TUGAS AKHIR – TM 184835

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

ALDIEN YOGHA PRATAMA
02111540000052

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 AVANZA

ALDIEN YOGHA PRATAMA
02111540000052
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

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

ALDIEN YOGHA PRATAMA
02111540000052

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 AVANZA

TUGAS AKHIR

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

Oleh:
Aldien Yogha Pratama
NRP. 021115410000052

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr.Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng. ..... (Pembimbing)
   NIP. 197505111999031001
2. Dr. Wiwiek 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

SURABAYA
AGUSTUS, 2020

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

Nama Mahasiswa : Aldien Yogha Pratama
NRP : 02111540000052
Departemen : Teknik Mesin FTI-ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng

ABSTRAK

Bidang transportasi merupakan bidang yang amat penting dalam melakukan penilitian sumber daya energi terbarukan. Penggunakan bahan bakar yang berasal dari minyak bumi (BBM) dengan pertumbuhan rata-rata sebesar 4,7% per tahun. Sektor transportasi sangat bergantung pada bahan bakar minyak (BBM). Menurut BPPT, konsumsi BBM di Indonesia pada tahun 2016 didominasi oleh sektor transportasi sebesar 80,7%. Hal inilah yang menjadi perhatian, agar energi yang terbuang dapat dimanfaatkan. Untuk memanfaatkan energi yang terbuang diciptakanlah alat pemanen energi (energy harvester) yang berada pada sistem suspensi kendaraan dengan memanfaatkan gerak translasi naik-turun pada suspensi akibat profil jalan yang begelombang.

Pada penelitian tugas akhir ini, dilakukan perancangan, pembuatan dan eksperimen sebuah RESA (Regenerative Shock Absorber) model ball screw pada sistem suspensi Toyota Avanza. RESA merupakan alat pemanen energi (energy harvester) dengan memanfaatkan energi terbuang pada bagian suspensi dengan cara memanfaatkan gerak translasi naik-turun pada suspensi. Gerakan translasi ini akan dikonversi menjadi gerak rotasi melalui mekanisme ball screw. Selanjutnya, gerak rotasi ini langsung

dipindahkan melalui coupling yang tersambung dengan shaft generator, sehingga generator akan bergerak dan menghasilkan listrik yang dapat disimpan untuk keperluan kendaraan itu sendiri. Energi listrik yang dapat dihasilkan oleh RESA ini akan diujicobakan pada Toyota Avanza untuk mengetahui lebih jauh bagaimana pengaruh penggunaan RESA terhadap respon percepatan vertikal Toyota Avanza. Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan yaitu 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h ketika melewati *paving road* dan jalan lurus, ketika melewati *Speedbump* dan *Speedtrap* dengan kecepatan 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h. Untuk variasi hambatan yaitu, 15 Ohm, 20 Ohm, dan 25 Ohm.

Pada penelitian ini, telah dikembangkan dan rancang bangun RESA yang kemudian dilakukan pengujian menggunakan Toyota Avanza. RESA mampu menghasilkan daya maksimum 13.78 W pada saat melewati *Speedbump* dengan kecepatan 15 km/h, variasi hambatan 25 Ohm, untuk RMS daya maksimum sebesar 5.34 W pada saat melewati *paving road* dengan kecepatan 30 km/h, variasi hambatan 20 Ohm. Respon percepatan terbesar RESA yaitu 1.20 m/s^2 terjadi pada saat melewati *Speedtrap* dengan kecepatan 15 km/h, variasi hambatan 15 Ohm dan respon percepatan terkecil yaitu 0.160 m/s^2 saat melewati asphalt road dengan kecepatan 10 km/h, variasi hambatan 25 Ohm.

Kata kunci: *ball screw, daya bangkitan, energy harvesting, Shock Absorber*

DEVELOPMENT OF REGENERATIVE SHOCK ABSORBER (RESA) WITH BALL SCREW MECHANISM AND IMPLEMENTATION ON TOYOTA AVANZA

Student Name : Aldien Yogha Pratama
Student ID Number : 02111540000052
Department : Mechanical Engineering
Advisory Lecturer : Prof. Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng

ABSTRACT

Transportation sector is an important field in conducting research on renewable energy resources. This sector is highly dependent on the use of fuel derived from petroleum or fuel oil (BBM) with average annual growth about 4,7%. According to data from BPPT, BBM consumption in Indonesia was dominated by transportation sector by 80,7% in 2016. This matter gains attention and becoming a concern about how to utilize the wasted energy produced. To utilize the wasted energy, an energy harvester was created and applied on the vehicle suspension system by utilizing translational motion of ups and downs on the vehicle suspension due to the bumpy road profile.

In this final project research, the design, manufacturing and experiment process of ball screw model of RESA (Regenerative Shock Absorber) was conducted on Toyota Avanza suspension system. RESA is an energy harvester that harness the suspension system's wasted energy by utilizing translational motion of ups and downs on suspension system. The translational motion then will be converted into rotational motion by ball screw mechanism.

Furthermore, the rotational motion will be transferred through coupling that connected with shaft generator resulting the moving generator thus created stored electricity for the vehicle's purposes. The electrical energy generated by RESA will be carried out into Toyota Avanza to find out about the effect of RESA application on Toyota Avanza's vertical acceleration response. The research conducted with several speed variations that are 10 km/h, 20 km/h and 30 km/h through paved and straight roads; 5 km/h, 10 km/h and 15 km/h on speed bumps and Speedtraps. The resistance variations applied are 15 Ohm, 20 Ohm and 25 Ohm. Vehicle dynamic response and RESA power generation then obtained.

In this research, RESA is obtained, designed and tested on Toyota Avanza. Data obtained that RESA was able to generate maximum power of 13,78 W when passing through speed bumps with vehicle's speed of 15 km/h, resistance variation of 25 Ohm. For RMS, maximum power obtained was 5,34 W when passing through paved roads with vehicle's speed of 30 km/h and resistance variation of 20 Ohm. The highest acceleration response of RESA obtained was 1,20 m/s^2 and occured when passing through Speedtraps with vehicle's speed of 15 km/h and resistance variation of 15 Ohm. The lowest acceleration response of RESA obtained was 0,160 m/s^2 and occured when passing through asphalt road with vehicle's speed of 10 km/h and resistance variation of 25 Ohm.

Index term: Ball Screw, Energy Harvesting, Power Generation, Shock Absorber

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, karena berkat limpahan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul "PENGEMBANGAN *REGENERATIVE SHOCK ABSORBER* (RESA) DENGAN MEKANISME *BALL SCREW* DAN IMPLEMENTASINYA PADA MOBIL TOYOTA AVANZA" di tengah pandemi COVID-19 dalam keadaan sehat. Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk memenuhi persyaratan kelulusan program Studi Strata I 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, di antaranya:

1. Keluarga tersayang, Bapak Ir. Didik Oktariyanto, Ibu Dra. Dwi Raya Prihastoeti dan Adik Alvito Yogha Pamungkas, yang telah memberikan doa dan dukungan tiada henti hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini
2. Bapak Dr. Eng. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
3. Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T., Ibu Aida Annisa Amin Daman, ST., MT., dan Bapak Ari Kurniawan Saputra. S.T., M.T., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran untuk Tugas Akhir ini.
4. TIM RESA (5 Tahun), Ateng, Pras, Tamara, Lukman

Yasser yang telah menjadi tim dan partner yang hebat sehingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan TOP!

5. Sahabat kontrakan “Star Family”, Roni, Sutom, Reskisi, Bocil, Abud, Sakti, Son, Atm, Bong, Pacul, Gowok dan *dulur-dulur* M58 yang telah menjadi keluarga dalam menghadapi dunia perkuliahan di Teknik Mesin ITS.
6. Keluarga Simpang Bunga Krisan 32, Om Rizfan sekeluarga, N1663CO, yang telah membantu penulis selama pengambilan data.
7. Sahabat Perkopian Penulis, KAKAL, FREDIO GAGA, YANTOYOLO, MADLEL, NOPRET, ALDONI, SATATO, KAKROZ, yang telah menjadi partner *ngopi* dan memberi motivasi selama penulisan 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. Nadya Windy Anggraeni, yang tanpa lelah memberikan dukungan dan semangat kepada penulis hingga dapat menyelasaikan Tugas Akhir dengan baik dan pada waktunya.

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 xii
DAFTAR TABEL xix
BAB 1 1
PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Batasan Masalah Penelitian 4
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 5
BAB 2 7
TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 *Shock Absorber* 7
2.2 *Regenerative Shock Absorber* 8
2.3 *Hydraulic Regenerative Shock Absorber* 10
2.4 *Leg-Mechanism Regenerative Shock Absorber* 14
2.5 *Rack Pinion Regenerative Shock Absorber* 16
2.6 *Ball Screw Regenerative Shock Absorber* (BSRSA) ... 18
2.7 Komponen Utama *Ballscrew Regenerative Shock Absorber* (RESA) 21
2.7.1 *Ball Screw* 21
2.7.3 *Coupling* 24
2.7.4 Generator Listrik 25
2.8 *Motion of Base* 27
2.9 Transmibilitas Perpindahan (*Displacement Transmibility*) 29
2.10 Transmibilitas Gaya (*Force Transmibility*) 30
2.11 Pengaruh Percepatan Kendaraan terhadap Kenyamanan Pengendara 32

