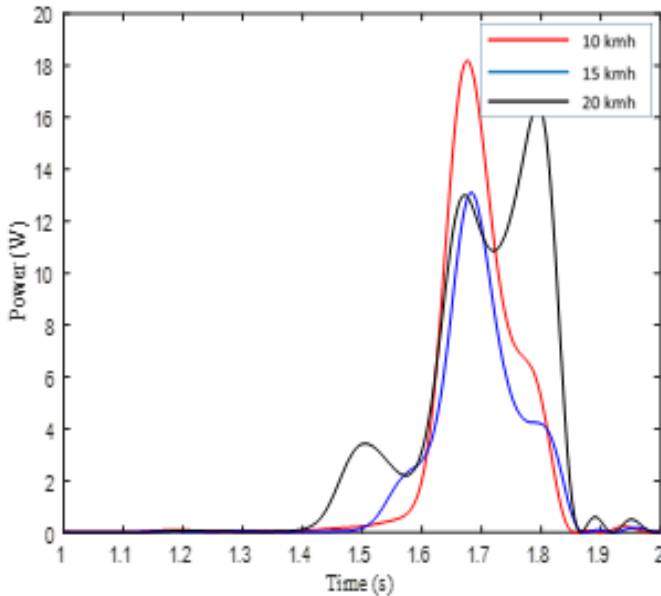
#### **iv. Kontur Jalan *Speedbump***

Pengujian terakhir dilakukan melewati *speedbump* dengan 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20

km/jam. Untuk titik waktu 0 dimulai pada saat ban depan menghentak *speedbump*. Berikut data tegangan bangkitan melewati *speedbump*.



(a)



(b)

**Gambar 4.18** Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* dengan Hambatan 15 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam

Pada Gambar (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/jam adalah sebesar 15.99 V dengan daya maksimum sebesar 12.78 W. Lonjakan yang tinggi pada grafik mengindikasikan saat dimana roda mulai melewati *speedbump* sehingga membuat BS-RESA bergerak. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/jam adalah sebesar 14.81 V dengan daya maksimum sebesar 8.773 W. Pada grafik tersebut dapat dilihat adanya tegangan bangkitan yang relative

kecil rata-rata 0.98 V sebelum melewati *speedbump*, hal tersebut diakibatkan kontur jalan yang tidak rata. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/jam adalah sebesar 18.39 V dengan daya maksimum sebesar 13.52 V.

Pada saat melewati *speedbump*, grafik tegangan dan daya bagkitan memiliki 1 puncak besar, hal tersebut diakibatkan karena bump yang mencapai 10 cm, sehingga membuat ball screw pada BS-RESA bertranslasi cukup jauh dan dapat menghasilkan daya cukup besar. Kemudian setelah melewati *speedbump*, tegangan dan daya turun derastis. Terdapat juga puncak grafik yang lebih rendah, yang terjadi sebelum puncak grafik utama. Hal tersebut diakibatkan adanya kontur jalan yang tidak rata sebelum/sesudah *speedbump* sehingga membuat hentakan pada kendaraan. Pada detik awal juga terdapat tegangan bangkitan yang diakibatkan kontur jalan paving sebelum melalui *speedbump*. Dapat disimpulkan bahwa saat melewati *speedbump*, BS-RESA dapat menghasilkan energi cukup besar namun hanya dalam waktu yang singkat.

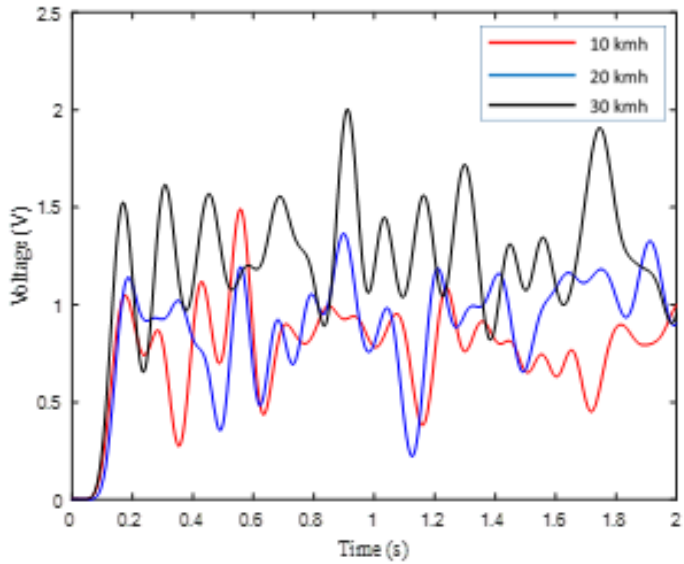
Dari Gambar 4.18, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan maka tegangan dan daya yang dibangkitkan semakin besar. Hal tersebut terjadi karena ketika kecepatan semakin tinggi, maka frekuensi dari BS-RESA juga meningkat, sehingga putaran generator meningkat dan menghasilkan tegangan dan daya bangkitan yang semakin besar.

## ➤ **Tegangan dan Daya yang Dihasilkan BS-RESA dengan Nilai Hambatan 20 ohm**

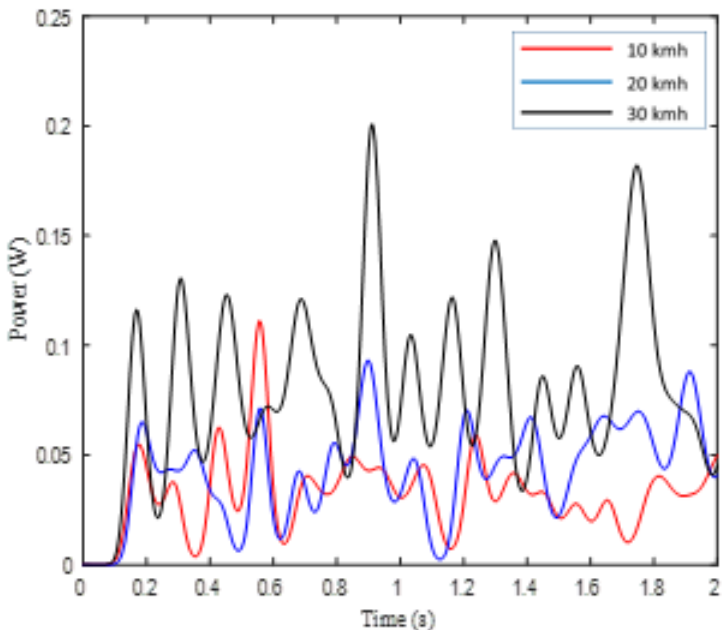
### **i. Kontur Jalan Aspal**

Pengujian pertama dilakukan melewati jalan aspal dengan 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/jam, 20 km/jam, dan 30

km/jam. Berikut data tegangan bangkitan dan daya melewati jalan aspal (jalan rata).



(a)



(b)

**Gambar 4.19** Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui Jalan Aspal dengan Hambatan 20 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/jam, 20 km/jam, dan 30 km/jam

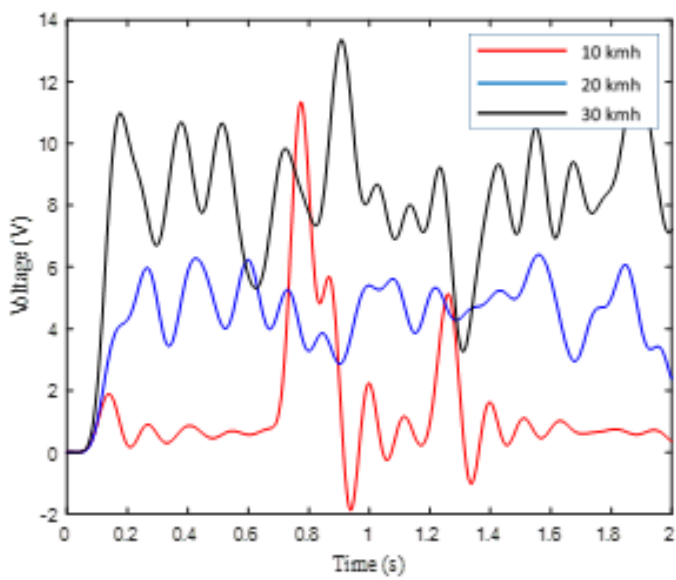
Pada Gambar (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/jam adalah sebesar 1.491 V dengan daya maksimum sebesar 0.111 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/jam adalah sebesar 1.355 V dengan daya maksimum sebesar 0.091 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 30 km/jam adalah sebesar 2.004 V dengan daya maksimum sebesar 0.2 W.

Dari kedua gambar tersebut, dapat dilihat bahwa tegangan dan daya yang dihasilkan tidak berpola dan nilainya sangat kecil, hal tersebut dikarenakan kontur jalan aspal yang cukup halus sehingga sedikit sekali getaran yang terjadi pada kendaraan. Saat melewati jalan aspal dari 3 variasi kecepatan yang dilakukan ketiganya memiliki pola yang berbeda dikarenakan titik jalan yang dilewati dapat berbeda. Dari grafik-grafik tersebut, dapat disimpulkan karakteristik energi bangkitannya mirip pada saat melewati jalan paving, hanya saja energi bangkitannya jauh lebih kecil.

Pada Gambar 4.19, dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan, 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.

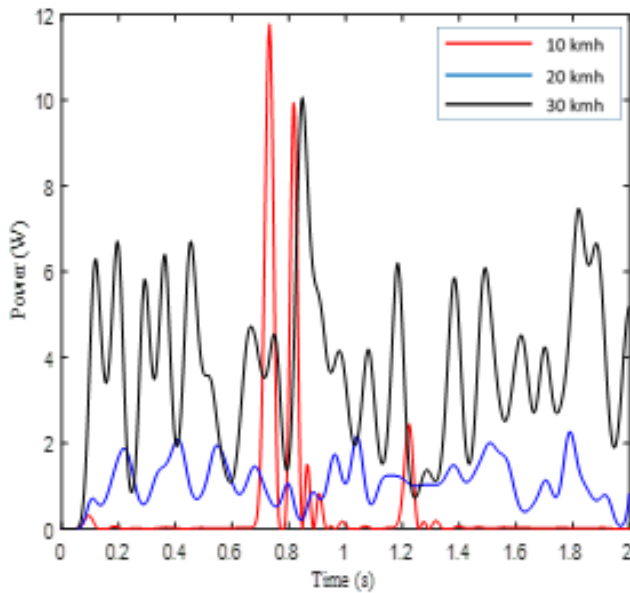
## **ii. Kontur Jalan Paving**

Pengujian selanjutnya dilakukan melewati jalan paving dengan 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/jam, 20 km/jam, dan 30 km/jam. Berikut data tegangan bangkitan dan daya melewati jalan paving.



(a)





(b)

**Gambar 4.20** Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui Jalan Paving dengan Hambatan 20 Ohm pada Kecepatan 10 km/jam, 20 km/jam, dan 30 km/jam

Pada Gambar (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/jam adalah sebesar 9.1 V dengan daya maksimum sebesar 4.14 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/jam adalah sebesar 6.17 V dengan daya maksimum sebesar 1.903 W. Selanjutnya, tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 30 km/jam adalah sebesar 12.58 V dengan daya maksimum sebesar 7.91 W.

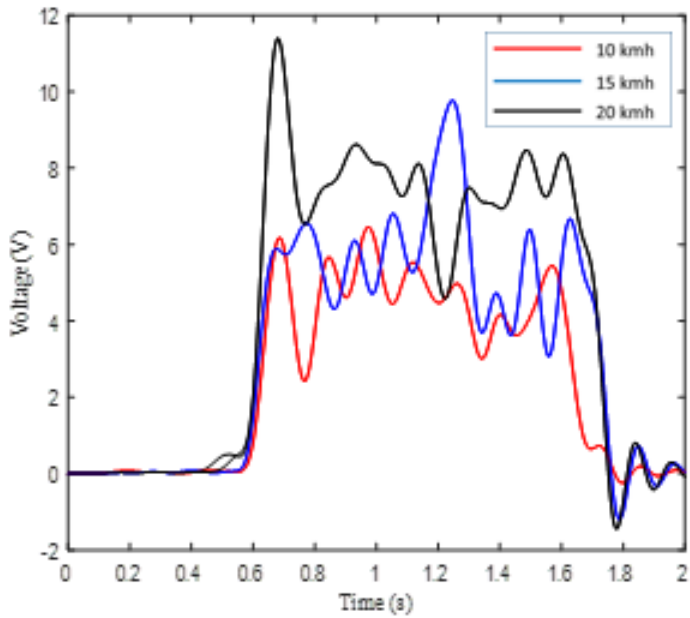
Dari kedua gambar diatas, dapat dilihat bahwa grafik tersebut tidak berpola, tidak seperti saat melalui *speedbump* maupun *speedtrap*. Pada setiap variasi kecepatan menghasilkan pola grafik yang berbeda-beda. Ini mirip dengan yang terjadi pada jalan aspal, namun dengan nilai bangkitan yang lebih besar. 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. Hal lain yang menyebabkan perbedaan tersebut adalah pada saat pengambilan data dari 3 variasi kecepatan tersebut titik jalan yang dilalui dapat berbeda sehingga hasil yang di dapatkan juga sedikit berbeda. Dari data diatas dapat disimpulkan pada jalan paving, energi yang dihasilkan sangat bergantung pada kondisi jalan tersebut.

Pada Gambar 4.20, keduanya menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan kendaraan maka tegangan dan daya bangkitannya juga semakin besar. Hal tersebut sama halnya pada saat melewati *speedbump* dan *speedtrap*, 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. Pada Gambar 4.20 (a) sendiri terjadi beberapa tegangan bangkitan yang menunjukkan nilai negatif. Hal ini disebabkan posisi *ball screw nut* yang melampaui posisi awalnya.

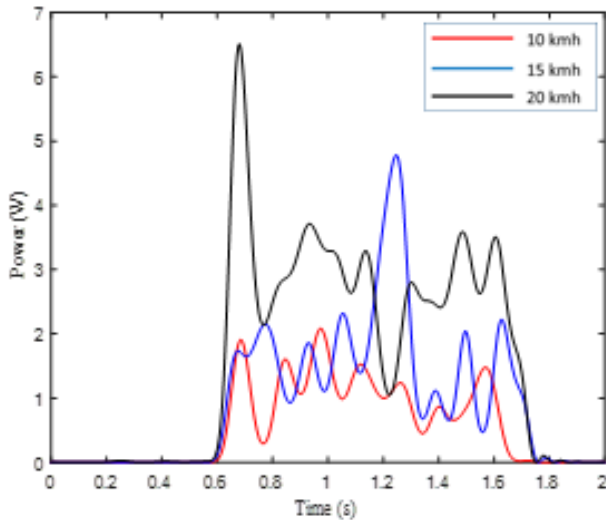
### iii. Kontur Jalan *Speedtrap*

Pengujian ketiga dilakukan melewati *speedtrap* dengan 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Sama halnya pada saat melewati *speedbump*, pengujian

melalui ini juga diberi jarak 3 meter sebelum speedtrap sebagai acuan titik awal. Berikut data tegangan bangkitan dan daya melewati speedtrap.