BAB 3 35
METODOLOGI PENELITIAN 35
3.1 Diagram Alir Penelitian 35
3.2 Penjelasan Tahap Penelitian 36
3.2.1 Studi Literatur 37
3.2.2 Identifikasi Masalah 37
3.2.3 Penentuan Parameter 37
3.2.4 Persamaan Matematis dan Penurunan Rumus 41
3.2.5 Rancang Bangun RESA 44
3.2.6 Tahap Eksperimen dan Pengambilan Data 46
3.2.7 Peralatan Pengambilan Data 52
3.2.8 Instalasi Peralatan Pengambilan Data 54
BAB 4 55
PEMBAHASAN 55
4.1 Pengembangan Prototip RESA *(Regenerative Shock Absorber)* dengan Mekanisme *Ball Screw* 55
4.2 Perbandingan RESA dengan RSA Terdahulu 62
4.3 Pengujian RESA pada Mekanisme Suspensi Toyota Avanza 66
4.3.1 Pemasangan RESA pada Toyota Avanza 67
4.3.2 Instalasi Peralatan Pengambilan Data 72
4.3.3 Pengambilan Data 76
4.4 Analisis Pengambilan Data 76
4.4.1 Analisis Tegangan Bangkitan dan Daya RESA 77
BAB 5 169
KESIMPULAN DAN SARAN 169
5.1 Kesimpulan 169
5.2 Saran 170
DAFTAR PUSTAKA 171
LAMPIRAN 1 175
LAMPIRAN 2 182
BIODATA PENULIS 185

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Pemanfaatan BBM di Indonesia tahun 2016 (BPPT, 2016) 2
Gambar 2.1 *Shock Absorber* meredam *oscillation* (Isuzu Training Centre, 2000) 7
Gambar 2.2 Cara kerja Shock absrosber (Isuzu Training Centre, 2000) 8
Gambar 2.3 *Linear Electromagnetic* RSA (Jin-qiu,2013) 9
Gambar 2.4 *Rotational ballscrew* RSA (Jin-qiu,2013) 10
Gambar 2.5 Skema kerja *hydraulic* RSA (Wang, 2014) 11
Gambar 2.6 Komponen utama *hydraulic* RSA (Wang, 2014) ... 13
Gambar 2.7 Kapabilitas energi regeneration (Wang, 2014) 14
Gambar 2.8 Desain *Two-leg mechanism* RSA (Maravandi, 2015) 15
Gambar 2.9 Prototip *Two-leg mechanism* RSA (Maravandi, 2015) 16
Gambar 2.10 Desain *rack-pinion* RSA (Saraswat, 2015) 17
Gambar 2.11 Grafik *displacement* (mm) vs output power (W). (Saraswat, 2015) 18
Gambar 2.12 Mekanisme BSRSA-*Bevel gear* (Dhion, 2020) ... 19
Gambar 2.13 Instalasi BSRSA-*Bevel gear* (Dhion, 2020) 20
Gambar 2.14 Konstruksi dan desain *Ball Screw* 22
Gambar 2.15 Konstruksi dan desain *Thrust Bearing* 23
Gambar 2.16 Konstruksi dan desain *Linear Bearing* 24
Gambar 2.17 Konstruksi dan Desain *Coupling* 25
Gambar 2.18 Generator AC 3 Fasa Tamagawa (Tamagawa Cathalog) 26
Gambar 2.19 Sistem Force Vibration with Damping (Rao, 2011) 28
Gambar 2.20 FBD *Force Vibration with Damping* (Rao, 2011) 29
Gambar 2.21 Grafik Variasi Td dan ϕ terhadap r (Rao, 2011) .. 29
Gambar 2.22 Grafik Force Transmisibility vs Frequency Ratio (Rao, 2011) 29
Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir 35

Gambar 3.2 Kendaraan Uji *Toyota Avanza* 41
Gambar 3.3 Arah Torsi dan *Axial Force Ball Screw* 42
Gambar 3.4 Gambar 2D RESA..... 45
Gambar 3.5 Gambar 3D RESA..... 45
Gambar 3.6 Diagram Alir Pengujian *Conventional Shock Absorber* 47
Gambar 3.7 Diagram Alir Eksperimen 48
Gambar 3.8 Lokasi Pemasangan RESA pada *Toyota Avanza* ... 49
Gambar 3.9 Lokasi dan Sketsa *Speedbump* 50
Gambar 3.10 Lokasi dan Sketsa *Speedtrap* 50
Gambar 3.11 Lokasi Pengambilan Data *Paving road*..... 51
Gambar 3.12 Lokasi Pengambilan Data *Asphalt Road*..... 51
Gambar 3.13 *Oscilloscope* Tektronix TBS1104..... 52
Gambar 3.14 *Converter* tegangan DC ke AC 52
Gambar 3.15 *Inverter*..... 53
Gambar 3.16 *Acclerometer* 53
Gambar 3.17 *Probe* Tegangan 54
Gambar 3.18 Skema Instalasi Peralatan Pengambilan Data 54
Gambar 4.1 Pengukuran pada suspense *Toyota Avanza* 56
Gambar 4.2 Komponen RESA (a) *Linear Bearing, (b) Ball screw nut, (c) Thrust Bearing, (d) Flexible coupling*, (e) Generator, dan (f) Dudukan shock atas bawah..... 58
Gambar 4.3 Perakitan RESA 59
Gambar 4.4 *Screw* Terpasang dengan *Coupling*..... 60
Gambar 4.5 Hasil Perakitan Prototip RESA 61
Gambar 4.6 (a) Instalasi Listrik RESA, (b) Hasil Pengujian Manual Tanpa beban 62
Gambar 4.7 Pengukuran Massa RESA 63
Gambar 4.8 (a) Perbandingan Bentuk RESA dengan BSRSA-*Bevel Gear*, (b) Massa BSRSA-*Bevel Gear*..... 64
Gambar 4.9 (a) Perbandingan Bentuk RESA dengan RSA model *Rack Pinion*, (b) Massa RSA *Rack Pinion*..... 65
Gambar 4.10 Komponen pada RESA (a) Komponen Penting RESA dan (b) RESA dengan Casing 90

Gambar 4.11 (a) Sudut Kemiringan Pemasangan RESA, (b) Tampak Samping Pemasangan RESA 67
Gambar 4.12 (a) Pemasangan RESA Tampak Depan, (b) Tampak Samping pada Toyota Avanza 68
Gambar 4.13 (a) Pengujian Manual Pada Toyota Avanza, (b) Pengukuran Nilai Ampere 72
Gambar 4.14 (a) Penggunaan Hambatan pada Pengambilan Data, (b) Hasil Pengukuran Variasi Hambatan 20 Ohm saat Pengambilan Data..... 73
Gambar 4.15 Instalasi Peralatan Pengambilan Data RESA 75
Gambar 4.16 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* Variasi Hambatan 15 Ohm Dengan Kecepatan 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h 79
Gambar 4.17 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* Variasi Hambatan 20 Ohm Dengan Kecepatan 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h 82
Gambar 4.18 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* Variasi Hambatan 25 Ohm Dengan Kecepatan 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h 85
Gambar 4.19 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedtrap* Variasi Hambatan 15 Ohm Dengan Kecepatan 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h 88
Gambar 4.20 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedtrap* Variasi Hambatan 20 Ohm Dengan Kecepatan 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h 91
Gambar 4.21 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedtrap* Variasi Hambatan 25 Ohm Dengan Kecepatan 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h 94

Gambar 4.22 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Paving road* Variasi Hambatan 15 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h 98
Gambar 4.23 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Paving road* Variasi Hambatan 20 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h 100
Gambar 4.24 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Paving road* Variasi Hambatan 25 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h 103
Gambar 4.25 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui Asphalt road Variasi Hambatan 15 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h 106
Gambar 4.26 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui Asphalt road Variasi Hambatan 20 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h 109
Gambar 4.27 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui Asphalt road Variasi Hambatan 25 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h 112
Gambar 4.28 Diagram RMS (a) Tegangan melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, (b) Daya melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, (c) Tegangan melewati *Paving road* dan Asphalt road, dan (d) Daya melewati *Paving road* dan Asphalt road dengan hambatan 15 Ohm 120
Gambar 4.29 Diagram RMS (a) Tegangan melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, (b) Daya melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, (c) Tegangan melewati *Paving road* dan Asphalt road, dan (d) Daya melewati *Paving road* dan Asphalt road dengan hambatan 20 Ohm 124

Gambar 4.30 Diagram Batang RMS (a) Tegangan melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, (b) Daya melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, (c) Tegangan melewati *Paving road* dan Asphalt road, dan (d) Daya melewati *Paving road* dan Asphalt road dengan hambatan 25 Ohm 128
Gambar 4.31 Grafik Perbandingan Percepatan Vertikal Toyota Avanza antara Convensional shock absorber dan RESA saat Melalui *Speedbump* pada Kecepatan (a) 5 km/h, (b) 10 km/h, dan (c) 15 km/h 134
Gambar 4.32 Grafik Perbandingan Percepatan Vertikal Toyota Avanza antara Convensional shock absorber dan RESA saat Melalui *Speedtrap* pada Kecepatan (a) 5 km/h, (b) 10 km/h, dan (c) 15 km/h 139
Gambar 4.33 Grafik Perbandingan Percepatan Vertikal Toyota Avanza antara Convensional shock absorber dan RESA saat Melalui *Paving road* pada Kecepatan (a) 10 km/h, (b) 20 km/h, dan (c) 30 km/h 144
Gambar 4.34 Grafik Perbandingan Percepatan Vertikal Toyota Avanza antara Convensional shock absorber dan RESA saat Melalui Asphalt road pada Kecepatan (a) 10 km/h, (b) 20 km/h, dan (c) 30 km/h 148
Gambar 4.35 Grafik Perbandingan Percepatan Vertikal Toyota Avanza antara Convensional shock absorber dan RESA saat Melalui Asphalt road pada Kecepatan (a) 10 km/h, (b) 20 km/h, dan (c) 30 km/h 155
Gambar 4.36 Diagram Batang RMS (a) Percepatan melewati *Speedbump*, (b) Percepatan melewati *Speedtrap*, (c) Percepatan melewati *Paving road*, dan (d) Percepatan melewati Jalan Asphalt road dengan hambatan 20 Ohm 159
Gambar 4.37 Diagram Batang RMS (a) Percepatan melewati *Speedbump*, (b) Percepatan melewati *Speedtrap*, (c) Percepatan melewati *Paving road*, dan (d)