(a)



(b)

**Gambar 4.21** Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedtrap* dengan Hambatan 20 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam

Pada Gambar 4.21 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/jam adalah sebesar 6.43 V dengan daya maksimum sebesar 2.067 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/jam adalah sebesar 9.542 V dengan daya maksimum sebesar 4.552 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/jam adalah sebesar 11.38 V dengan daya maksimum sebesar 6.475 W.

Dari kedua gambar, dapat dilihat pada saat melewati *speedtrap* grafik yang didapat menghasilkan beberapa puncak dengan ketinggian yang hampir sama dan berulang, atau dapat

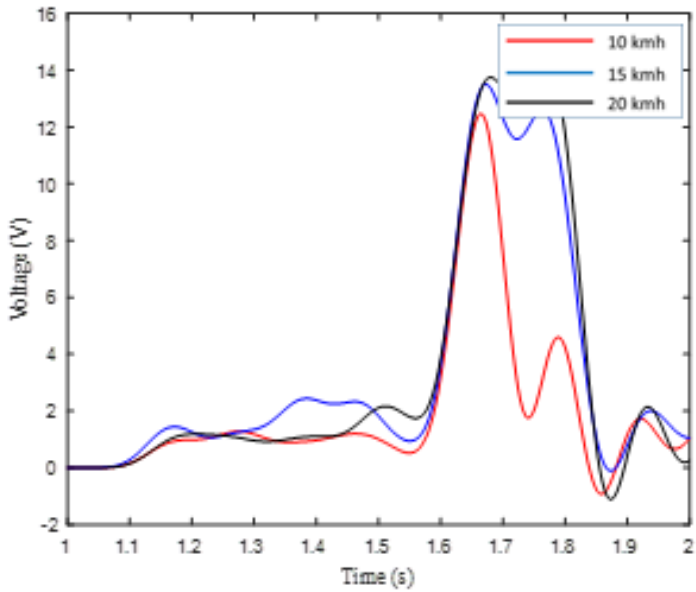
dikatakan menghasilkan tegangan dan daya bangkitan yang relatif konstan pada waktu yang cukup lama, berbeda dengan saat melewati *speedbump* yang hanya menghasilkan 1 puncak besar. Hal tersebut dikarenakan pada 1 *speedtrap* terdapat 4 buah *bump*, sehingga menghasilkan tegangan dan daya yang cukup konstan dalam waktu tertentu. Namun, titik puncaknya tidak dapat setinggi pada saat melewati *speedbump* karena ketinggian tiap *bump* pada *speedtrap* hanya 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 halus sehingga daya bangkitan yang dihasilkan sangat kecil. Dapat disimpulkan pada saat melewati *speedtrap*, BS-RESA dapat menghasilkan energi cukup konstan dengan range waktu yang cukup lama dibandingkan pada saat melewati *speedbump*, walaupun besarnya tidak sebesar pada saat melewati *speedbump*.

Dari Gambar 4.21, 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. Pada Gambar 4.21 (a) sendiri terjadi beberapa tegangan bangkitan yang menunjukkan nilai negatif. Hal ini disebabkan posisi *ball screw nut* yang melampaui posisi awalnya.

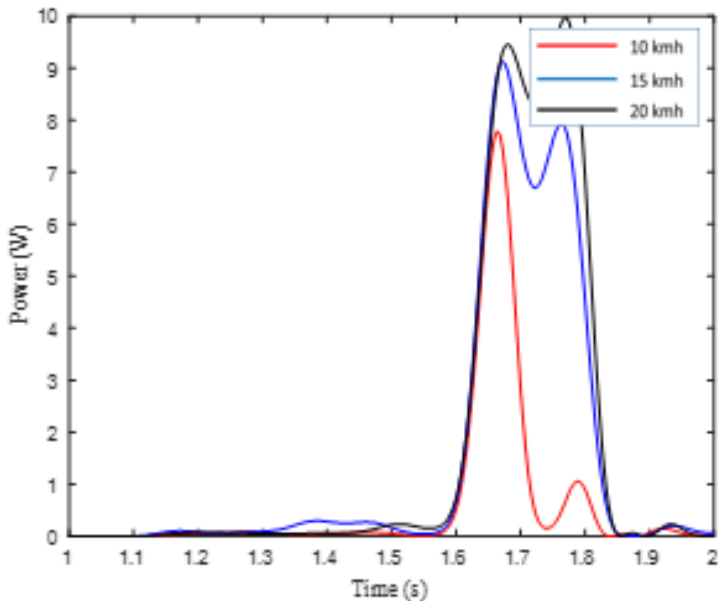
#### **iv. Kontur Jalan *Speedbump***

Pengujian terakhir dilakukan melewati *speedbump* dengan 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20

km/jam. Untuk titik waktu 0 dimulai pada saat ban depan menghentak *speedbump*. Berikut data tegangan bangkitan melewati *speedbump*.



(a)



(b)

**Gambar 4.22** Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* dengan Hambatan 20 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam

Pada Gambar 4.22 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/jam adalah sebesar 13.6 V dengan daya maksimum sebesar 9.248 W. Lonjakan yang tinggi pada grafik mengindikasikan saat dimana roda mulai melewati *speedbump* sehingga membuat BS-RESA bergerak. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/jam adalah sebesar

14.06 V dengan daya maksimum sebesar 13.178 W. Pada grafik tersebut dapat dilihat adanya tegangan bangkitan yang relative kecil rata-rata 0.98 V sebelum melewati *speedbump*, hal tersebut diakibatkan kontur jalan yang tidak rata. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/jam adalah sebesar 14.32 V dengan daya maksimum sebesar 13.67 W.

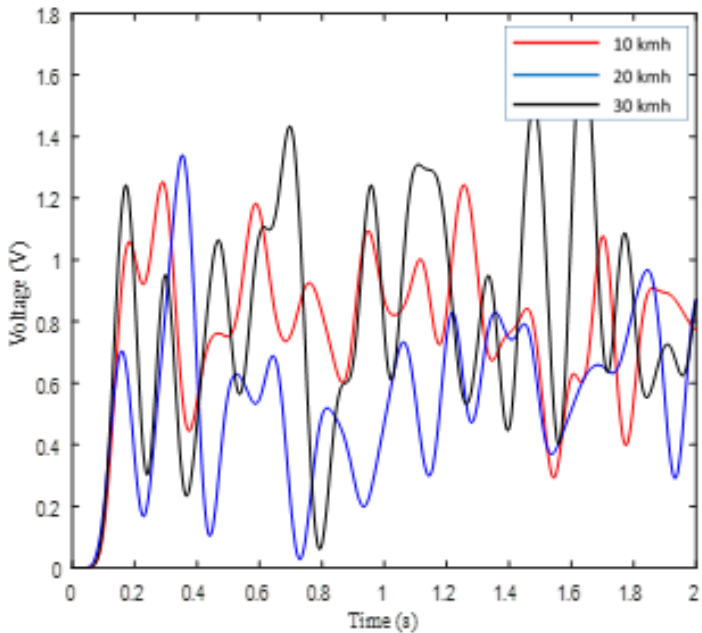
Pada saat melewati *speedbump*, grafik tegangan dan daya bangkitan memiliki 1 puncak besar, hal tersebut diakibatkan karena bump yang mencapai 10 cm, sehingga membuat ball screw pada BS-RESA bertranslasi cukup besar dan dapat menghasilkan daya cukup besar. Kemudian setelah melewati *speedbump*, tegangan dan daya turun drastis. Terapat juga puncak grafik yang lebih rendah, yang terjadi sebelum puncak grafik utama. Hal tersebut diakibatkan adanya kontur jalan yang tidak rata sebelum/sesudah *speedbump* sehingga membuat hentakan pada kendaraan. Pada detik awal juga terdapat tegangan bangkitan yang diakibatkan kontur jalan paving sebelum melalui *speedbump*. Dapat disimpulkan bahwa saat melewati *speedbump*, BS-RESA dapat menghasilkan energi cukup besar namun hanya dalam waktu yang singkat.

Dari Gambar 4.22, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan maka tegangan dan daya yang dibangkitkan semakin besar. Hal tersebut terjadi karena ketika kecepatan semakin tinggi, maka frekuensi dari BS-RESA juga meningkat, sehingga putaran generator meningkat dan menghasilkan tegangan dan daya bangkitan yang semakin besar. Pada Gambar 4.22 (a) sendiri terjadi beberapa tegangan bangkitan yang menunjukkan nilai negatif. Hal ini disebabkan posisi *ball screw nut* yang melampaui posisi awalnya.

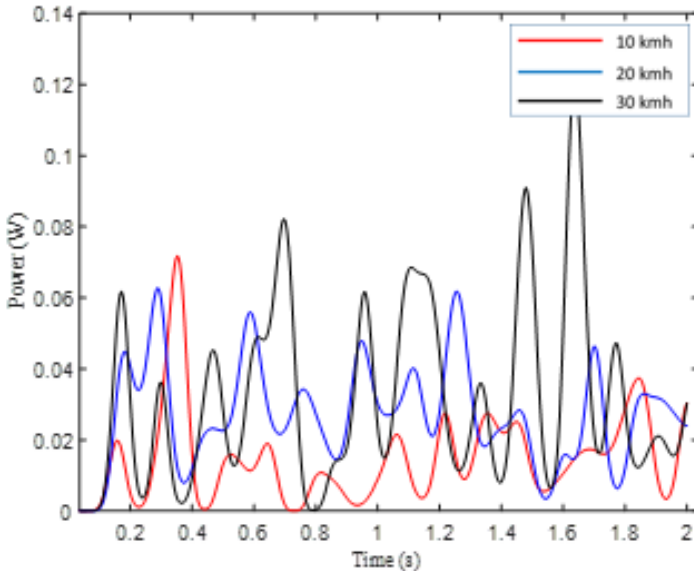


➤ **Tegangan dan Daya yang Dihasilkan BS-RESA dengan Nilai Hambatan 20 ohm**  
**i. Kontur Jalan Aspal**

Pengujian pertama dilakukan melewati jalan aspal dengan 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/jam, 20 km/jam, dan 30 km/jam. Berikut data tegangan bangkitan dan daya melewati jalan aspal (jalan rata).



(a)



(b)

**Gambar 4.23** Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui Jalan Aspal dengan Hambatan 25 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/jam, 20 km/jam, dan 30 km/jam

Pada Gambar 4.23 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/jam adalah sebesar 1.34 V dengan daya maksimum sebesar 0.119 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/jam adalah sebesar 1.246 V dengan daya maksimum sebesar 0.103 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 30 km/jam adalah sebesar 1.756 V dengan daya maksimum sebesar 0.205 W.

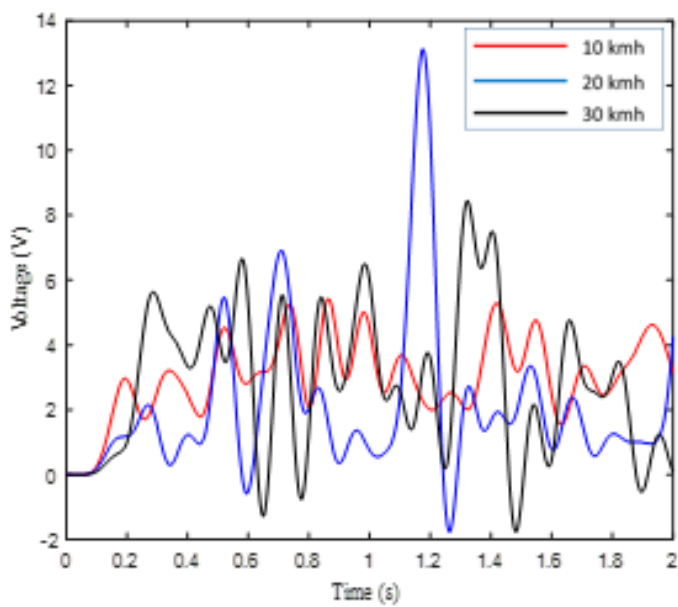
Dari kedua gambar tersebut, dapat dilihat bahwa tegangan dan daya yang dihasilkan tidak berpola dan nilainya sangat

kecil, hal tersebut dikarenakan kontur jalan aspal yang cukup halus sehingga sedikit sekali getaran yang terjadi pada kendaraan. Saat melewati jalan aspal dari 3 variasi kecepatan yang dilakukan ketiganya memiliki pola yang berbeda dikarenakan titik jalan yang dilewati dapat berbeda. Dari grafik-grafik tersebut, dapat disimpulkan karakteristik energi bangkitannya mirip pada saat melewati jalan paving, hanya saja energi bangkitannya jauh lebih kecil.

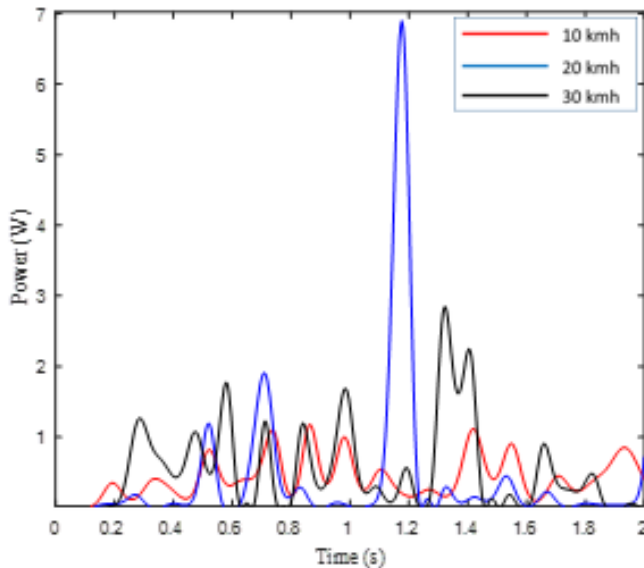
Pada Gambar 4.23, dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan, tegangan dan daya bangkitan yang dihasilkan semakin tinggi. Hal tersebut diakibatkan karena naiknya frekuensi putaran generator pada saat kendaraan melaju lebih cepat, walaupun perbedaan tegangan maupun energinya tidak terlalu signifikan. Terdapat pula lonjakan tegangan maupun daya pada beberapa titik, hal ini disebabkan adanya lubang pada jalan aspal.

## **ii. Kontur Jalan Paving**

Pengujian selanjutnya dilakukan melewati jalan paving dengan 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/jam, 20 km/jam, dan 30 km/jam. Berikut data tegangan bangkitan dan daya melewati jalan paving.



(a)



(b)

**Gambar 4.24** Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui Jalan Paving dengan Hambatan 25 Ohm pada Kecepatan 10 km/jam, 20 km/jam, dan 30 km/jam

Pada Gambar 4.24 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/jam adalah sebesar 4.904 V dengan daya maksimum sebesar 1.603 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/jam adalah sebesar 11.01 V dengan daya maksimum sebesar 8.081 W. Selanjutnya, tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 30 km/jam adalah sebesar 8.340 V dengan daya maksimum sebesar 4.637 W.

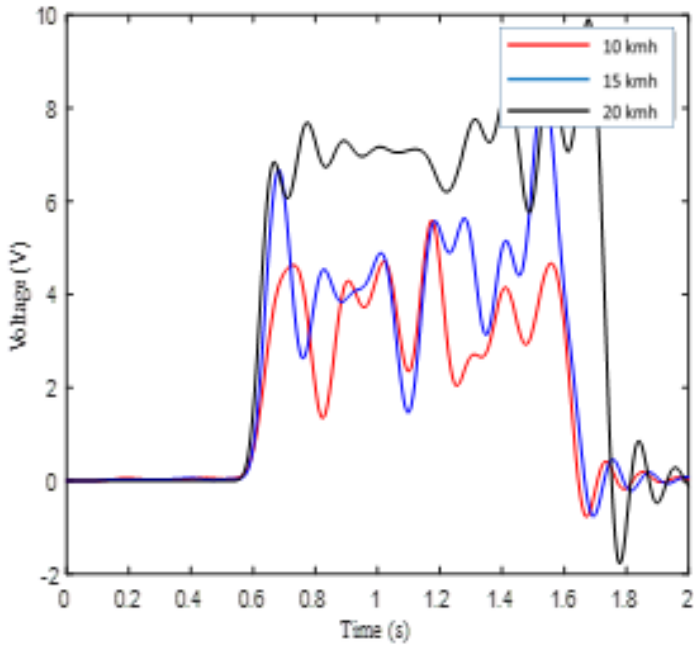
Dari kedua gambar diatas, dapat dilihat bahwa grafik tersebut tidak berpola, tidak seperti saat melalui *speedbump* maupun *speedtrap*. Pada setiap variasi kecepatan menghasilkan pola grafik yang berbeda-beda. Ini mirip dengan yang terjadi pada jalan aspal namun dengan nilai bangkitan yang lebih besar. 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. Hal lain yang menyebabkan perbedaan tersebut adalah pada saat pengambilan data dari 3 variasi kecepatan tersebut titik jalan yang dilalui dapat berbeda sehingga hasil yang di dapatkan juga sedikit berbeda. Dari data diatas dapat disimpulkan pada jalan paving, energi yang dihasilkan sangat bergantung pada kondisi jalan tersebut.

Pada Gambar 4.24, keduanya menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan kendaraan maka tegangan dan daya bangkitannya juga semakin besar. Hal tersebut sama halnya pada saat melewati *speedbump* dan *speedtrap*, 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. Pada Gambar 4.24 (a) sendiri terjadi beberapa tegangan bangkitan yang menunjukkan nilai negatif. Hal ini disebabkan posisi *ball screw nut* yang melampaui posisi awalnya.

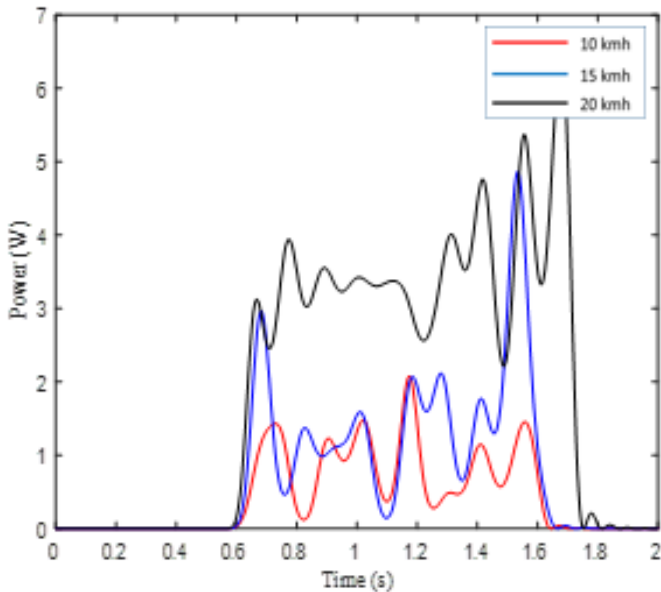
### **iii. Kontur Jalan *Speedtrap***

Pengujian ketiga dilakukan melewati *speedtrap* dengan 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Sama halnya pada saat melewati *speedbump*, pengujian

melalui ini juga diberi jarak 3 meter sebelum speedtrap sebagai acuan titik awal. Berikut data tegangan bangkitan dan daya melewati speedtrap.



(a)



(b)

**Gambar 4.25** Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedtrap* dengan Hambatan 25 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam

Pada Gambar 4.25 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/jam adalah sebesar 5.688 V dengan daya maksimum sebesar 2.156 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/jam adalah sebesar 8.477 V dengan daya maksimum sebesar 4.79 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/jam adalah sebesar 9.867 V dengan daya maksimum sebesar 6.49 W.

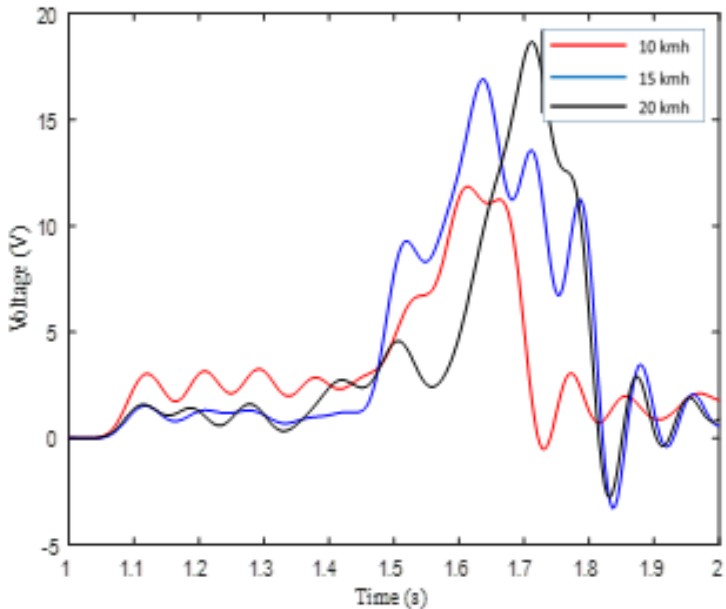


Dari kedua gambar, dapat dilihat pada saat melewati *speedtrap* grafik yang didapat menghasilkan beberapa puncak dengan ketinggian yang hampir sama dan berulang, atau dapat dikatakan menghasilkan tegangan dan daya bangkitan yang relatif konstan pada waktu yang cukup lama, berbeda dengan saat melewati *speedbump* yang hanya menghasilkan 1 puncak besar. Hal tersebut dikarenakan pada 1 *speedtrap* terdapat 4 buah *bump*, sehingga menghasilkan tegangan dan daya yang cukup konstan dalam waktu tertentu. Namun, titik puncaknya tidak dapat setinggi pada saat melewati *speedbump* karena ketinggian tiap *bump* pada *speedtrap* hanya berkisar 1.5 cm. Sebelum melewati *speedtrap*, dapat dilihat pada grafik hampir tidak ada tegangan maupun daya bangkitannya. Hal tersebut dikarenakan sebelum melewati *speedbump*, kedaraan melewati jalan aspal yang halus sehingga daya bangkitan yang dihasilkan sangat kecil kecil. Dapat disimpulkan pada saat melewati *speedtrap*, BS-RESA dapat menghasilkan energi cukup konstan dengan range waktu yang cukup lama dibandingkan pada saat melewati *speedbump*, walaupun besarnya tidak sebesar pada saat melewati *speedbump*.

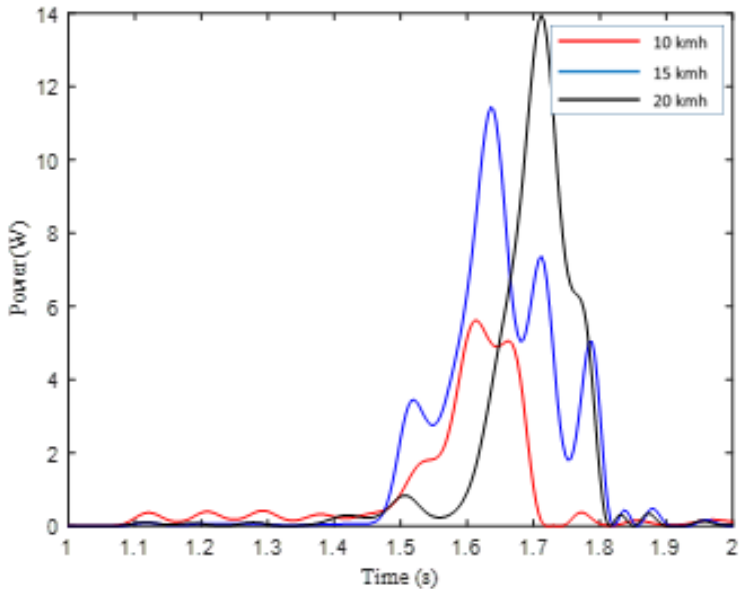
Dari Gambar, dapat dilihat semakin tinggi kecepatan maka tegangan dan daya yang dibangkitkan juga semakin besar. Hal ini sama halnya pada saat melewati *speedbump*, semakin besar kecepatan maka frekuensi semakin tinggi, yang menyebabkan putaran generator meningkat, kemudian tegangan dan daya bangkitan juga semakin meningkat. Pada Gambar 4.25 (a) sendiri terjadi beberapa tegangan bangkitan yang menunjukkan nilai negatif. Hal ini disebabkan posisi *ball screw nut* yang melampaui posisi awalnya.

#### iv. Kontur Jalan *Speedbump*

Pengujian terakhir dilakukan melewati *speedbump* dengan 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam. Untuk titik waktu 0 dimulai pada saat ban depan menghentak *speedbump*. Berikut data tegangan bangkitan melewati *speedbump*.



(a)



(b)

**Gambar 4.26** Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* dengan Hambatan 25 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam

Pada Gambar 4.26 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/jam adalah sebesar 11.85 V dengan daya maksimum sebesar 9.361 W. Lonjakan yang tinggi pada grafik mengindikasikan saat dimana roda menghentak *speedbump* sehingga membuat BS-RESA bergerak. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/jam adalah sebesar 18.57 V dengan daya maksimum sebesar 13.793 W. Pada grafik

tersebut dapat dilihat adanya tegangan bangkitan yang relative kecil rata-rata 0.98 V sebelum melewati *speedbump*, hal tersebut diakibatkan kontur jalan yang tidak rata. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/jam adalah sebesar 16.93 V dengan daya maksimum sebesar 11.464 W.

Pada saat melewati *speedbump*, grafik tegangan dan daya bangkitan memiliki 1 puncak besar, hal tersebut diakibatkan karena bump 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. Terapat juga puncak grafik yang lebih rendah, yang terjadi sebelum puncak grafik utama. Hal tersebut diakibatkan adanya kontur jalan yang tidak rata sebelum/sesudah *speedbump* sehingga membuat hentakan pada kendaraan. Pada detik awal juga terdapat tegangan bangkitan yang diakibatkan kontur jalan paving sebelum melalui *speedbump*. Dapat disimpulkan bahwa saat melewati *speedbump*, BS-RESA dapat menghasilkan energi cukup besar namun hanya dalam waktu yang singkat.

Dari Gambar 4.26, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kecepatan maka tegangan dan daya yang dibangkitkan semakin besar. Hal tersebut terjadi karena ketika kecepatan semakin tinggi, maka frekuensi dari BS-RESA juga meningkat, sehingga putaran generator meningkat dan menghasilkan tegangan dan daya bangkitan yang semakin besar. Pada Gambar 4.26 (a) sendiri terjadi beberapa tegangan bangkitan yang menunjukkan nilai negatif. Hal ini disebabkan posisi *ball screw nut* yang melampaui posisi awalnya.

Dari semua pengambilan data tersebut, dicari tegangan bangkitan dan daya bangkitan rata-rata dengan metode *Root Mean Square* (RMS) menggunakan MS Excel. Data-data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 s.d Tabel 4.6.

**Tabel 4.1** RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Jalan Paving dan Jalan Aspal dengan Hambatan 15 Ohm

15 Ohm	Variasi Jalan			
Variasi Kecepatan	Jalan Paving		Jalan Aspal	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
10 km/jam	3,563	0,508	1,11	0,049
20 km/jam	7,699	2,371	1,28	0,065
30 km/jam	9,412	5,917	1,298	0,067

**Tabel 4.2** RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* dan *Speedtrap* dengan Hambatan 15 Ohm

15 Ohm	Variasi Jalan			
Variasi Kecepatan	Polisi Tidur		<i>Speedtrap</i>	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
10 km/jam	5,096	1,038	4,171	0,695
15 km/jam	5,191	1,078	5,285	1,117
20 km/jam	6,512	1,696	8,142	2,651

**Tabel 4.3** RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Jalan Paving dan Jalan Aspal dengan Hambatan 20 Ohm

20 Ohm	Variasi Jalan			
Variasi Kecepatan	Jalan Paving		Jalan Aspal	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
10 km/jam	3,464	0,6	1,039	0,054
20 km/jam	5,727	1,64	1,105	0,061
30 km/jam	8,927	5,126	1,606	0,129

**Tabel 4.4** RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* dan *Speedtrap* dengan Hambatan 20 Ohm

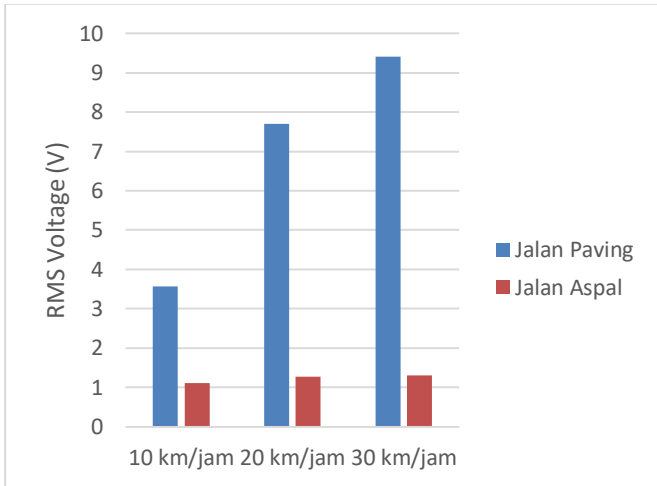
20 Ohm	Variasi Jalan			
Variasi Kecepatan	Polisi Tidur		<i>Speedtrap</i>	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
10 km/jam	3,324	0,552	4,055	0,822
15 km/jam	4,614	1,064	5,309	1,409
20 km/jam	5,197	1,35	6,487	2,104

**Tabel 4.5** RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui Jalan Paving dan Jalan Aspal dengan Hambatan 25 Ohm

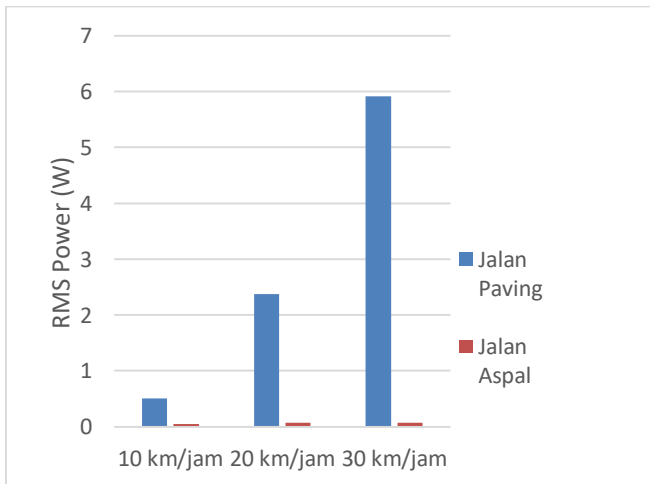
25 Ohm	Variasi Jalan			
Variasi Kecepatan	Jalan Paving		Jalan Aspal	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
10 km/jam	4,4	1,29	0,853	0,048
20 km/jam	6,317	1,569	1,14	0,086
30 km/jam	7,426	3,271	1,717	0,196