Percepatan melewati Jalan Asphalt road dengan hambatan 25 Ohm 163
Gambar 4.38 Model Seperempat Kendaraan 2 DOF 167
Gambar 4.39 Grafik Frekuensi Natural Toyota Avanza 168

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Nilai percepatan yang dapat diterma untuk kenyamanan pengendara 33
Tabel 3.1 Tabel Parameter Regenerative Shock Absorber (RESA) 38
Tabel 3.2 Tabel Parameter *shock absorber Toyota Avanza* 39
Tabel 3.3 Tabel Parameter Kendaraan Uji 39
Tabel 3.4 Tabel Parameter Generator 40
Tabel 4.1 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* dan *Speedtrap* Variasi Hambatan 15 Ohm 114
Tabel 4.2 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* dan *Speedtrap* Variasi Hambatan 20 Ohm 114
Tabel 4.3 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* dan *Speedtrap* Variasi Hambatan 25 Ohm 115
Tabel 4.4 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui *Paving road* dan Asphalt road Variasi Hambatan 15 Ohm ... 115
Tabel 4.5 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui *Paving road* dan Asphalt road Variasi Hambatan 20 Ohm ... 116
Tabel 4.6 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui *Paving road* dan Asphalt road Variasi Hambatan 25 Ohm ... 116
Tabel 4.7 RMS Respon Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melalui *Speedbump* dan *Speedtrap* 150
Tabel 4.8 RMS Respon Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melalui *Paving road* dan Asphalt road 151

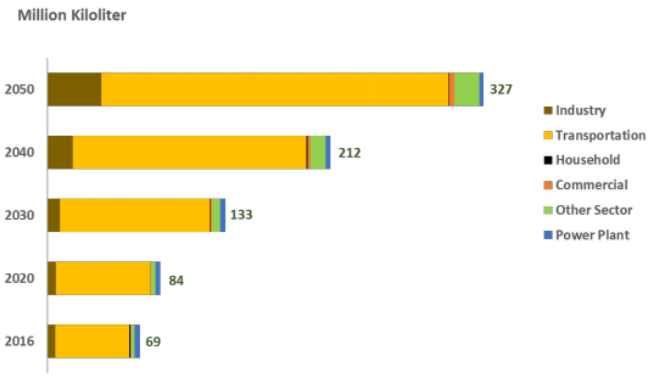
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Saat ini telah banyak penelitian mengenai sumber daya energi terbarukan. Penelitian dilakukan untuk memanfaatkan potensi yang ada sebagai pengganti energi yang berasal dari bahan bakar fosil. Diharapkan munculnya sumber daya energi alternatif yang mampu menghasilkan energi di masa depan. Bidang transportasi merupakan bidang yang amat penting dalam melakukan penelitian tersebut. Pada gambar 1.1 disajikan tabel pemanfaatan BBM di Indonesia pada tahun 2016 oleh BPPT, transportasi memegang peranan penting dalam menentukan permintaan energi nasional. Penyediaan energi untuk transportasi memerlukan perhatian yang lebih khusus. Kebutuhan bahan bakar minyak (BBM) yang berasal dari minyak bumi memiliki pertumbuhan rata-rata sebesar 4,7% per tahun. Pada tahun 2016, kebutuhan BBM mencapai 69,1 Juta Kilo Liter. Salah satu sektor yang sangat bergantung pada bahan bakar minyak adalah transportasi. Pertumbuhan jumlah kendaraan dari tahun ke tahun cukup tinggi. Menurut BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi), sektor transportasi mengkonsumsi BBM sebesa 80,7% melebihi sektor industri yaitu 8,1%. Sektor transportasi relatif lebih sulit untuk beralih dari penggunaan BBM ke penggunaan bahan bakar lain karena teknologi saat ini sebagian besar masih berbasis BBM, khususnya untuk kendaraan bermotor. Dari segi kendaraan, efisiensi energi yang terpakai untuk menggerakan kendaraan berkisar antara 20%-30% selebihnya terbuang. Upaya substitusi BBM terus dilakukan diantaranya dengan penggunaan bahan bakar nabati dan penciptaan *energy harvester* (alat pemanen energi). Hal inilah yang mendorong dilakukannya penelitian pada kendaraan untuk memanfaatkan energi yang terbuang, yaitu RESA *(Regenerative Shock Absorber)* sebagai alat pemanen energi yang mampu memulihkan energi getaran yang terbuang pada sistem suspensi kendaraan menjadi energi listrik.



Gambar 1.1 Pemanfaatan BBM di Indonesia tahun 2016 (BPPT, 2016)

Beberapa penelitian mengenai RESA telah dilakukan, akan tetapi masih perlu adanya perbaikan baik dari segi desain maupun performa yang dihasilkan. Pengembangan RESA bertujuan menghasilkan suatu pemanen energi yang dapat digunakan untuk kendaraan yang dijual ke pasar dengan menghasilkan listrik bagi kendaraan itu sendiri. Salah satu hasil penelitian RESA yang telah dilakukan adalah penelitian yang dilakukan oleh Zhanwen Wang et all. Penelitian ini dilakukan pada 2020. Rancangan RESA tersebut menggunakan metode *twin ball screw trasnsmissions*. Dengan mekanisme menggerakan generator menggunakan dua buah *ball screw* yang saling berhubungan. Pengujian RESA ini tidak diaplikasikan langsung ke kendaraan, akan tetapi menggunakan alat tes material MTS bionix 858. Sehingga didapatkan data ketika RESA tertekan oleh beban yang diberikan. Dari pengujian ini didapatkan RESA mampu menghasilkan energi listrik sebesar 3.7 watt.

Penelitian lain mengenai RESA dilakukan oleh Kireev A.V et al. Penelitian ini dilakukan pada 2017. RESA yang dirancang menggunakan metode elektromagnetik. Listrik dihasilkan melalui pergerakan *ball screw* yang beregerak naik turun diantara stator, sehingga terjadi induksi listrik yang

menghasilkan keluaran listrik. Metode pengujian dari RESA ini menggunakan alat tes *bench* untuk mensimulasikan pergerakan dari RESA tersebut. Hasil dari pengujian tersebut adalah pada kecepatan 1m/s menghasilkan listrik sebesar 2.1 kW, pada kecepatan 1.5 m/s dihasilkan 3kW. Dari data yang didapatkan semakin tinggi kecepatan maka listrik yang dihasilkan juga meningkat.

Rancang bangun model RESA *(Regenerative Shock Absorber)* juga telah dilakukan. salah satunya oleh Rian Kurniawan pada tahun 2012. Rancang bangun yang dilakukan dengan memodelkan RESA untuk kendaraan roda empat dengan metode induksi elektromagnetik. Metode pengujiannya menggunakan suspension *test rig*. Hasil dari pengujian tersebut tercipta model RESA 1:5 dengan dimensi RESA panjang 25cm, lebar 15cm, tinggi 40cm serta dapat menghasilkan daya 4.365 watt. Selain itu beberapa penelitian mengenai RESA juga telah memodelkan dan menganalisis, seperti yang dilakukan oleh Ilham Ardiansyah pada 2014. Penelitian dilakukan dengan studi eksperimen yang disebut HEMSA (*Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber*) dengan variasi pembebanan lampu. Pengujian menggunakan *suspension test rig*. Dari pengujian diperoleh meningkatnya nilai hambatan beban sebanding dengan nilai *electrical damping* dari HEMSA juga semakin meningkat, sehingga mempengaruhi nilai redaman total oleh HEMSA. Selain itu penelitian RSA juga telah dilakukan oleh Sakti Priyanto pada 2019. Penelitian dilakukan dengan rancang bangun RSA untuk kendaraan *pickup* dengan metode *ball screw* dengan *spur gear*. Pengujian dilakukan dengan membuat prototip untuk dipasang di kendaraan *pickup*. Pengujian dilakukan dengan variasi kecepatan pada saat melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*. RSA ini mampu mengasilkan daya maksimum sebesar 2.87 Watt pada kecepatan 30 km/h.

Dari prototip RESA yang diuji pada kendaraan Toyota Avanza ini, data pengaruh variasi hambatan, jalan, dan kecepatan terhadap percepatan vertikal kendaraan saat menggunakan RESA

kemudian dibandingkan saat menggunakan *convensional shock absorber* serta didapatkan data daya bangkitan.

1.2 Rumusan Masalah

Beberapa permasalahan yang dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

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

1.3 Batasan Masalah Penelitian

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

1. Penelitian ini berfokus pada rancang bangun dan eksperimen prototip RESA dengan mekanisme ball screw.
2. Material prototip ball screw RESA dianggap kuat.
3. Parameter prototip ball screw RESA standar pabrikan sesuai dengan yang tertulis pada spesifikasi dan jurnal.
4. Tidak membahas mengenai RL circuit generator AC 3 Fasa
5. Convensional shock absorber pada Toyota Avanza berfungsi dengan baik.
6. Sistem suspensi Toyota Avanza dalam keadaan standar pabrik
7. Respon dinamis yang dianalisa pada Toyota Avanza adalah percepatan vertikal kendaraan.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan merealisasikan model *Regenerative Shock Absorber* (RESA) model *ball screw* yang diaplikasikan pada Toyota Avanza.
2. Menganalisa respon dinamis dari kendaraan Toyota Avanza yang telah dipasang RESA, lalu dibadingkan dengan respon dinamis pada saat menggunakan *convensional shock absorber*.
3. Mendapatkan karakteristik energi bangkitan yang dihasilkan RESA dengan variasi kecepatan.
4. Mendapatkan karakteristik efek redaman yang dihasilkan RESA dengan variasi hambatan.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penulisan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

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

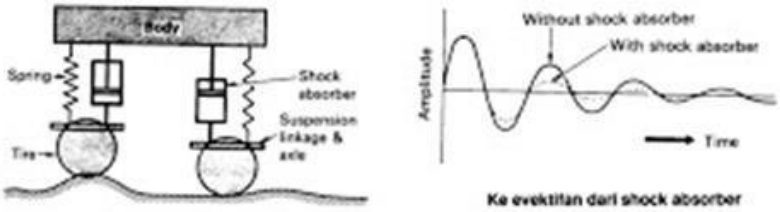
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Shock Absorber*