**Tabel 4.6** RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* dan *Speedtrap* dengan Hambatan 25 Ohm

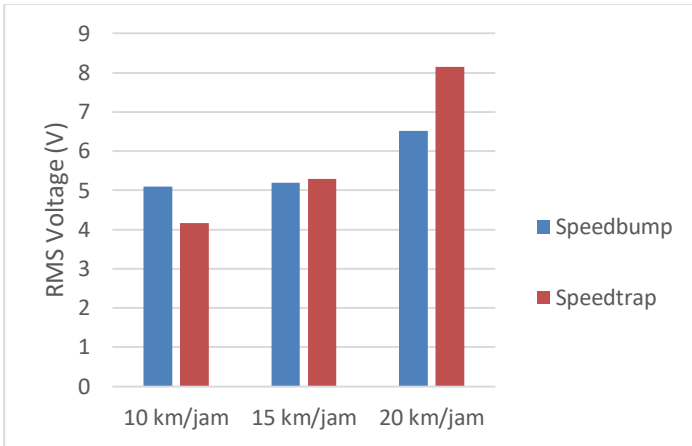
25 Ohm	Variasi Jalan			
Variasi Kecepatan	Polisi Tidur		<i>Speedtrap</i>	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
10 km/jam	4,059	1,098	3,206	0,685
15 km/jam	5,661	2,136	4,253	1,206
20 km/jam	6,395	2,727	5,722	2,183



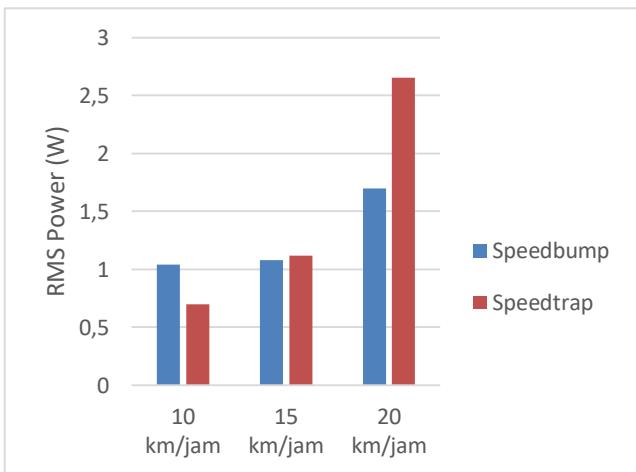
(a)



(b)



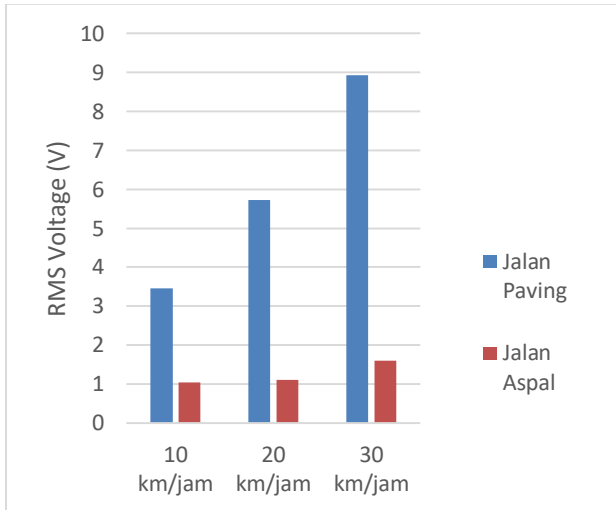
(c)



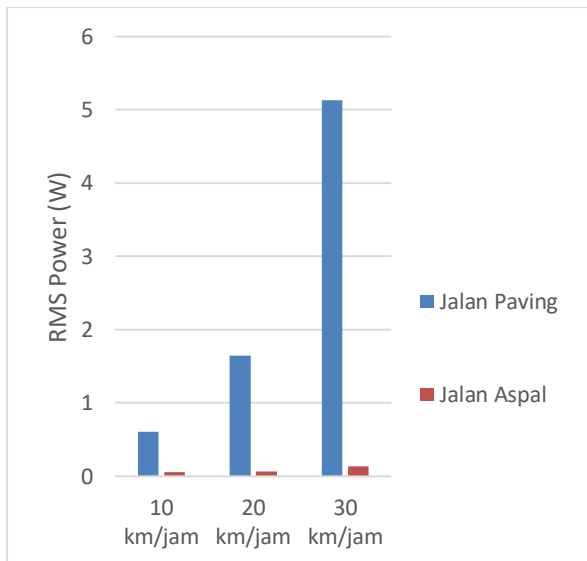
(d)

**Gambar 4.27** Diagram Batang RMS Tegangan saat Melewati (a) Paving dan Aspal, (c) Speedbump dan Speedtrap. Diagram Batang RMS Daya saat Melewati (b) Aspal dan Paving, (d) Speedbump dan Speedtrap dengan hambatan 15 Ohm

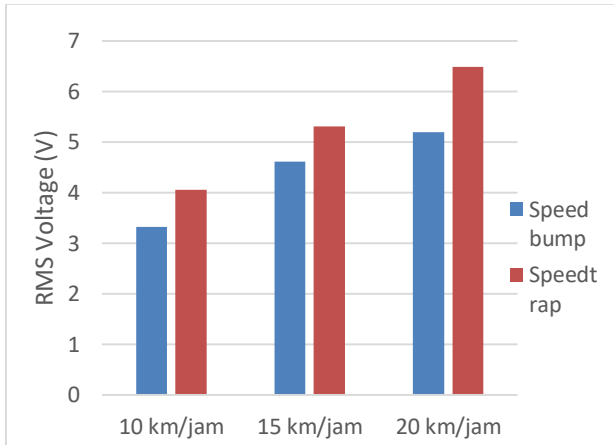




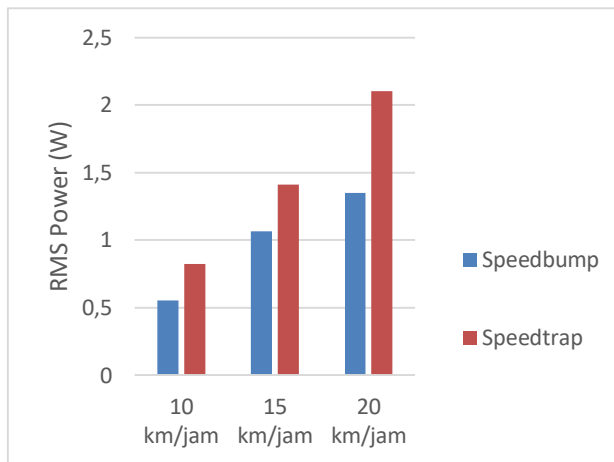
(a)



(b)

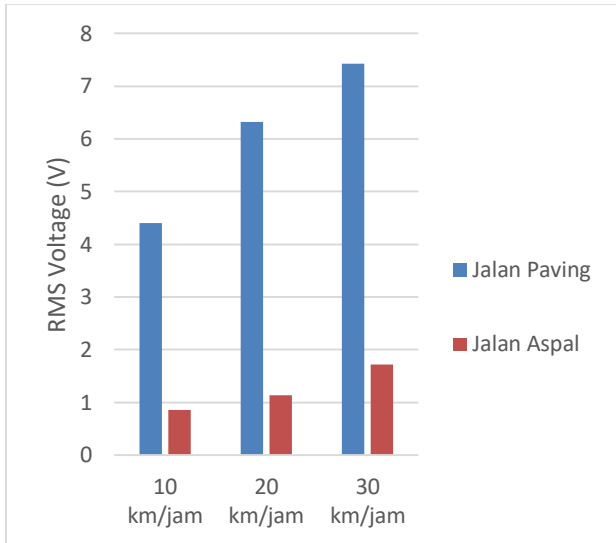


(c)

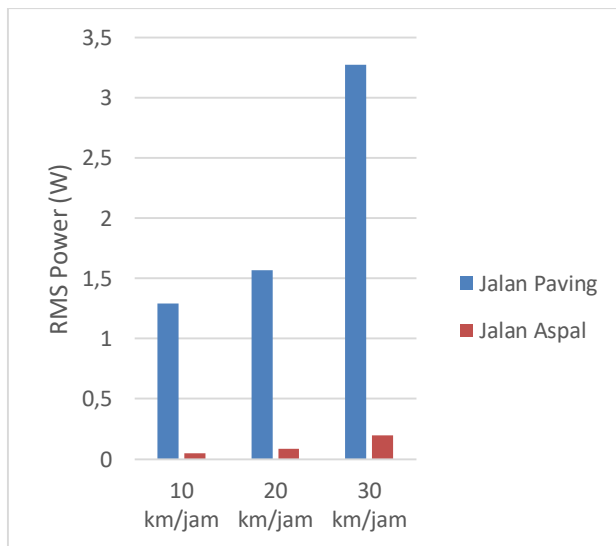


(d)

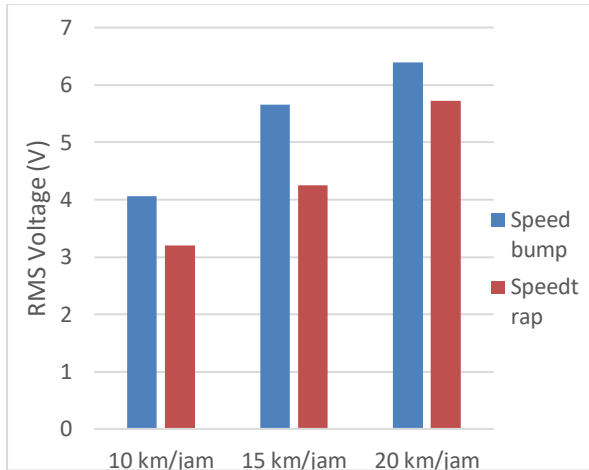
**Gambar 4.28** Diagram Batang RMS Tegangan saat Melewati (a) Paving dan Aspal, (c) Speedbump dan Speedtrap. Diagram Batang RMS Daya saat Melewati (b) Aspal dan Paving, (d) Speedbump dan Speedtrap dengan hambatan 20 Ohm



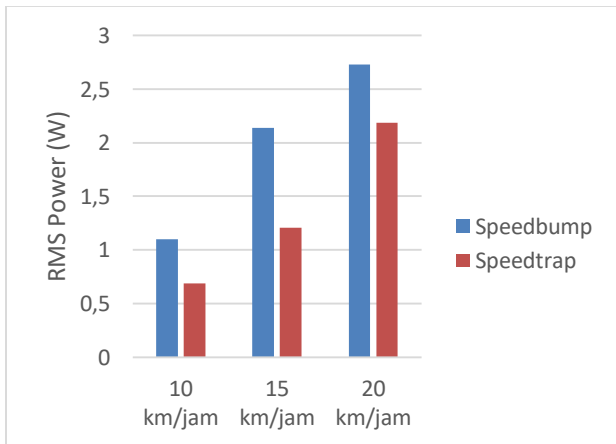
(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar 4.29** Diagram Batang RMS Tegangan saat Melewati (a) Paving dan Aspal, (c) Speedbump dan Speedtrap. Diagram Batang RMS Daya saat Melewati (b) Aspal dan Paving, (d) Speedbump dan Speedtrap dengan hambatan 25 Ohm

RMS daya terbesar ditunjukkan pada saat melewati jalanpaving pada kecepatan 30 km/jam dan hambatan 15 Ohm yaitu sebesar 5.917 W. Hal tersebut dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan yang cukup tinggi, ditambah kontur jalan paving yang dilewati tidak rata yang menyebabkan BS-RESA dapat menghasilkan energi pada kurun waktu yang cukup lama. Kemudian RMS daya terkecil terjadi pada saat melewati jalan aspal dengan kecepatan 10 km/jam dan resistansi 25 Ohm yaitu sebesar 0.048 W. Jalan aspal cenderung halus sehingga tidak menimbulkan getaran pada BS-RESA.

Dari kedua 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 lebih besar.

#### **4.4.2 Analisa Respon Percepatan Vertikal Kendaraan Antara *Conventional Shock Absorber* dan BS-RESA**

Pada sub bab ini, dilakukan pembahasan mengenai perbandingan respon percepatan vertikal kendaraan antara *conventional shock absorber* dengan BS-RESA pada tiap variasi jalan dengan kecepatan berbeda. 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 bak sebelah kiri 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)

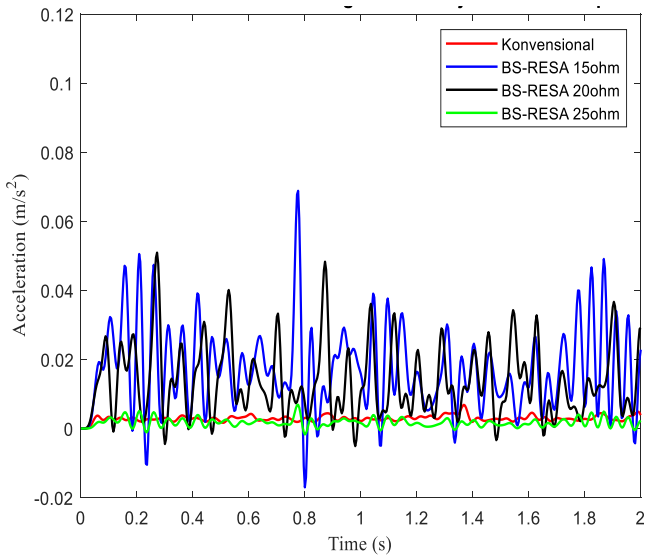
g : percepatan gravitasi ( $m/s^2$ )

Untuk nilai G diperoleh dari data angka pada *excel* dikalikan dengan skala pembacaan pada *oscilloscope*. Misal data angka yang diperoleh adalah 0.123 kemudian skala pembacaan *oscilloscope* adalah 100 mV, maka  $G = 0.123 \times 10 \text{ mV}$ .

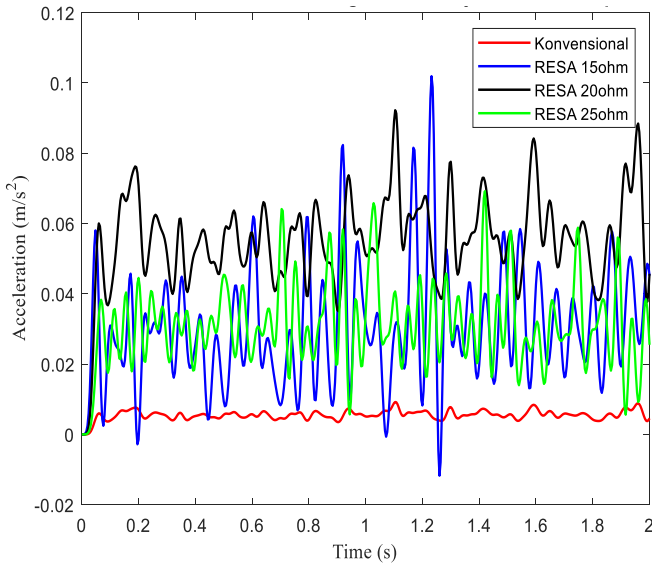
Berikut merupakan data perbandingan percepatan vertikal kendaraan saat menggunakan *conventional shock absorber* dan BS-RESA pada beberapa variasi jalan dengan kecepatan yang bervariasi.