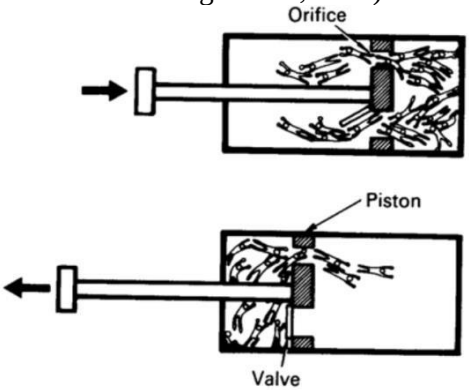
Shock absorber atau peredam kejut adalah satu bagian yang terpenting dari sistem suspensi yang bekerja untuk meredam atau menetralisir dengan cepat vibrasi (getaran) *spring* (pegas) pada kendaraan roda empat yang terjadi akibat kondisi jalan yang tidak beraturan serta mengendalikan kestabilan dan kenyamanan dalam berkendaraan. Pada gambar 2.1 menjelaskan salah satu fungsi dari *shock absorber* adalah untuk meredam oskilasi yang terjadi akibat dari profil jalan. Fungsi lain dari pada *shock absorber* adalah untuk meredam kejutan pada saat kendaraan diperlambat atau saat mengalami benturan keras karena jalan dipermukaan tidak rata, sehingga membuat kendaraan tetap stabil ketika dikendarai. (Majanasastra, 2014)



Gambar 2.1 *Shock absorber* meredam *oscillation* (Isuzu Training Centre, 2000)

Shock absorber terdiri dari tabung yang berisi oli. Cara kerja dari *shock absorber* seperti pada gambar 2.1. Didalam tabung tersebut terdapat dua buah katup yang berfungsi untuk mengatur aliran oli. Terdapat katup kompresi dan katup ekspansi. Apabila katup kompresi terbuka maka fluida (oli) akan mengalir dengan mudah dan pada *shock absorber* tidak terjadi efek peredaman.

Sedangkan ketika katup ekspansi membuka maka minyak yang ada didalam shock absorber akan mengalir melalui *orifice* sehingga efek peredaman didapatkan. Perlambatan gerak ayun terjadi karena aliran oli tabung *shock breaker* terhambat oleh katup. Hal ini disebabkan karena lubang katup yang sempit. Jika jumlah oli dalam tabung kurang maka kerja *shock absorber* tidak bisa meredam kejutan. (Modul Isuzu Training Centre, 2000)



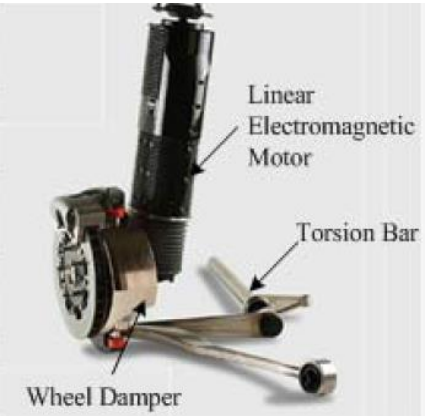
Gambar 2.2 Cara kerja *Shock absrosber* (Isuzu Training Centre, 2000)

2.2 *Regenerative Shock Absorber*

Pada sistem suspensi kendaraan, *shock absorber* berguna untuk menyerap sebagian energi getaran yang timbul karena efek profil jalan. Energi yang dihasilkan oleh efek peredaman pada *shock absorber* merupakan dasar dalam perancangan sebuah *regenerative shock absorber* (RESA) untuk merancang besarnya energi yang akan dikonversi menjadi energi listrik. (Guntur, 2012)

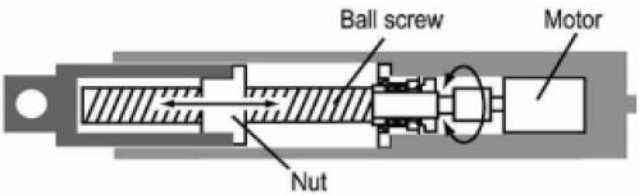
Regenerative shock absorber (RESA) adalah *shock absorber* yang memiliki mekanisme penghasil listrik. RESA inilah yang mengkonversi energi terbuang yang dihasilkan oleh efek redam untuk dikonversi menjadi energi listrik. RESA merupakan suatu alat *energy harvesting* dari sumber energi getaran, khususnya energi getaran yang dihasilkan oleh kendaraan.

Energy harvesting pada kendaraan telah didesain dan diuji oleh Lei Zuo. Penelitian tersebut memanfaatkan getaran yang terjadi pada *shock absorber* untuk dikonversi menjadi energi listrik. Dari cara menghasilkan energi listrik, RSA dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu *linear* dan *rotary*. Metode *linier electromagnetic absorber* mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Energi dapat dihasilkan dari suspensi kendaraan oleh penggunaan kembali atau penyimpanan energi osilasi kendaraan. Pada gambar 2.3 merupakan skema pemasangan *linear electromagnetic absorber* pada sebuah kendaraan. Jika digunakan sebagai peredam kejut, gerakan relatif antara magnet dan rakitan koil akan menghasilkan daya listrik. Generator linier merupakan bagian utama yang terdiri dari cincin magnet yang disusun. Ketika kendaraan berjalan, susunan cincin magnet ini akan bergerak secara *linear* didalam kumparan koil. Gerakan linear dari cincin magnet didalam kumparan koil, tegangan AC akan terinduksi dalam koil. Sehingga dapat menghasilkan listrik. (Jin-qiu,2013)



Gambar 2.3 *Linear Electromagnetic* RSA (Jin-qiu,2013)

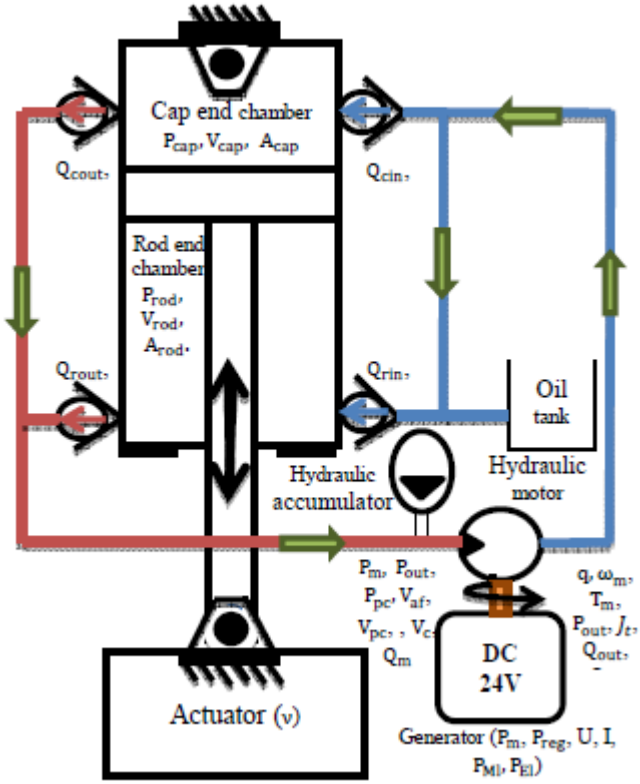
Rotational absorber menggunakan gerak *linier* yang akan diubah menjadi gerak rotasi dengan roda gigi. Kemudian roda gigi tersebut digunakan untuk memutar generator yang telah di hubungan dengan satu poros. Skema cara kerja dari *rotational ball screw*, ditunjukan pada gambar 2.4. Generator akan menghasilkan energi yang nantinya akan menghasilkan listrik yang dapat berguna untuk keperluan kendaraan. Sehingga komponen utama *rotational absorber* adalah roda gigi dan generator. *Rotary* RSA sendiri terbagi menjadi beberapa jenis, ditinjau dari mekanisme mengubah gerak linier pada suspensi menjadi gerak rotasi untuk menghasilkan listrik melalui generator, yaitu *rack pinion*, hidrolik, mekanisme lengan, *ball screw*, dan *cable-pulley*.



Gambar 2.4 *Rotational ballscrew* RSA (Jin-qiu,2013)

2.3 *Hydraulic Regenerative Shock Absorber*

Penelitian mengenai *energy harvesting* pada sistem suspensi kendaraan telah banyak dilakukan. Dalam merubah energi yang terdisipasi terdapat beberapa metode yang digunakan dalam RSA. Salah satunya adalah dengan metode *hydraulic*. Penelitian ini dikembangkan oleh Wang, Ruichen et al pada tahun 2014 di Inggris. Wang menggunakan metode *hydraulic* pada RSA sistemnya. Energi yang diserap akan diubah melalui Gerakan putar melalui pengaturan *hydraulic*. Konfigurasi *hydraulic* pada RSA menghasilkan aliran satu arah dan menghasilkan kembali energi ketika terjadi kompresi dan ekspansi pada *hydraulic* RSA. Energi yang dihasilkan oleh konfigurasi *hydraulic* akan menggerakan motor *hydraulic* dan generator untuk menghasilkan daya yang berasal dari profil jalan yang tidak rata hasil dari peredaman. (Wang, 2014)

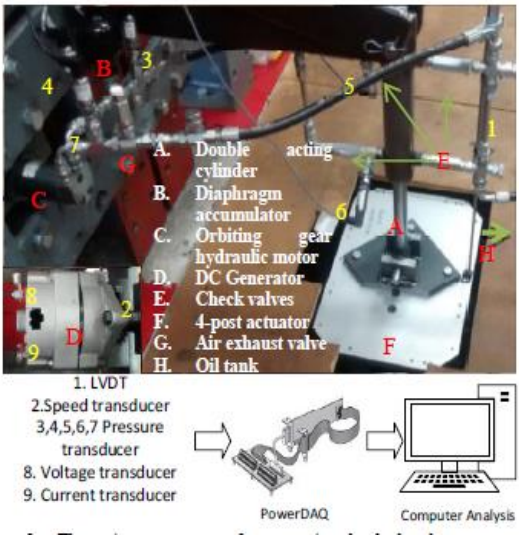


Gambar 2.5 Skema kerja *hydraulic* RSA (Wang, 2014)