### i. 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 paving dengan variasi kecepatan 10 km/jam, 20 km/jam dan 30 km/jam.



**Gambar 4.30** Percepatan Vertikal Kendaraan di Jalan Aspal pada Kecepatan 20 km/h



**Gambar 4.31** Percepatan Vertikal Kendaraan di Jalan Aspal pada Kecepatan 30 km/h

Dari Gambar 4.30, pada kecepatan 10 km/jam didapat percepatan vertikal RMS pada *conventional shock absorber* sebesar  $0.0034 \text{ m/s}^2$  dan pada BS-RESA dengan hambatan 15 Ohm sebesar  $0.0328 \text{ m/s}^2$ , pada hambatan 20 Ohm sebesar  $0,0229 \text{ m/s}^2$  dan pada hambatan 25 Ohm sebesar  $0,002 \text{ m/s}^2$ . Kemudian dari Gambar 4.31, pada kecepatan 20 km/jam didapat percepatan vertikal RMS pada *conventional shock absorber* sebesar  $0.0033 \text{ m/s}^2$  dan pada BS-RESA dengan hambatan 15 Ohm sebesar  $0.06 \text{ m/s}^2$ , pada hambatan 20 Ohm sebesar  $0,0545 \text{ m/s}^2$  dan pada hambatan 25 Ohm sebesar  $0,0048 \text{ m/s}^2$ . Selanjutnya pada Gambar 4.32, kecepatan 30 km/jam didapat percepatan vertikal RMS pada *conventional shock absorber* sebesar  $0.0016 \text{ m/s}^2$  dan pada BS-RESA

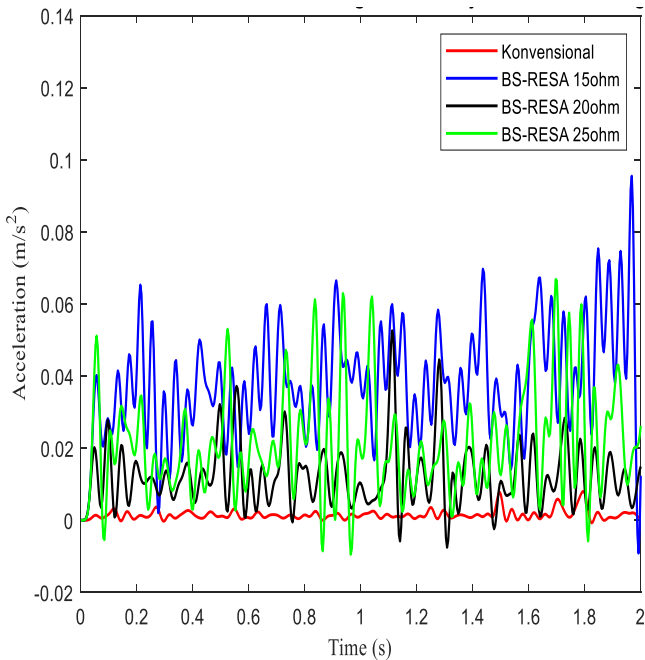


dengan hambatan 15 Ohm sebesar  $0.0567 \text{ m/s}^2$ , pada hambatan 20 Ohm sebesar  $0,0415 \text{ m/s}^2$  dan pada hambatan 25 Ohm sebesar  $0,0394 \text{ m/s}^2$ . Dari ketiga gambar tersebut, besarnya percepatan vertikal RMS yang didapatkan BS-RESA jauh lebih besar daripada *conventional shock absorber* ketika menggunakan nilai hambatan 15 Ohm dan 20 Ohm namun ketika nilai hambatan 25 Ohm, perbedaannya tidak terlalu besar.

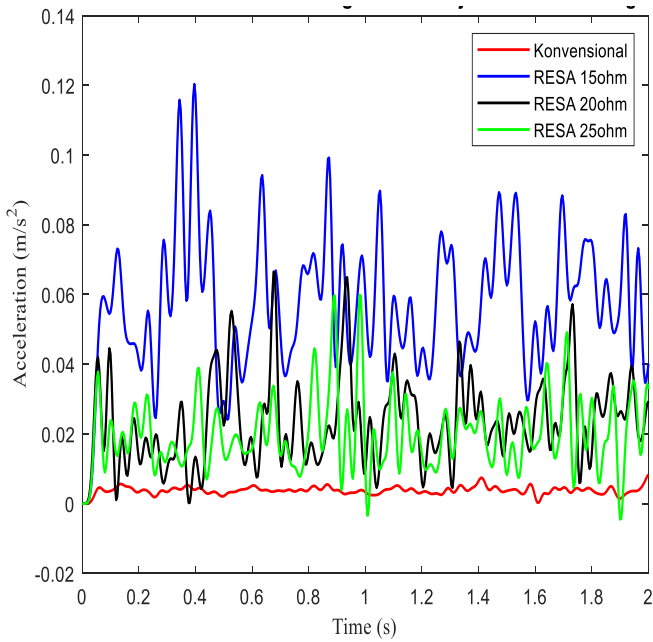
Pada pengujian melewati jalan aspal, pola grafik respon yang dihasilkan dari kedua jenis *shock absorber* tidak menentu dengan besar respon yang sangat kecil. Hal ini dikarenakan kontur jalan yang cukup halus sehingga tidak menimbulkan getaran yang cukup berarti pada kendaraan. Pada pengujian ini, BSRSA *spur gear* 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. Selain itu semakin kecil nilai hambatan maka respon percepatan vertikalnya naik. Fenomena ini sesuai dengan percobaan di lapangan dimana saat BS-RESA digerakkan secara manual dengan hambatan yang lebih kecil, maka akan lebih berat untuk menggerakkan BS-RESA secara translasi.

**ii. Analisa Respon Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melalui Jalan Paving**

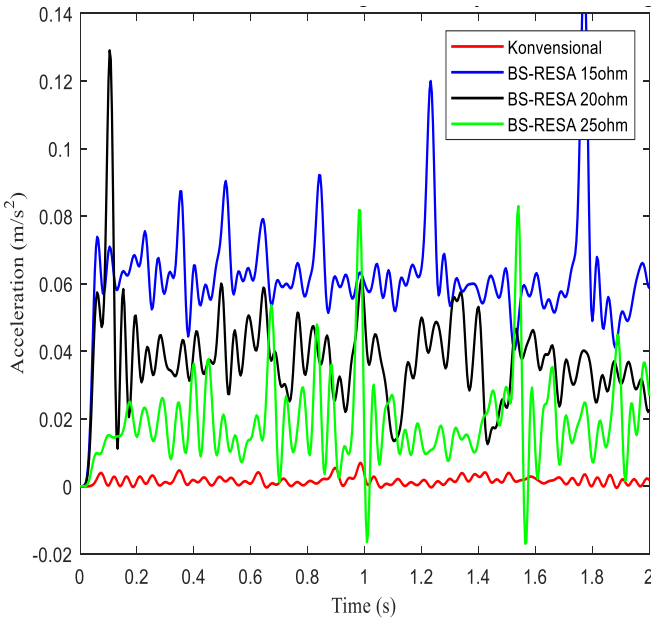
Pengambilan data ketiga dilakukan pada jalan paving. Berikut merupakan data perbandingan percepatan vertikal ketika melalui jalan paving dengan variasi kecepatan 10 km/jam, 20 km/jam dan 30 km/jam.



**Gambar 4.32** Percepatan Vertikal Kendaraan di Jalan Paving pada Kecepatan 10 km/h



**Gambar 4.33** Percepatan Vertikal Kendaraan di Jalan Paving pada Kecepatan 20 km/h.



**Gambar 4.34** Percepatan Vertikal Kendaraan di Jalan Paving pada Kecepatan 30 km/h.

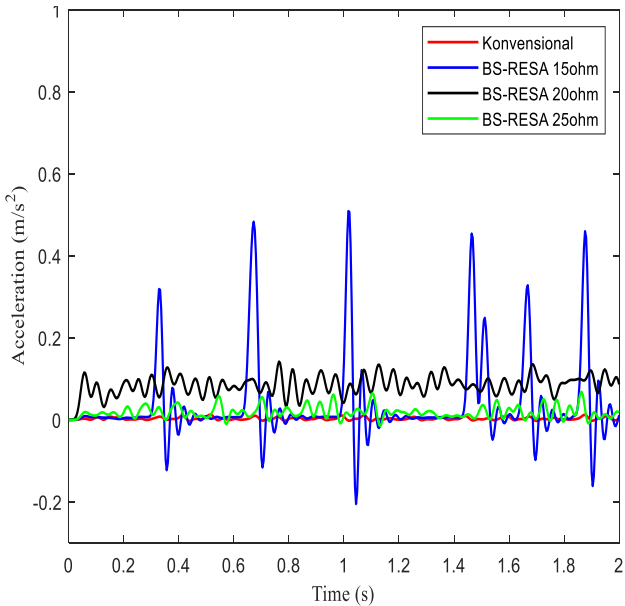
Dari Gambar 4.33, pada kecepatan 10 km/jam didapat percepatan vertikal RMS pada *conventional shock absorber* sebesar  $0.0134 m/s^2$  dan pada BS-RESA dengan hambatan 15 Ohm sebesar  $0.0455 m/s^2$ , pada hambatan 20 Ohm sebesar  $0,0246 m/s^2$  dan pada hambatan 25 Ohm sebesar  $0,0241 m/s^2$ . Kemudian dari Gambar 4.34, pada kecepatan 20 km/jam didapat percepatan vertikal RMS pada *conventional shock absorber* sebesar  $0.0143 m/s^2$  dan pada BS-RESA dengan hambatan 15 Ohm sebesar  $0.0599 m/s^2$ , pada hambatan 20 Ohm sebesar  $0,0345 m/s^2$  dan pada hambatan 25 Ohm sebesar  $0,0327 m/s^2$ . Selanjutnya pada Gambar 4.35, kecepatan 30

km/jam didapat percepatan vertikal RMS pada *conventional shock absorber* sebesar  $0.0156 \text{ m/s}^2$  dan pada BS-RESA dengan hambatan 15 Ohm sebesar  $0.0684 \text{ m/s}^2$ , pada hambatan 20 Ohm sebesar  $0,0397 \text{ m/s}^2$  dan pada hambatan 25 Ohm sebesar  $0,0349 \text{ m/s}^2$ . Dari ketiga gambar tersebut, besarnya percepatan vertikal RMS yang didapatkan BS-RESA jauh lebih besar daripada *conventional shock absorber* yaitu sekitar 3-6 kali lebih tinggi nilainya.

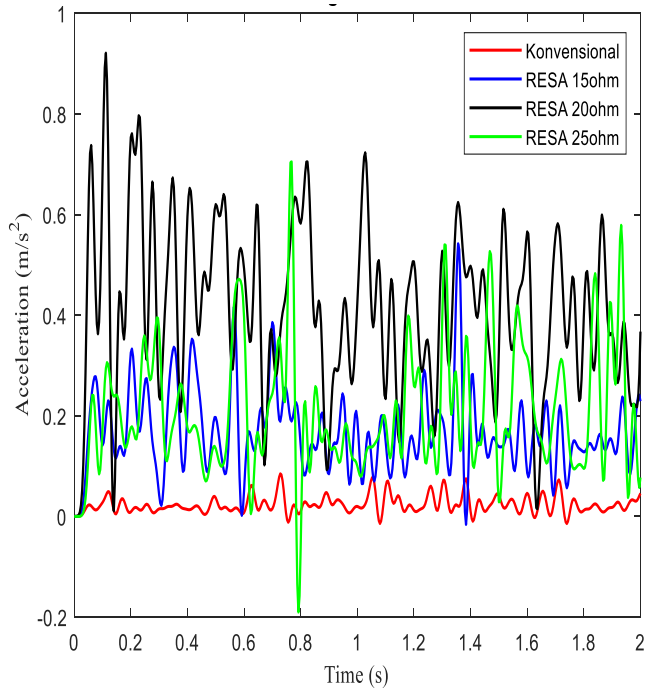
Dari ketiga grafik tersebut, ketiganya membentuk pola yang tidak teratur pada BS-RESA maupun *conventional shock absorber*. Hal tersebut diakibatkan oleh kontur jalan paving yang tidak menentu seperti adanya lubang pada paving, pemasangan paving yang tidak rata, noise dari accelerometer, dan kontur tanah yang menyebabkan pemasangan paving bergelombang. Kemudian ditinjau dari shock absorber yang digunakan, terlihat BS-RESA menghasilkan percepatan vertikal yang lebih besar dibandingkan shock absorber konvensional walaupun tidak sebesar pada saat melewati *speedbump* dan speedtrap. Hal tersebut menandakan bahwa BS-RESA tidak dapat meredam getaran sebaik *conventional shock absorber*. Kemudian jika dilihat dari grafik, dengan bertambahnya kecepatan, maka respon percepatan vertikal yang dihasilkan dari kedua *shock absorber* tersebut juga naik. Hal tersebut dikarenakan frekuensi pada shock absorber meningkat. Selain itu semakin kecil nilai hambatan maka respon percepatan vertikalnya naik. Fenomena ini sesuai dengan percobaan di lapangan dimana saat BS-RESA digerakkan secara manual dengan hambatan yang lebih kecil, maka akan lebih berat untuk menggerakkan BS-RESA secara translasi.

### iii. Analisa Respon Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melalui *Speedtrap*

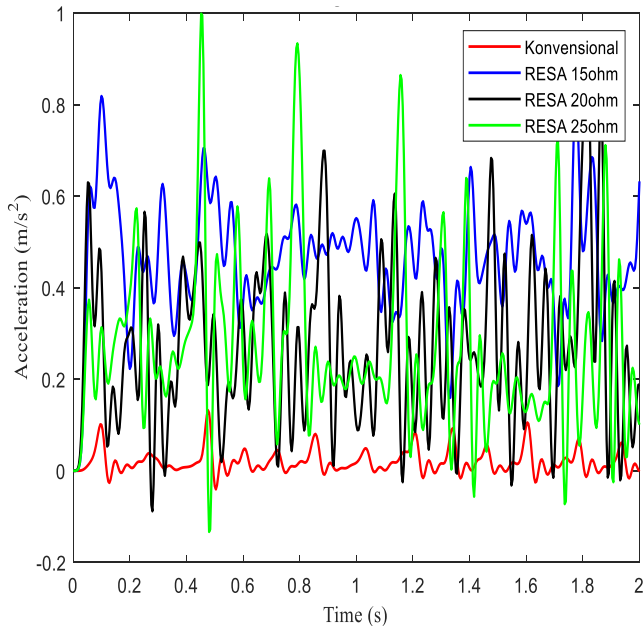
Pengambilan data selanjutnya dilakukan pada speedtrap. Pengambilan data dilakukan sekitar 3 meter sebelum melewati speedtrap sebagai acuan titik awal. Berikut merupakan data perbandingan percepatan vertikal ketika melalui speedtrap dengan variasi kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam dan 20 km/jam.



**Gambar 4.35** Percepatan Vertikal Kendaraan di *Speedtrap* pada Kecepatan 10 km/h.



**Gambar 4.36** Percepatan Vertikal Kendaraan di *Speedtrap* pada Kecepatan 15 km/h.



**Gambar 4.37** Percepatan Vertikal Kendaraan di *Speedtrap* pada Kecepatan 20 km/h.

Dari Gambar 4.36, pada kecepatan 10 km/jam didapat percepatan vertikal RMS pada *conventional shock absorber* sebesar  $0.043 \text{ m/s}^2$  dan pada BS-RESA dengan hambatan 15 Ohm sebesar  $0.2169 \text{ m/s}^2$ , pada hambatan 20 Ohm sebesar  $0.1405 \text{ m/s}^2$  dan pada hambatan 25 Ohm sebesar  $0.072 \text{ m/s}^2$ . Kemudian dari Gambar 4.37, pada kecepatan 15 km/jam didapat percepatan vertikal RMS pada *conventional shock absorber* sebesar  $0.0512 \text{ m/s}^2$  dan pada BS-RESA dengan hambatan 15 Ohm sebesar  $0.2605 \text{ m/s}^2$ , pada hambatan 20 Ohm sebesar  $0.5317 \text{ m/s}^2$  dan pada hambatan 25 Ohm sebesar  $0.2377 \text{ m/s}^2$ . Selanjutnya pada Gambar 4.38, kecepatan 20

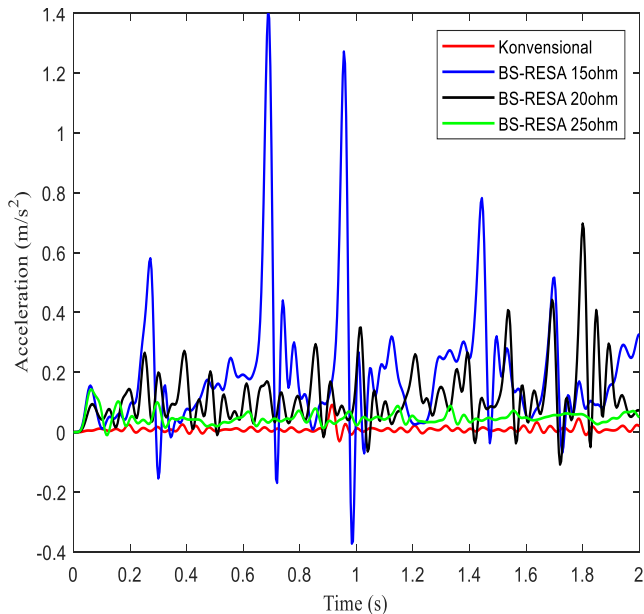


km/jam didapat percepatan vertikal RMS pada *conventional shock absorber* sebesar  $0.063 \text{ m/s}^2$  dan pada BS-RESA dengan hambatan 15 Ohm sebesar  $0.5149 \text{ m/s}^2$ , pada hambatan 20 Ohm sebesar  $0,4275 \text{ m/s}^2$  dan pada hambatan 25 Ohm sebesar  $0.321 \text{ m/s}^2$ . Dari ketiga gambar tersebut, besarnya percepatan vertikal RMS yang didapatkan BS-RESA jauh lebih besar daripada *conventional shock absorber* yaitu hampir sepuluh kali lipat.

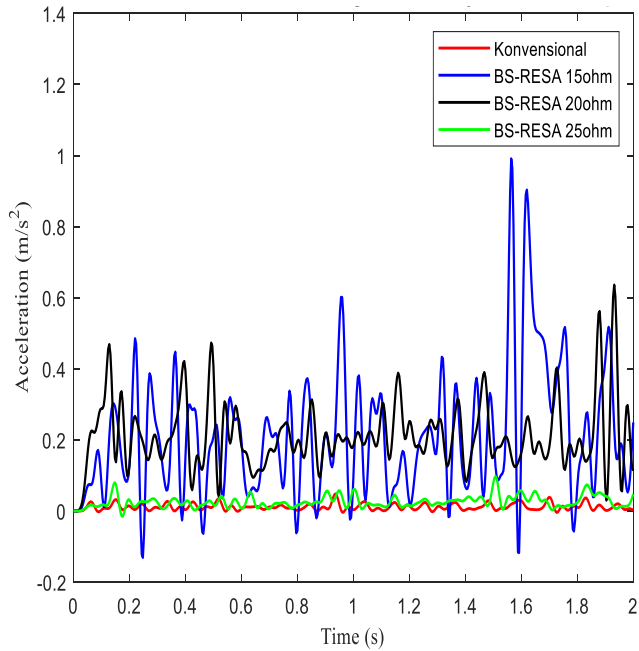
Dari grafik yang dihasilkan, dapat dilihat terdapat beberapakali pengulangan puncak dari grafik, hal tersebut diakibatkan dari bump sebanyak 4 buah dari speedtrap, sehingga terjadi hentakan beberapa kali pada kendaraan, berbeda dengan pada saat melewati *speedbump* yang hanya terjadi 1 hentakan. Kemudian apabila dilihat dari setiap variasi kecepatan, BS-RESA memiliki percepatan maksimum vertikal yang lebih besar. Hal tersebut menandakan bahwa BSRESA spur gear tidak dapat menyerap getaran kendaraan sebaik shock absorber konvensionalnya terlebih saat kontur jalan yang menyebabkan sistem suspensi bekerja. 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. Selain itu semakin kecil nilai hambatan maka respon percepatan vertikalnya naik. Fenomena ini sesuai dengan percobaan di lapangan dimana saat BS-RESA digerakkan secara manual dengan hambatan yang lebih kecil, maka akan lebih berat untuk menggerakkan BS-RESA secara translasi.

#### iv. Analisa Respon Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melalui *Speedbump*

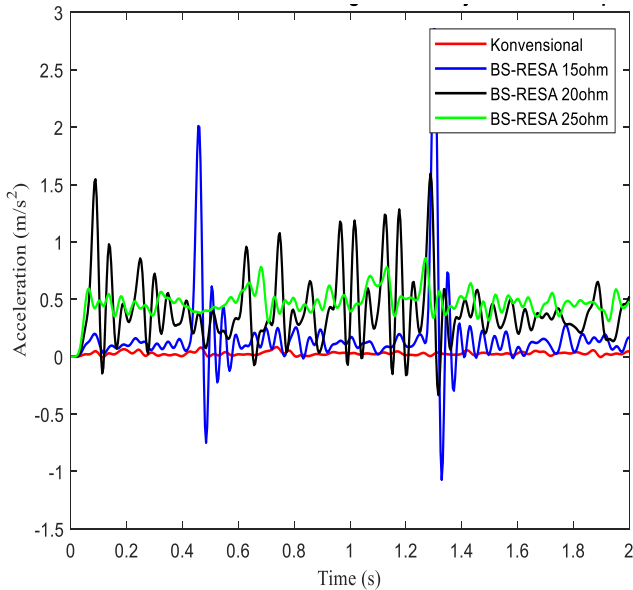
Pengambilan data pertama dilakukan pada *speedbump*. Untuk titik waktu 0 dihitung pada saat ban depan menghentak *speedbump*. Berikut merupakan data perbandingan percepatan vertikal ketika melalui *speedbump* dengan variasi kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam dan 20 km/jam.



**Gambar 4.38** Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melewati *Speedbump* pada Kecepatan 10 km/h.



**Gambar 4.39** Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melewati *Speedbump* pada Kecepatan 15 km/h.



**Gambar 4.40** Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melewati *Speedbump* pada Kecepatan 20 km/h.

Dari Gambar 4.39, pada kecepatan 10 km/jam didapat percepatan vertikal RMS pada *conventional shock absorber* sebesar  $0.02567 \text{ m/s}^2$  dan pada BS-RESA dengan hambatan 15 Ohm sebesar  $0.3705 \text{ m/s}^2$ , pada hambatan 20 Ohm sebesar  $0,2592 \text{ m/s}^2$  dan pada hambatan 25 Ohm sebesar  $0,0493 \text{ m/s}^2$ . Kemudian dari Gambar 4.40, pada kecepatan 15 km/jam didapat percepatan vertikal RMS pada *conventional shock absorber* sebesar  $0.0186 \text{ m/s}^2$  dan pada BS-RESA dengan hambatan 15 Ohm sebesar  $0.3724 \text{ m/s}^2$ , pada hambatan 20 Ohm sebesar  $0.3236 \text{ m/s}^2$  dan pada hambatan 25 Ohm sebesar  $0,0298 \text{ m/s}^2$ . Selanjutnya pada Gambar 4.38, kecepatan 20 km/jam didapat percepatan vertikal RMS pada *conventional*

*shock absorber* sebesar  $0.0798 \text{ m/s}^2$  dan pada BS-RESA dengan hambatan 15 Ohm sebesar  $0.6767 \text{ m/s}^2$ , pada hambatan 20 Ohm sebesar  $0,5204 \text{ m/s}^2$  dan pada hambatan 25 Ohm sebesar  $0.0306 \text{ m/s}^2$ . Dari ketiga gambar tersebut, besarnya percepatan vertikal RMS yang didapatkan BS-RESA jauh lebih besar daripada *conventional shock absorber* yaitu hampir sepuluh kali lipatnya.

Dilihat dari ketiga grafik dengan kecepatan yang semakin meningkat, didapatkan percepatan rata-rata 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. Pada masing-masing grafik sendiri terdapat 2 puncak. Yang pertama menunjukkan saat ban depan melewati *speedbump* dan yang kedua saat ban belakang melewati *speedbump*. Hal tersebut mengindikasikan kendaraan melewati bump yang cukup tinggi. Kemudian terdapat lonjakan-lonjakan kecil yang disebabkan kontur jalan paving yang tidak rata sebelum/sesudah melewati *speedbump*. Pada gambar 4.41 sendiri terdapat selisih waktu yang cukup lama antara kedua puncak. Hal ini disebabkan adanya delay dari sensor pembaca yaitu accelerometer.

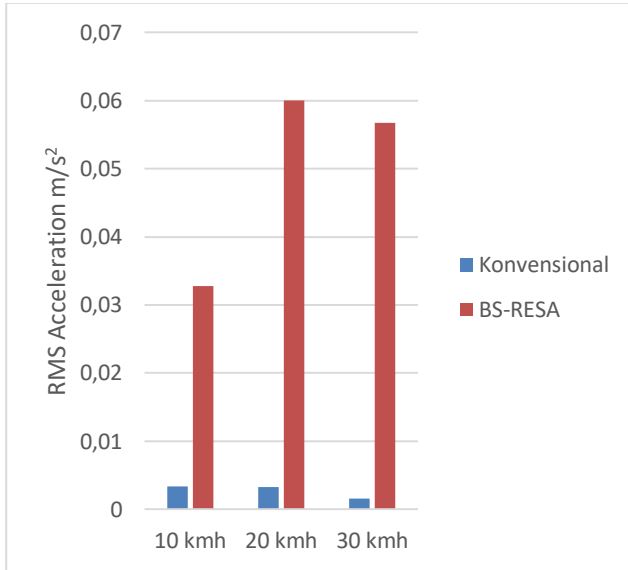
Kemudian dari keseluruhan data tersebut, dicari rata-ratanya menggunakan metode *Root Mean Square* (RMS) menggunakan MS Excel kemudian ditabelkan. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8.

**Tabel 4.7** RMS Respon Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melalui Jalan Aspal dan Jalan Paving

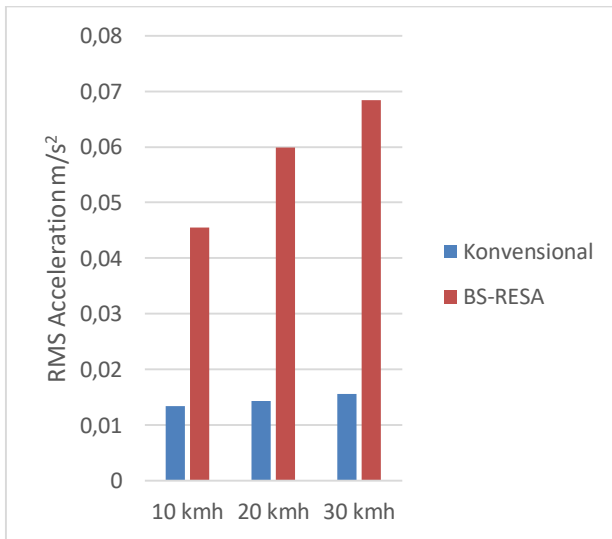
	Variasi Kecepatan					
	10 km/jam		20 km/jam		30 km/jam	
Variasi Jalan	Konvensional (m/s <sup>2</sup> )	BS RESA (m/s <sup>2</sup> )	Konvensional (m/s <sup>2</sup> )	BS RESA (m/s <sup>2</sup> )	Konvensional (m/s <sup>2</sup> )	BS RESA (m/s <sup>2</sup> )
Jalan Aspal	0,0034	0,0328	0,0033	0,06	0,0016	0,0567
Jalan Paving	0,0134	0,0455	0,0143	0,0599	0,0156	0,0684

**Tabel 4.8** RMS Respon Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melalui *Speedtrap* dan *Speedbump*

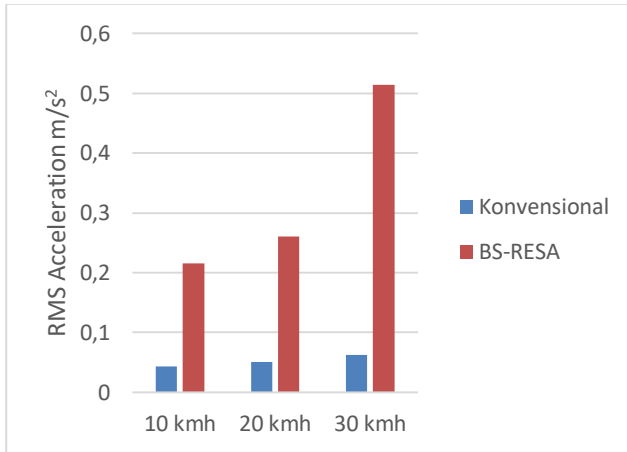
	Variasi Kecepatan					
	10 km/jam		15 km/jam		20 km/jam	
Variasi Jalan	Konvensional (m/s <sup>2</sup> )	BS-RESA (m/s <sup>2</sup> )	Konvensional (m/s <sup>2</sup> )	BS-RESA (m/s <sup>2</sup> )	Konvensional (m/s <sup>2</sup> )	BS RESA (m/s <sup>2</sup> )
<i>Speedtrap</i>	0.043	0.216	0.051	0.26	0.063	0.514
<i>Speedbump</i>	0.0256	0.370	0.0186	0.372	0.0798	0.676



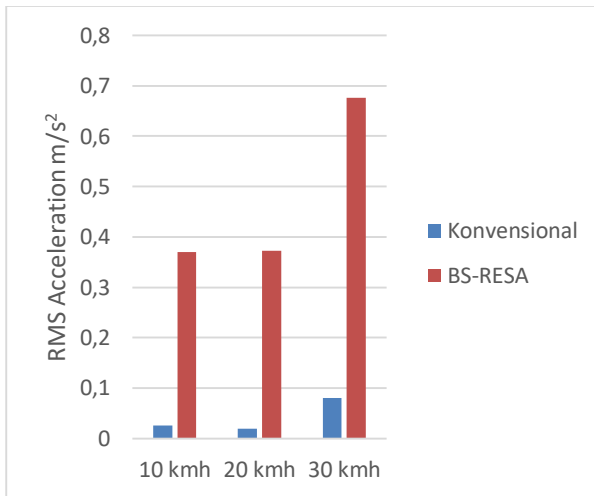
(a)