Pada gambar 2.5 ditunjukan skema kerja dari *hydraulic* RSA oleh Wang pada tahun 2014. Skema kerja dari *hydraulic* RSA ini pada silinder ditambahkan dua buah *port* dengan *double acting silinder hydraulic*. Piston dari silinder *hydraulic* bergerak naik turun sesuai dengan gerak osilasi pada profil jalan. Fluida dalam silinder akan dipaksa mengalir ke ruang silinder *(chamber)*. Akibat terdorong oleh aliran bertekanan motor *hydraulic* akan

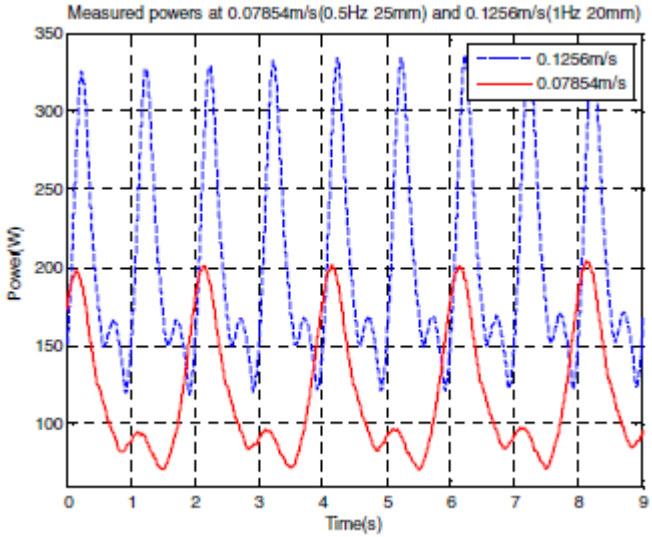
menghasilkan Gerakan berputar yang nantinya akan menggerakan motor DC yang menghasilkan listrik. Untuk memastikan adanya aliran terus menerus agar motor *hydraulic* terus berputar, arah alirannya dikontrol oleh empat *check valve* dan tekanan osilasi diatur oleh *hydraulic* akumulator.

Pengujian dilakukan dengan membuat prototip dari desain yang telah dirancang. Pada gambar 2.6 merupakan prototip dan komponen utama dari *hydraulic* RSA. Untuk mensimulasikan jalan digunakan simulator sistem gerak. *Double acting* silinder dipasangkan empat aktuator yang terdapat pada simulator dan ujung lainnya dilekatkan oleh *frame* yang berat sehingga piston di dalam silinder kerja ganda dapat digerakan oleh actuator untuk mengikuti gerak osilasi yang sesuai Gerakan yang diwujudkan untuk mengendalikan sistem hydraulic pada simulator. Untuk menguji variasi tekanan dan memperkirakan aliran di dalam sistem maka dipasangkan lima *pressure transducer*. Untuk mengukur tekanan di ujung ruang silinder *(chamber)* atau tekanan sebelum motor *hydraulic*. LVDT *transducer* digunakan untuk mengukur perpindahan piston. *Shaft encoder* digunakan untuk mengukur kecepatan motor.



Gambar 2.6 Komponen utama *hydraulic* RSA (Wang, 2014)

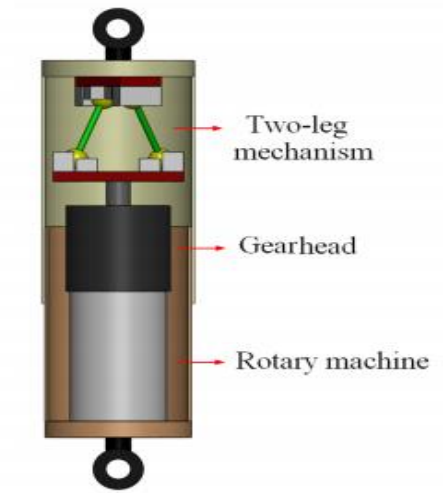
Dengan menggunakan simulator tersebut didapatkan hasil pengujian oleh *hydraulic* RSA. Analisa eksperimen dilakukan pada kondisi input sinusoidal dengan amplitudo dan frekuensi. Grafik kapabilitas energi regeneration yang dihasilkan oleh hydraulic RSA ditunjukkan pada gambar 2.7. Terdapat 2 input dalam pengambilan data, yang pertama tekanan diukur 0.07854 m/s pada 0.5 Hz (25mm stroke), kemudian tekanan juga diukur 0.1256m/s pada 1 Hz (20mm stroke). Kedua kecepatan ini diukur selama rentang waktu 9 detik. Pada gambar 2.6 merupakan grafik kapabilitas dari energi *regeneration* yang dihasilkan oleh hydraulic RSA. Pada 0.07854 m/s *power output* yang dihasilkan sebesar 118.2 W, pada 0.1256 m/s *power output* yang dihasilkan sebesar 201.7 W. Rata-rata *mechanical power input* sebesar 440 W dan 1091 W, jadi efisiensi konversi energi *hydraulic* RSA sebesar 26.86% dan 18.49%.



Gambar 2.7 Kapabilitas energi *regeneration* (Wang, 2014)

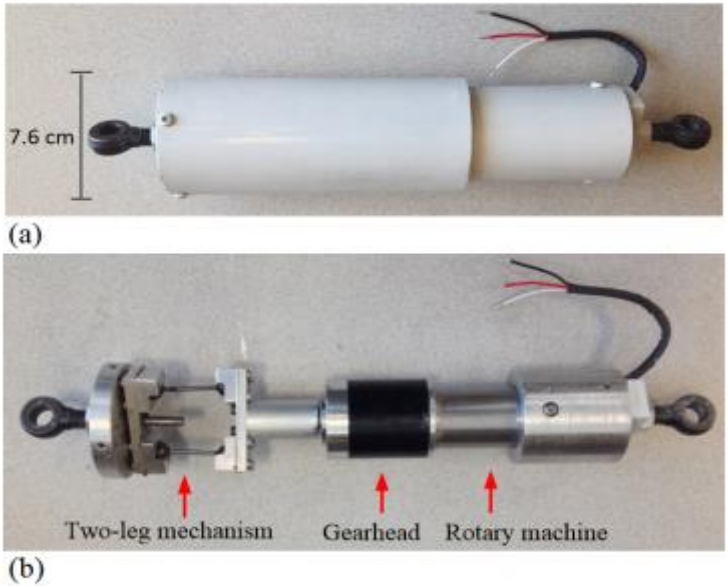
2.4 *Leg-Mechanism Regenerative Shock Absorber*

Desain RSA dengan metode mekanisme lengan telah dilakukan, salah satunya oleh Maravandi pada tahun 2015. Pada gambar 2.8 ditunjukkan desain dari *two-leg mechanism* RSA oleh Maravandi. Sistem ini menggunakan dua buah lengan yang bergerak secara mekanis. Gerak dari dua buah lengan ini berguna untuk merubah gerak yang timbul dari profil jalan menjadi gerak rotasi yang ditransferkan melalui *planetary gear*. Komponen utama dari RSA ini terdiri dari mekanisme dua buah lengan, *planetary gearhead*, AC *rotary machine* dan *charging circuit*. RSA *two leg mechanism* ini didesain untuk sistem suspensi kendaraan berpenumpang, desain disesuaikan dengn *shock absorber* kendaraan dengan koefisien damping yang menyerupai. (Maravandi, 2015)



Gambar 2.8 Desain *Two-leg mechanism* RSA (Maravandi, 2015)

Prinsip kerja RSA metode lengan ini 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. 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.*



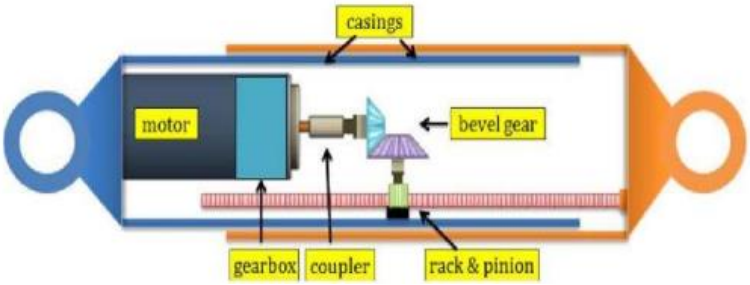
Gambar 2.9 Prototip *Two-leg mechanism* RSA (Maravandi, 2015)

Protip dari *Two-leg mechanism* RSA ditunjukkan pada gambar 2.9. Protip ini memiliki ukuran diameter 76mm. Pengujian prototip dilakukan dengan mensimulasikan profil jalan melalui pemasangan RSA di 6-dof *hexapod motion* (Mikrolar) dengan frekuensi di bawah 1 Hz, sehingga didapatkan pergerakan sinusoidal yang merupakan gerak input dari RSA ini. Hasil dari pengujian didapatkan RSA menghasilkan efek damping yang hampir sama dengan *shock absorber* pada umumnya. Energi getaran yang dapat dirubah menjadi energi rotasi memiliki efisiensi mekanik berkisar 0.71 dan 0.84. (Maravandi, 2015)

2.5 *Rack Pinion Regenerative Shock Absorber*

RSA dengan metode *rack pinion* telah banyak dilakukan penelitian dan simulasinya. Seperti yang dilakukan oleh Saraswat pada tahun 2015, penelitian yang dilakukan dengan membuat