(b)



(c)



(d)

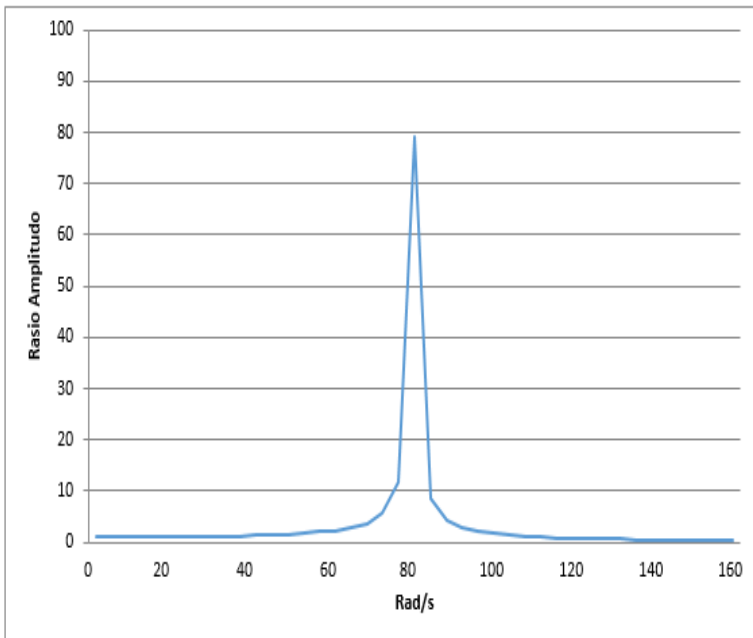
**Gambar 4.41** Diagram Batang RMS Respon Percepatan Kendaraan saat Melewati (a) Jalan Aspal, (b) Jalan Paving, (c) Speedtrap, dan (d) Speedbump



Dari Table 4.7 dan 4.8 diatas, RMS respon percepatan terbesar BS-RESA terjadi pada saat melewati *speedbump* dengan kecepatan 30 km/jam yaitu sebesar  $0.676 \text{ m/s}^2$ , sama halnya dengan *shock absorber* konvensional yaitu sebesar  $0.0798 \text{ m/s}^2$ . Hal tersebut diakibatkan tingginya *bump* pada *speedbump* yang mengakibatkan hentakan yang cukup besar pada kendaraan. Kemudian RMS respon percepatan terkecil pada BS-RESA terjadi pada saat melewati jalan aspal pada kecepatan 30 km/jam yaitu sebesar  $0.0016 \text{ m/s}^2$ , lain halnya dengan *shock absorber* konvensional yang terjadi pada kecepatan 10 km/jam yaitu sebesar  $0.0328 \text{ m/s}^2$ . Hal ini terjadi karena kontur jalan yang halus sehingga tidak terjadi getaran yang begitu berarti.

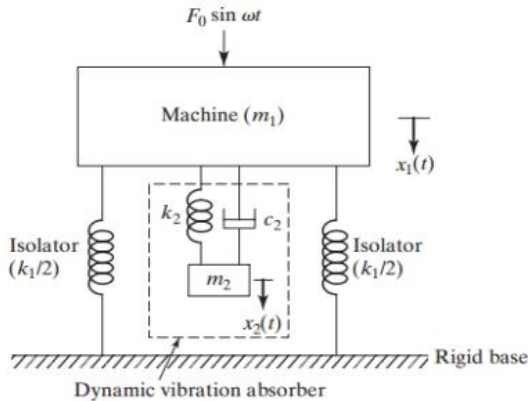
Dari Tabel 4.7, pada pengujian melalui *speedtrap* dan *speedbump* besar percepatan RMS yang dihasilkan pada saat menggunakan BS-RESA rata-rata hampir 10 kali lebih besar dibandingkan dengan *conventional shock absorber*. Sedangkan pada Tabel 4.8, saat melewati jalan paving dan aspal, kedua *shock absorber* menghasilkan RMS percepatan vertikal yang relatif kecil. BS-RESA menghasilkan percepatan vertikal sekitar 2 atau 3 kali lebih besar dibandingkan dengan *conventional shock absorber* pada jalan paving dan 10 kali lebih besar pada jalan aspal. Dari keempat 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 leih besar. Namun disini

perlu dicatat bahwa tidak selamanya semakin besar kecepatan maka percepatan vertikal kendaraan meningkat. Jika kendaraan itu sendiri sudah melampaui nilai frekuensi naturalnya, maka percepatan vertikal akan turun dengan sendirinya. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.43, frekuensi natural Toyota Rush memiliki nilai 80 rad/s yang mana jika dikonversi ke m/s berdasarkan rumus  $v=r\omega$  dengan radius roda 0.254 m nilainya menjadi 20.32 m/s. Nilai ini jika dikonversi lagi ke kmh nilainya senilai dengan 73.152 kmh. Ini artinya jika Toyota Rush sudah melampaui kecepatan 73.152 kmh maka percepatan vertikalnya akan turun secara natural.



**Gambar 4.42** Grafik Frekuensi Natural Toyota Rush

Data dari Gambar 4.43 sendiri bisa didapatkan melalui rumus yang tertulis di buku *Mechanical Vibrations* milik Rao.



**Gambar 4.43** Pemodelan Sistem Dinamis dengan *Damped Dynamic Vibration Absorber* (Rao, 2011)

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

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

$$m_2 \ddot{x}_2 + k_2 (x_2 - x_1) + c_2 (\dot{x}_2 - \dot{x}_1) = 0$$

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:

$$\mu = m_2 / m_1 = \text{Mass ratio}$$

$$\delta_{st} = F_0 / k_1 = \text{Static deflection of the system}$$

$$\omega_{a2} = k_2 / m_2 = \text{Square of natural frequency of the absorber}$$

$$\omega_{n2} = k_1 / m_1 = \text{Square of natural frequency of main mass}$$

$$f = \omega_a / \omega_n = \text{Ratio of natural frequencies}$$

$$g = \omega / \omega_n = \text{Forced frequency ratio}$$

$$c = 2m\omega_n = \text{Critical damping constant}$$

$$\zeta = c_2 / c_c = \text{Damping ratio}$$

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  $\mu$ ,  $f$ ,  $g$ , dan  $\zeta$ . 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  $\zeta = 0,1$ . Plot grafik Gambar 4.43 didapatkan berdasarkan penurunan sistem dinamis pada buku rao yang telah diubah 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 3.4.

Kemudian berdasarkan Tabel 2.1 untuk *conventional shock absorber* pada semua kecepatan dan variasi kontur jalan, masuk ke dalam kategori tidak ada keluhan berdasar tingkat kenyamanan. Sementara untuk tingkat kenyamanan BS-RESA, pada jalan aspal dan paving masuk ke kategori tidak ada keluhan di semua variasi kecepatan. Selain itu pada *speedtrap* kecepatan 10 km/jam dan 15 km/jam juga masuk ke kategori tidak ada keluhan. Sementara pada kecepatan 20 km/jam BS-RESA agak tidak nyaman. Untuk kontur *speedbump* sendiri pada kecepatan 10 km/jam dan 15 km/jam terhitung sedikit tidak nyaman dan pada kecepatan 20 km/jam agak tidak nyaman.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

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

1. Telah dikembangkan prototip BS-RESA yang dapat menyerap energi saat siklus kompresi maupun ekspansi pada sistem suspensi sehingga dapat menghasilkan energi bangkitan yang berkelanjutan.
2. Tegangan bangkitan maksimum yang dapat dihasilkan sebesar 18.57 V pada saat melewati *speedbump* dengan kecepatan 20 km/jam hambatan 25 Ohm dan RMSnya 5.661 V. Kemudian untuk RMS tegangan paling besar dihasilkan pada saat melalui jalan paving dengan kecepatan 30 km/jam sebesar 9.412 V. Untuk RMS tegangan paling kecil dihasilkan pada saat melalui jalan aspal dengan kecepatan 10 km/jam hambatan 25 Ohm sebesar 0,853 V.
3. Daya bangkitan maksimum yang dapat dibangkitkan dari hasil pengolahan data yaitu sebesar 13.793 W pada saat melalui *speedbump* dengan kecepatan 20 km/jam hambatan 25 Ohm dan RMS dayanya sebesar 2.136 W. Untuk RMS daya bangkitan terbesar dihasilkan pada saat melalui jalan paving yaitu 5.917 W pada kecepatan 30 km/jam hambatan 15 Ohm. Untuk RMS daya terkecil terjadi pada saat melewati jalan aspal pada kecepatan 10 km/jam hambatan 25 Ohm sebesar 0.048 W.
4. Percepatan vertikal maksimum terjadi pada saat melalui *speedbump* dengan kecepatan 10 km/jam yaitu sebesar 1.4 m/s<sup>2</sup> untuk BS-RESA dan 0.16 m/s<sup>2</sup> untuk *conventional shock absorber*. RMS percepatan terbesar terjadi pada saat

melewati *speedbump* dengan kecepatan 20 km/jam yaitu sebesar  $0.67 \text{ m/s}^2$  untuk BS-RESA dan  $0.0798 \text{ m/s}^2$  untuk *conventional shock absorber*. Untuk RMS percepatan terkecil terjadi pada saat melewati jalan aspal dengan kecepatan 30 km/jam yaitu sebesar  $0.0016 \text{ m/s}^2$  untuk *conventional shock absorber* dan untuk BS-RESA sebesar  $0.0328 \text{ m/s}^2$  pada kecepatan 10 km/jam di jalan aspal.

## 5.2 **Saran**

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya adalah

1. 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.
2. Mematangkan perencanaan untuk tahap perakitan sehingga dalam menyusun setiap komponen dapat terukur kekuatan dan ketahanan agar tidak terjadi kerusakan.
3. Memperkecil dimensi BS-RESA agar lebih mudah dalam pemasangan dan memperpanjang *screw* agar memiliki *stroke* yang panjang.
4. Memastikan peralatan pengambilan data masih berfungsi dengan sempurna.
5. Menggunakan mesin CNC untuk pengerjaan komponen alat agar mendapat hasil yang akurat secara dimensi.



## DAFTAR PUSTAKA

Close, C. M., Frederick, D. K., & Newell, J. C. (2002). *Modelling and Analysis of Dynamic System Third Edition*. New York: John Wiley & Sons, Ltd.

Deutschman, A. D. (1975). *Machine design : theory and practice / by Aaron D. Deutschman, Walter J. Michels & Charles E. Wilson*. New York: Macmillan.

Farisah, S. N., & Guntur, H. L. (2015). *Pemodelan dan Analisis Pengaruh Variasi Tekanan Awal Akumulator terhadap Gaya Redam, Daya Listrik Bangkitan, dan Respon Dinamis pada Hydraulic Motor Regenerative Shock Absorber (HM RSA)*. Surabaya: Teknik Mesin ITS.

Hendrowati, W., Laksana Guntur, H., & Lubis, R. (2013). *Development and Analysis of a Regenerative Shock Absorber for Vehicle Suspension*.

Jadhav, G. D. (2016). *Power Generation through Rack & Pinion in Suspension System for an Automobile*. Maharashtra: IJARIIIE.

Kurniawan, Rian & Laksana Guntur, H. (2012). *Rancang Bangun Model Regenerative Shock Absorber (RSA) untuk Kendaraan Roda Empat*. Surabaya: Teknik Mesin ITS

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*.

Nugraha, Dhion Khairul. (2020). *Pengembangan Prototip Ball Screw Rgenerative Shock Absorber (BSRSA)-Bevel Gear Untuk Kendaraan Pickup*. Surabaya: Teknik Mesin ITS

Paridawati. (2013). *Analisa Desain Rancangan Shock Absorber Belakang pada Yamaha Jupiter*. Bekasi: Universitas Islam 45 Bekasi

R.A. Oprea, M. M. (2012). *Design and Efficiency of Linear Electromagnetic*. Romania: Universitatea Politehnica din București.

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

Reza Sabzehgar, A. M. (2014). *Energy Regenerative Suspension Using an Algebraic Screw Linkage Mechanism*. Iran: Azad University.

Wang, Ruichen. (2016). *Modelling, Testing and Analysis of a Regenerative Hydraulic Shock Absorber System*. Huddersfield: University of Huddersfield.

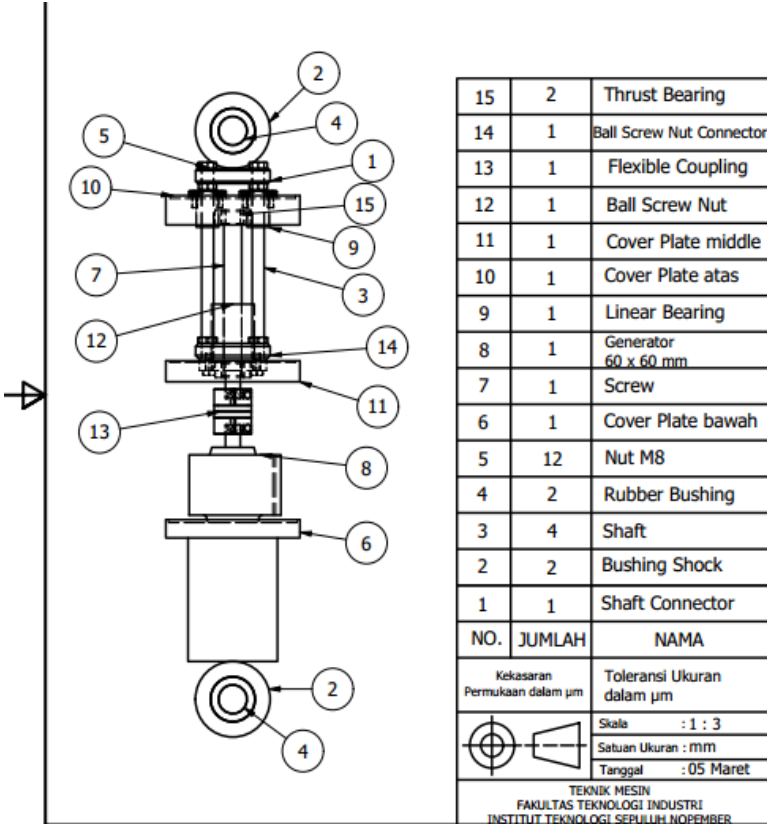
Wang, Ruichen dkk. (2014). *Modeling and Validation of Regenerative Shock Absorber System*.

Zhang, Z., & Mohammed, W. S. (2016). *A High Efficiency Energy Regenerative Shock Absorber Using Supercapacitors for Renewable Energy Applications in Range Extended Electric Vehicle*.

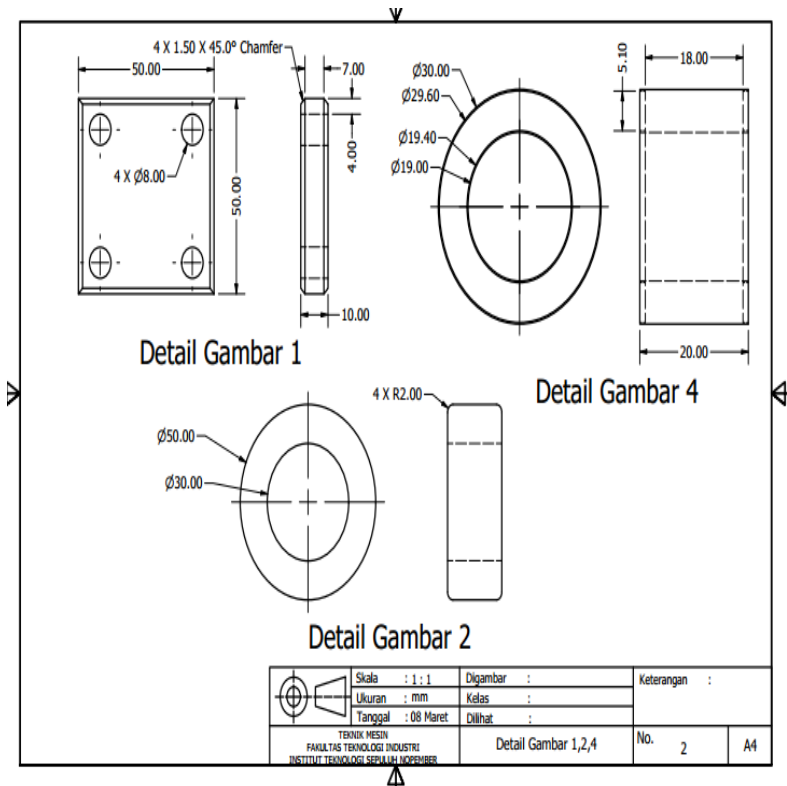
Zou, Junyi dkk. (2017). *Design, Modelling, and Analysis of a Novel Hydraulic Energy-Regenerative Shock Absorber for Vehicle Suspension*. 12.

Zuo, L. (2010). *Design and Characterization of an Electromagnetic Energy Harvester for Vehicle Suspension*.

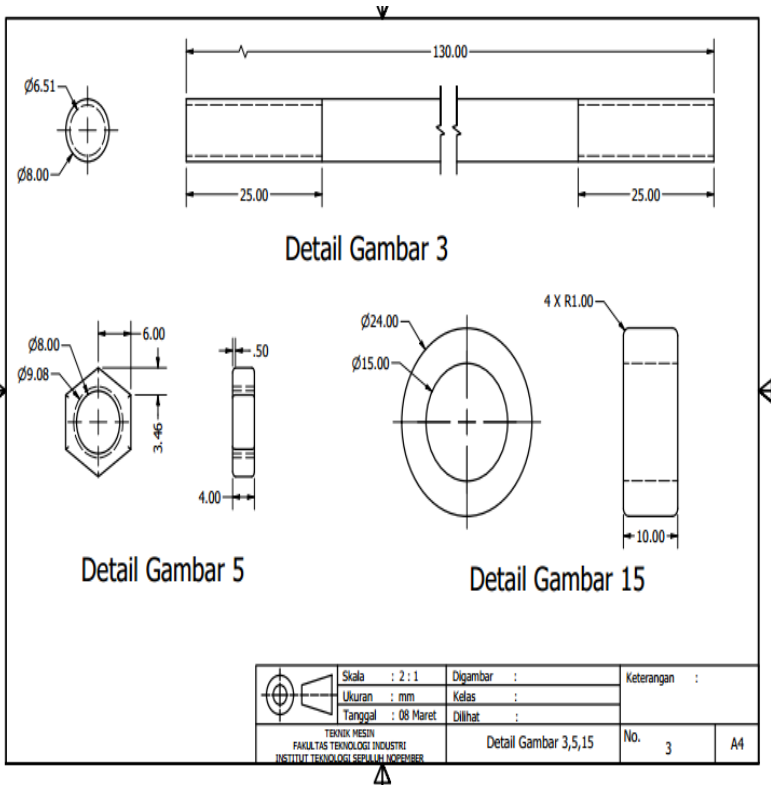
## LAMPIRAN 1



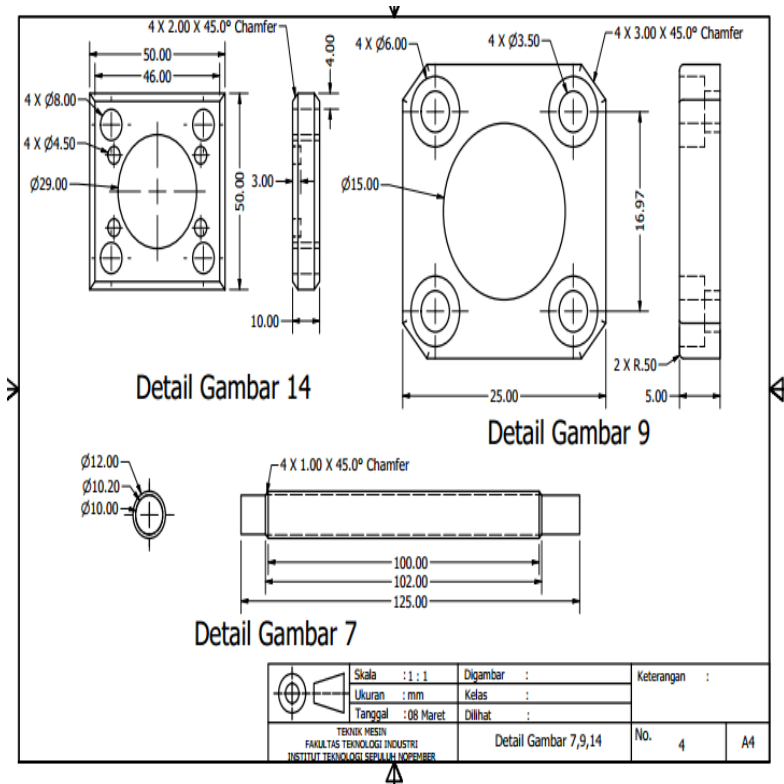
**Gambar 1** Drawing Assembly BS-RESA Coupling Mechanism



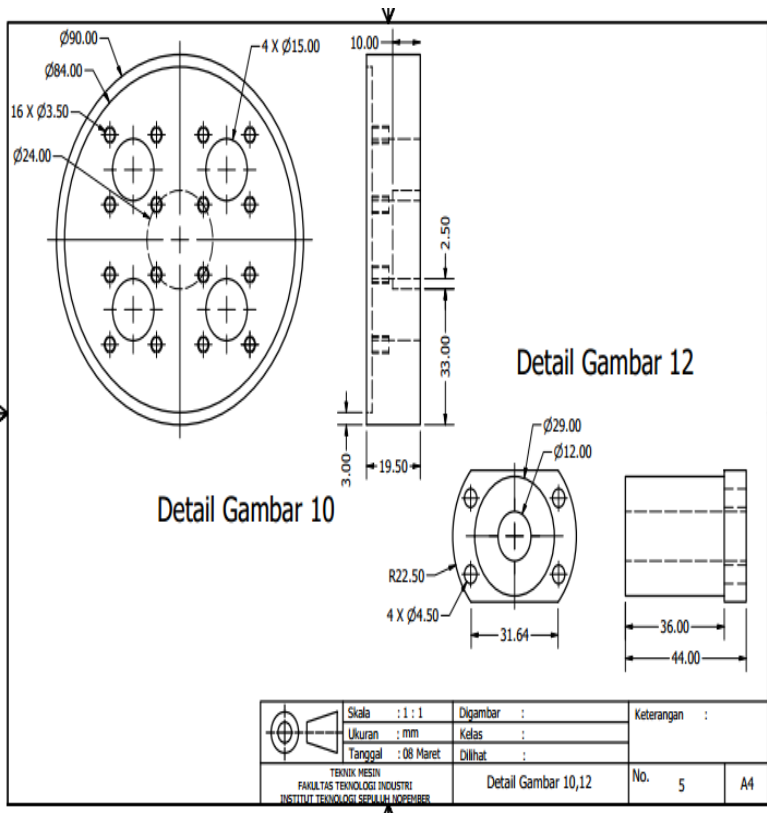
Gambar 2 Detail Item 1,2 dan 4



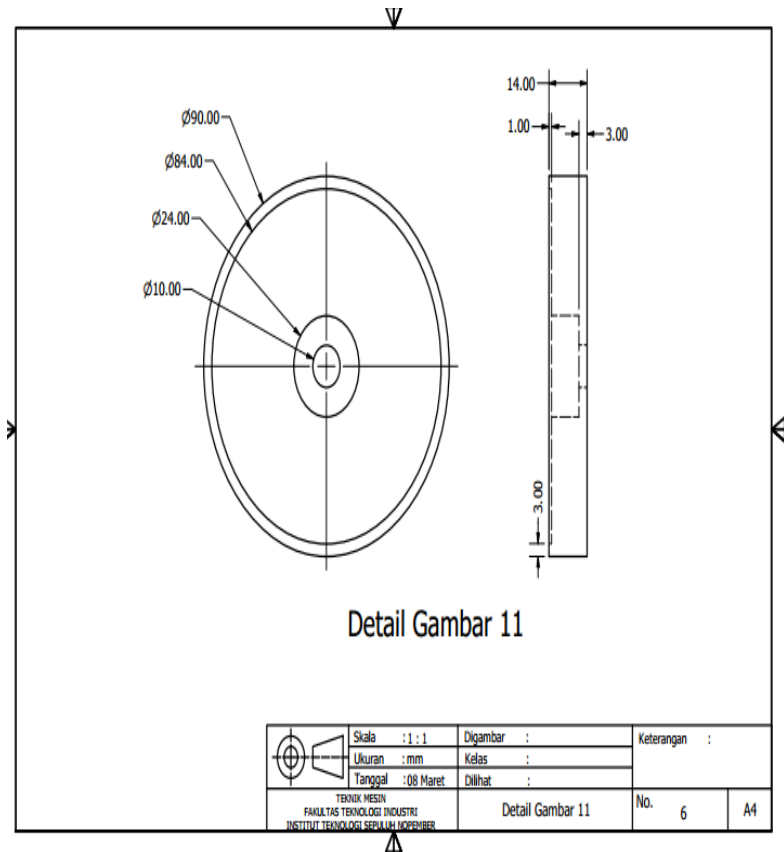
**Gambar 3** Detail Item 3,5 dan 15



**Gambar 4** Detail Item 7,9 dan 14

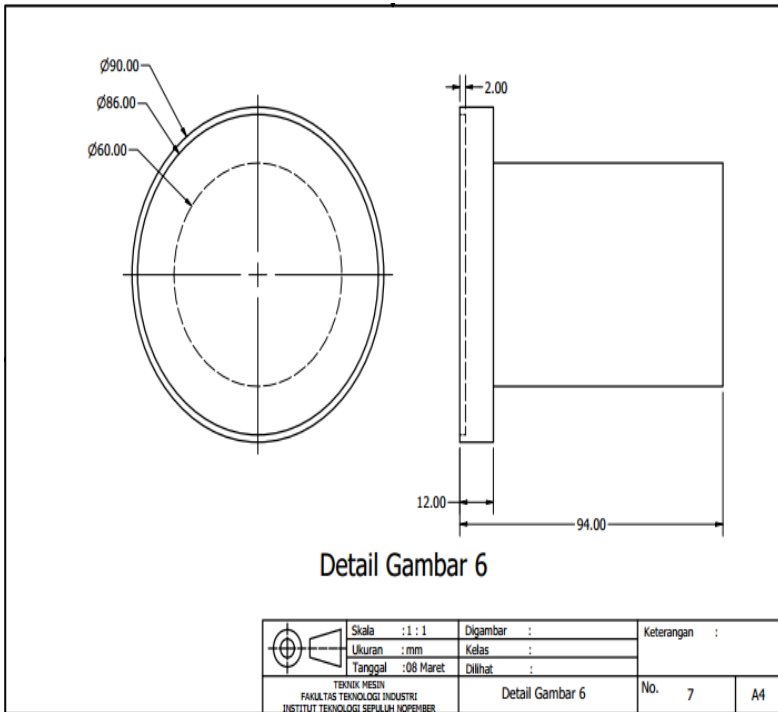


**Gambar 5** Detail Item 10 dan 12

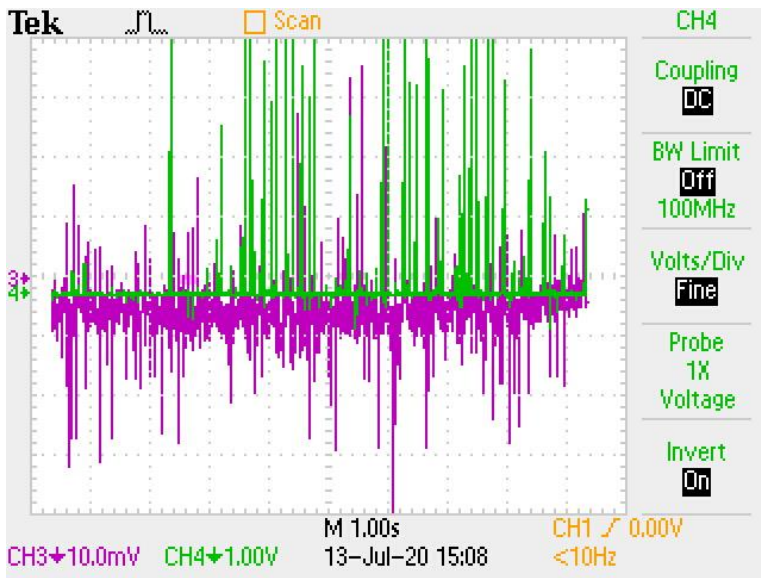


**Gambar 6** Detail Item 11





**Gambar 7** Detail Item 6



**Gambar 3** Contoh Tampilan Oscilloscope saat Pengambilan Data Jalan Paving pada Kecepatan 30 kmh dan Hambatan 25 Ohm



**Gambar 9** Proses Bongkar Pasang BS-RESA

## BIODATA PENULIS



**Prasetya Faiz Pambudi** atau biasa dipanggil Pras lahir di Kebumen, 12 Juli 1997. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN 2 Karanglewas lor pada tahun 2003-2009, SMP Negeri 2 Purwokerto pada tahun 2009-2012, SMA Negeri 1 Purwokerto pada tahun 2012-2015. Setelah lulus dari SMA Negeri 1 Purwokerto, penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Departemen Teknik Mesin FTI-ITS Surabaya pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 02111540000066.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun non akademik selama perkuliahan. Penulis pernah menjadi asisten praktikum Motor Pembakaran Dalam. Selain itu, untuk mengisi kegiatan non akademik pada tahun ke-2 perkuliahan, penulis aktif menjadi staf Divisi Membership SPE (*Society of Petroleum Engineer*) pada periode 2016/2017. Pada tahun tersebut, penulis juga aktif dalam kepanitiaan berbagai kegiatan seperti Mechanical City 2016, dan KMHE 2017. Dan pada tahun ke-5 perkuliahan, penulis fokus menjalani akademik dan penelitian mengenai *Regenerative Shock Absorber* dan masuk sebagai anggota Laboratorium Vibrasi dan Sistem Dinamis. Di luar kegiatan kampus, penulis merintis usaha di bidang jasa dan *food and beverage*. Semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email [faizprasetyaa@gmail.com](mailto:faizprasetyaa@gmail.com).