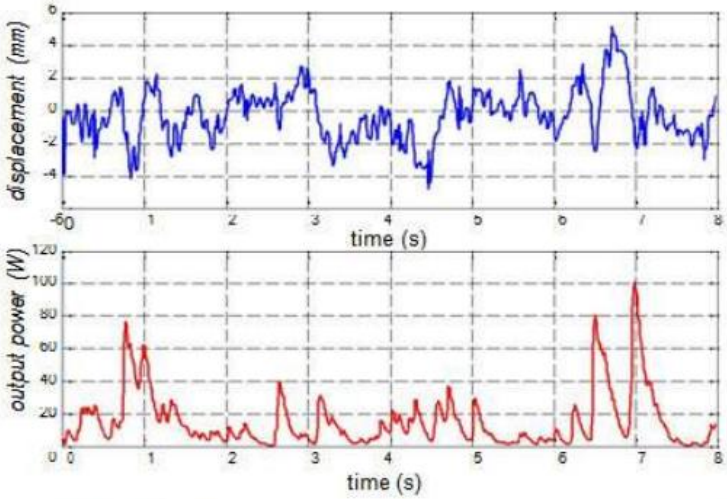
simulasi dan rancang bangun RSA *rack pinion* untuk kendaraan berpenumpang. Pada gambar 2.10 ditunjukkan desain *rack-pinion* RSA oleh Saraswat yang diperuntukkan untuk kendaraan berpenumpang. *Energy-harvesting* dengan metode *rack pinion* ini memanfaatkan gerakan naik-turun suspensi yang kemudian dikonversi menjadi gerak rotasi melalui sistem roda gigi yang kemudian akan digunakan untuk memutar generator. Generator akan menghasilkan listrik yang nantinya dapat disimpan untuk keperluan kendaraan tersebut Sebelum merancang, dilakukan pengamatan *displacement* yang terjadi pada *shock absorber* kendaraan tersebut.



Gambar 2.10 Desain *rack-pinion* RSA (Saraswat, 2015)

Dari hasil pengamatan awal didapatkan data RMS *suspension velocity* (m/s) dan energi yang terdisipasi (W) ketika kendaraan berjalan pada profil jalan yang berbeda. Selanjutnya dilakukan proses simulasi dengan menggunakan MATLAB. Rentang frekuensi yang dihasilkan berkisar 1-4 Hz. Dapat disimpulkan tegangan (v) yang dihasilkan pada frekunsi 4 Hz lebih stabil karena efek gerak inersia yang dihasilkan lebih besar ketika frekuensi lebih tinggi. Hasil pengujian prototip dari *rack pinion* RSA dengan kecepatan rata-rata 24 Km/h pada aspal didapatkan energi listrik sebesar 15.4 Watt. Dari grafik yang ditunjukkan pada gambar 2.11 *displacement* (mm) merupakan *input* energi dan *output power* (W) merupakan energi keluaran, semakin besar

displacement maka energi keluaran yang dihasilkan juga akan semakin besar. (Saraswat, 2015)

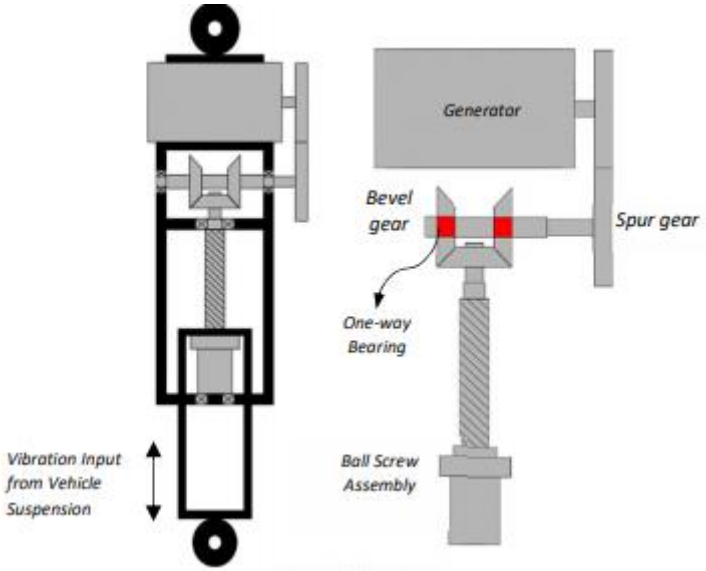


Gambar 2.11 Grafik *displacement* (mm) vs *output power* (W) (Saraswat, 2015)

2.6 *Ball Screw Regenerative Shock Absorber* (BSRSA)

Penelitian mengenai *energy-harvesting shock absorber* juga pernah dilakukan oleh mahasiswa Teknik Mesin ITS yaitu Dhion yang menciptakan *energy-harvesting shock absorber* menggunakan mekanisme ball screw dan *bevel gear* pada rancang bangun RSA. Terdapat tiga komponen penting dalam RSA ini, yaitu *ball screw*, *bevel gear* dan generator AC. Penelitian ini dilakukan pada kendaraan *pickup* untuk menggantikan *convensional shock absorber*. Pada gambar 2.12 ditunjukkan mekanisme BSRSA-*Bevel gear* yang didesain oleh Dhion pada tahun 2020. RSA dengan mekanisme *ball screw* ini memanfaatkan gerak relatif naik-turun yang dihasilkan oleh suspensi *pickup*. *Ball screw* merupakan komponen utama yang berfungsi merubah gerakan naik turun suspensi yang kemudian dikonversi menjadi gerak rotasi. Mekanisme *bevel gear* sebagai pengubah dua arah

putar menjadi 1 arah putar generator. sehingga nantinya energi yang diterima oleh *ball screw* dapat ditransferkan dan menggerakan generator DC.



Gambar 2.12 Mekanisme BSRSA-*Bevel gear* (Dhion, 2020)

Perancangan dimulai dengan mencari rasio *spur gear* yang menghasilkan karakteristik gaya redam menyerupai *convensional shock absorber* dengan simulasi menggunakan MATLAB, didapatkan rasio 0.6. Karakteristik gaya redam yang dihasilkan berbeda dibandingkan dengan konvensional *shock absorber*. Pengujian BSRSA ini dengan mengaplikasikan langsung ke pickup menggantikan *shock absorber pickup*. Instalasi BSRSA-*Bevel gear* pada pickup ditunjukkan pada gambar 2.13, selanjutnya diuji dengan empat tipe jalan yang berbeda yaitu *Speedbump*, *speed trap*, *asphalt road* dan *paving road*. Pada masing-masing tipe jalan terdapat tiga variasi kecepatan.

Gambar 2.13 Instalasi BSRSA-*Bevel gear* (Dhion, 2020)

Pengambilan data dilakukan dengan memasangkan BSRSA pada suspensi *pickup* kemudian dari generator AC disambungkan ke dioda 3 fasa, setelah menjadi arus DC 1 fasa, kemudian diberi beban elektrik berupa resistor 6 ohm. Voltase yang dihasilkan diukur dengan probe tegangan dan direkam oleh *oscilloscope*. Hasil dari pengujian didapatkan pada pengujian melewati *Speedbump*, nilai RMS daya bangkitan maksimal terjadi pada kecepatan 20 km/h yaitu sebesar 2,29 Watt. Pada pengujian melewati speed trap, nilai RMS daya bangkitan maksimal terjadi pada kecepatan 15 km/h yaitu sebesar 3,82 Watt. Pada pengujian melewati *asphalt road*, daya bangkitan yang dihasilkan sangat kecil Daya bangkitan yang dihasilkan adalah sebesar 0,03 Watt pada kecepatan 30 km/h. Dengan meningkatnya kecepatan dan

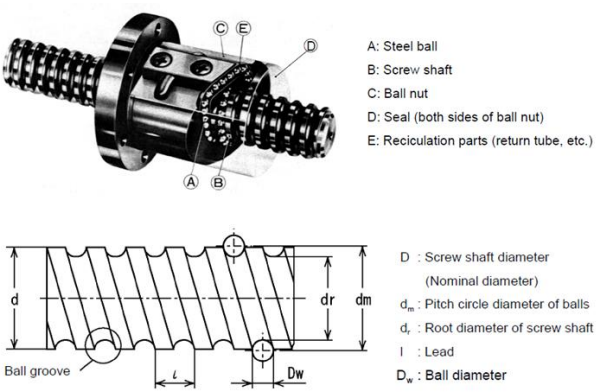
profil jalan yang tidak rata, maka energi bangkitan yang dihasilkan akan semakin besar. (Dhion, 2020)

2.7 Komponen Utama *Ballscrew Regenerative Shock Absorber* (RESA)

Dalam rancang bangun RESA untuk kendaraan *Toyota Avanza* ini memiliki perbedaan dengan BSRSA yang menggunakan *bevel gear*. Dimana tidak digunakannya *bevel gear* bertujuan untuk mengurangi energi bangkitan yang terbuang (*loses*). Energi bangkitan yang diperoleh oleh peredaman getaran berupa gerak translasi selanjutnya dikonversi menjadi gerak rotasi melalui *ball screw* langsung ditransferkan menuju generator AC melalui *coupling*. Terdapat empat komponen utama dalam perancangan RESA ini antara lain:

2.7.1 *Ball Screw*

Ball screw adalah *actuator linier* yang bertindak untuk mengubah gerak putar menjadi gerak lurus dengan gesekan kecil ataupun sebaliknya. Gesekan yang terjadi kecil dikarenakan antara *nut* dengan *bolt* terdapat bola yang berfungsi untuk mengurangi koefisien gesek. Aktuator sendiri merupakan suatu pengubah, yang mengubah gerak linear menjadi gerak rotasi. Aktuator dirancang untuk menggerakkan suatu mekanisme dan merubah suatu variabel kontrol di dalam proses. Konstruksi dan desain *Ball Screw* ditunjukkan pada gambar 2.14. Pada poros berulirnya *(screw)* terdapat jalur berbentuk heliks untuk ball bearing yang bertindak sebagai sekrup presisi yang mampu menahan gaya dorong yang cukup tinggi dengan gesekan internal yang kecil. *Ball screw* cocok digunakan dalam mekanismne yang membutuhkan presisi tinggi. Susunan bola pada *ball screw* disebut *nut*. Dalam aplikasinya terdapat berbagai macam ukuran diameter *screw* dengan ukuran *lead*. *Lead* merupakan jarak antara jalur berbentuk heliks untuk *ball bearing.*



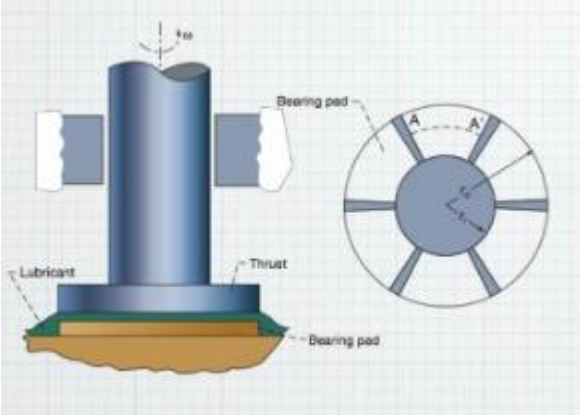
Gambar 2.14 Konstruksi dan desain *Ball Screw*

2.7.2 *Bearing*

Bearing merupakan komponen yang berfungsi untuk menahan beban radial maupun aksial poros agar dapat berputar pada pusat putarnya, bearing juga dapat digunakan sebagai *linear guiding* pada poros yang bergerak secara linear. Dengan adanya *bearing* memungkinkan sebuah poros yang memiliki beban agar poros dapat berputar tanpa mengalami gesekan yang berlebihan. Bearing harus cukup kokoh untuk memungkinkan poros serta elemen mesin lainnya bekerja dengan baik. Jika bearing tidak berfungsi dengan baik maka prestasi seluruh sistem tidak dapat bekerja secara semestinya. Dalam rancang bangun RESA, diperlukan dua jenis *bearing* yaitu *thrust bearing* dan *linear bearing*.

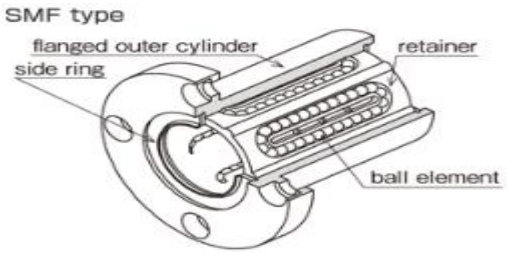
Thrust bearing berfungsi untuk menahan beban horisontal yang paralel dengan sumbu poros horisontal. *Thrust bearing* ini berbentuk datar, dimana pada kasus poros yang berputar dalam hal ini ball screw, dapat menahan beban yang searah dengan sumbu

poros. Konstruksi dan desain dari *Thrust Bearing* ditunjukkan pada gambar 2.15.



Gambar 2.15 Konstruksi dan desain *Thrust Bearing*

Linear bearing berfungsi sebagai lintasan untuk gerakan linear poros pada suatu sistem mekanika dengan cara mengurangi gesekan dengan bantuan *ball* yang tersusun secara khusus. Konsentrasi utama dari *linear bearing* adalah sebagai bantalan bola *linear* yang berguna pada permukaan geser pada gerakan *linear*. Konstruksi dan desain dari *Linear Bearing* ditunjukkan pada gambar 2.16.



Gambar 2.16 Konstruksi dan desain *Linear Bearing*

2.7.3 *Coupling*

Coupling adalah suatu elemen mesin yang berfungsi sebagai penerus putaran dari poros penggerak ke poros yang digerakan. Dalam perancangan ini *coupling* terletak diantara poros ulir *(screw)* menuju poros dari generator AC. Fungsi dari *coupling* sebagai penerus putaran dan daya yang memungkinkan digerakan secara pasti tanpa terjadi *slip*, dimana kedua poros tersebut terletak pada satu garis lurus. 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. Konstruksi dan desain dari *Coupling* ditunjukkan pada gambar 2.17.

Gambar 2.17 Konstruksi dan desain *Coupling*

2.7.4 Generator Listrik

Generator adalah sebuah alat yang merubah energi mekanik menjadi energi listrik. Generator listrik menginduksi gaya gerak listrik (GGL) atau EMF dengan memutar kumparan dalam medan magnet. Generator berguna untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik, prinsip ini berkebalikan dengan motor listrik. Energi mekanik dapat berasal dari putaran mesin, turbin uap, turbin gas, turbin air atau turbin gas. Dalam perancangan ini energi mekanik berasal dari gerak yang dihasilkan dari putaran *screw* akibat gerak translasi hasil redaman getaran dari *shock absorber*. 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 menghasilkan arus bolak-balik (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 menghasilkan arus searah (DC). 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.

Dalam perancangan ini menggunakan generator listrik AC 3 fasa. generator yang digunakan adalah jenis motor AC 3 fasa Tamagawa TBL-i II Series TS4607N1033E200 yang difungsikan sebagai generator pada gambar 2.18. Output dari generator masih berupa arus AC 3 fasa, sehingga perlu ditambahkan diode 3 fasa agar arus yang dihasilkan DC 1 fasa. Spesifikasi dari generator ini mampu menghasilkan daya mencapai 100 Watt dengan tegangan mencapai 200 Volt. Putaran maksimal yang diijinkan dari generator adalah 5000 rpm. (Tamagawa Cathalog).

Gambar 2.18 Generator AC 3 Fasa Tamagawa (Tamagawa Cathalog)

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

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

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

Dengan,

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

Karena induktansi diabaikan, maka persamaan tersebut menjadi:

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

Sehingga persamaan menjadi:

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

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

dimana:

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

Rumus torsi elektrik pada generator:

$T_e = F_e a$

$\mathrm{T_e} = (\mathrm{NB}l\mathrm{I})\mathrm{a}$

$\mathrm{T_e} = \mathrm{NB}l(\beta\dot{\theta})\mathrm{a}$

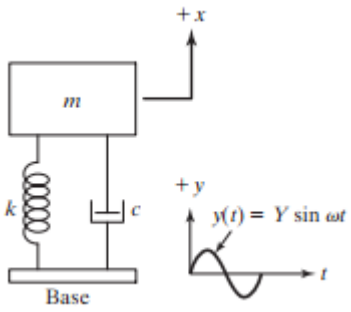
$\mathrm{T_e} = \mathrm{NB}l\mathrm{a}\beta\dot{\theta} = \mathrm{c_{Te}}\dot{\theta}$ (2.4)

dimana:

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

2.8 *Motion of Base*

Teori *motion of base* digunakan dalam menganalisa gaya yang terjadi pada sistem suspensi kendaraan baik ketika menggunakan *convensional shock absorber* maupun menggunakan RESA. *Forced Vibration* terjadi jika sistem mekanik terkena gaya dari luar sistem.



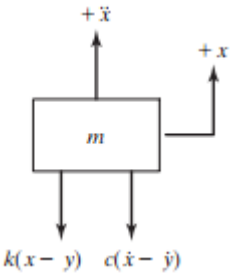
Gambar 2.19 Sistem *Force Vibration with Damping* (Rao, 2011)

Turunan persamaan dari gambar 2.19 *free vibration with viscous damping*

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

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

Dalam penerapannya profil jalan yang tidak rata akan menghasilkan eksitasi input $y(t)$, dimana memungkinkan suatu sistem pada pegas-massa-peredam mengalami gerak harmonik seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.19. Eksitasi input $y(t)$ menyatakan perpindahan dari base, dan $x(t)$ menyatakan perpindahan massa dari posisi kesetimbangan statis pada waktu t. Sehingga perpanjangan dari pegas adalah $(x - y)$ dan kecepatan relatif antara kedua ujung damper adalah $(\dot{x} - \dot{y})$. Dari *free body diagram* didapatkan persamaan gerak:



Gambar 2.20 FBD *Force Vibration with Damping* (Rao, 2011)

Dari *free body diagram* pada gambar 2.20 didapatkan persamaan gerak:

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

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

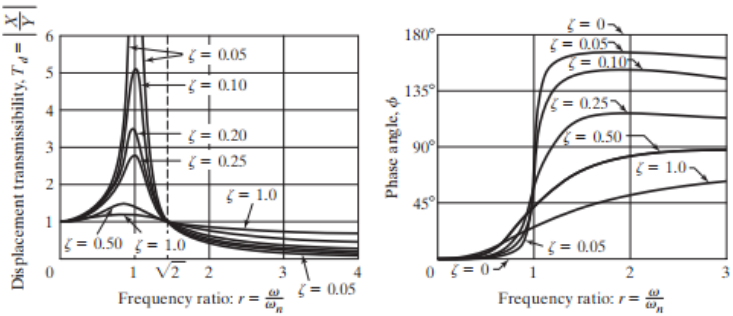
2.9 Transmibilitas Perpindahan (*Displacement Transmibility*)

Rasio dari amplitudo respon $x_p(t)$ terhadap *base motion* $y(t)$, yaitu $\frac{X}{Y}$ disebut dengan *displacement transmissibility*. Grafik transmisibilitas perpindahan dapat dilihat pada gambar 2.21. *Displacement transmissibility* merupakan seberapa besar respon gerakan yang ditransmisikan dari input jalan ke massa kendaraan dengan variasi frekuensi saat berkendara. (Rao, 2011)

Transmibilitas perpindahan dapat dirumuskan sebagai berikut

$$T = \frac{X}{Y} = \frac{input\ displacement}{output\ displacement}$$

$$T = \frac{X}{Y} = \sqrt{\frac{1 + (2\zeta r)^2}{(1-r^2)^2 + (2\zeta r)^2}} \qquad (2.9)$$



Gambar 2.21 *Grafik Variasi Td dan ϕ terhadap r (Rao, 2011)*

Catatan:

1. Nilai T adalah *unity* saat $r = 0$ dan mendekati *unity* untuk nilai-nilai kecil r
2. Untuk sistem *undamped* $(\zeta = 0), T \rightarrow \infty$ saat resonansi $(r = 1)$
3. Nilai T lebih kecil dari *unity* (T < 1) untuk nilai $r > \sqrt{2}$ (untuk setiap jumlah redaman ζ)
4. Nilai T *unity* untuk semua nilai ζ saat $r = \sqrt{2}$
5. Untuk $r < \sqrt{2}$, semakin kecil *damping ratio* menyebabkan semakin besar nilai T. Sedangkan $r > \sqrt{2}$, semakin kecil *damping ratio* menyebabkan semakin kecil nilai T.
6. *Displacement transmissibility*, T, mencapai maksimum untuk 0 < ζ < 1 saat *frequency ratio* $r = r_m < 1$

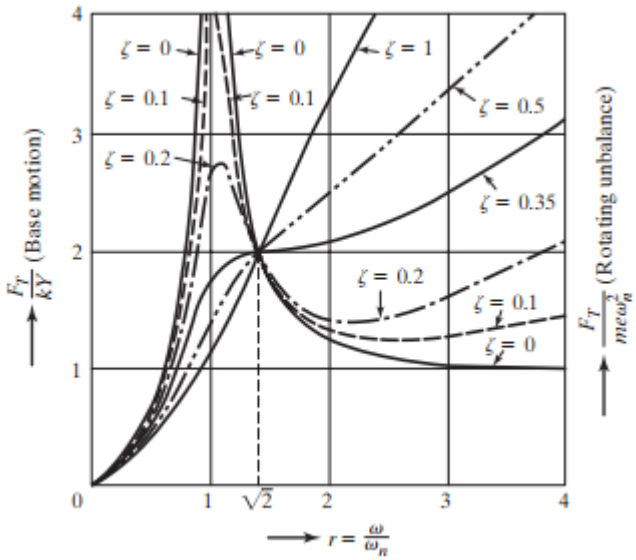
$$r_m = \frac{1}{2\zeta}\left[\sqrt{1 + 8\zeta^2} - 1\right]^{1/2} \qquad (2.10)$$

2.10 Transmibilitas Gaya (*Force Transmibility*)

Rasio dari $\frac{F_T}{k\,Y}$ diketahui sebagai *force transmissibility* dengan catatan gaya yang ditransmisikan berada pada fase yang sama dengan gerakan dari massa $x(t)$. Variasi dari gaya yang ditransmisikan ke permukaan jalan (*base*) dengan rasio frekuensi r

dapat dilihat pada gambar 2.22 yang merupakan grafik transmibility gaya untuk nilai damping ratio (ζ) yang berbeda. F_T merupakan nilai amplitudo tertinggi yang diberikan ke *base*, sehingga rasio *force transmissibility* adalah sebagai berikut:

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



Gambar 2.22 *Grafik* Force Transmisibility *vs* Frequency Ratio (Rao, 2011)

Gaya, F, ditransmisikan ke permukaan jalan atau tumpuan bergantung pada reaksi dari pegas (*spring*) dan *dashpot*. Gaya tersebut dapat dirumuskan pada persamaan 2.7 dan 2.8.

2.11 Pengaruh Percepatan Kendaraan terhadap Kenyamanan Pengendara

Kenyamanan pengendara merupakan hal yang bersifat subyektif, namun beberapa riset telah dilakukan untuk memecahkan masalah tersebut. Salah satunya adalah penelitian yang memperkenalkan suatu pengertian ketidaknyamanan yang dialami pengemudi dan peralatan terhadap getaran. (Baqarizky, 2017).

Telah dilakukan penelitian yang memperkenalkan suatu pengertian ketidaknyamanan yang dialami pengemudi dan peralatan terhadap getaran. Untuk penelitian ini standar kenyamanan yang digunakan untuk menganalisa kenyamanan pada manusia menggunakan ISO 2631. Untuk kriteria kenyamanan berdasarkan besar percepatan menurut standart ISO 2631, ditampilkan pada tabel 2.1.

Tabel 2.1 Nilai percepatan yang dapat diterma untuk kenyamanan pengendara (Rao, 2011)

No.	Getaran	Keterangan
1.	$a < 0.315\ m/s^2$	Tidak ada keluhan
2.	$0.315\ m/s^2 < a < 0.63\ m/s^2$	Sedikit tidak nyaman
3.	$0.5\ m/s^2 < a < 1.0\ m/s^2$	Agak tidak nyaman
4.	$0.8\ m/s^2 < a < 1.6\ m/s^2$	Tidak nyaman
5.	$1.25\ m/s^2 < a < 2.5\ m/s^2$	Sangat tidak nyaman
6.	$a > 2\ m/s^2$	Amat sangat tidak nyaman

Getaran yang terjadi pada nilai a (percepatan) yang tercantum pada tabel 2.1 dapat dijadikan acuan bagaimana respon

manusia terhadap percepatan yang terjadi pada kendaraan akibat getaran pada kendaraan publik. Akan tetapi kenyamanan pengendara juga bergantung pada durasi perjalanan dan ekspektasi pengendara ketika mengendarai kendaraan.

Selain berdasarkan tingkat kenyamanan, acuan baik tidaknya suspensi kendaraan juga dilihat berdasarkan tingkat keamanan. Suspensi dapat dikatakan relatif aman jika roda dan permukaan jalan melekat dengan baik atau diusahakan defleksi pada roda seminimal mungkin. Defleksi maksimum dari suspensi depan sebesar 10 cm, sedangkan untuk suspensi belakang maksimum sebesar 12 cm. (ISO, 1997).

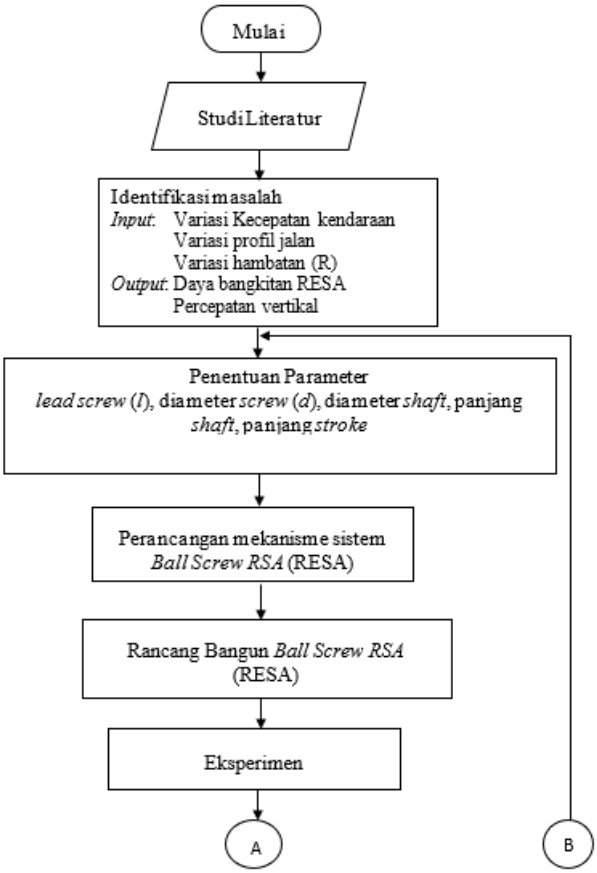
(halaman ini sengaja dikosongkan)

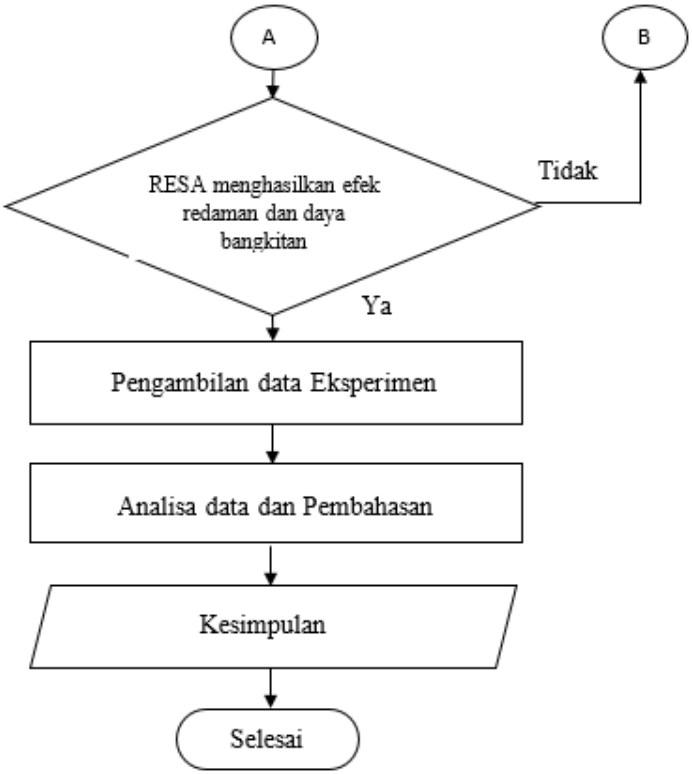
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Pelaksanaan penelitian tugas akhir RESA *(Regenerative Shock Absorber)* dilakukan dalam beberapa tahapan, secara garis besar tahapan penelitian ditunjukan dalam diagram alir pada gambar berikut.





Gambar 3.1 Diagram Alir Tugas Akhir

3.2 Penjelasan Tahap Penelitian

Berikut ini merupakan penjelasan dari diagram alir *penelitian* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3.1 di atas. Pada tahap pengambilan keputusan, RESA dikatakan bekerja dengan baik, apabila pada eksperimen RESA dapat menghasilkan efek redaman yang ditunjukan dengan gerak translasi oleh *shaft* yang dihasilkan dari profil jalan. Dari gerak translasi tersebut RESA dapat menghasilkan daya bangkitan.

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* (RESA) menggunakan *Ball Screw*. Hal tersebut bertujuan untuk menambah pengetahuan, wawasan, serta landasan mengenai permasalahan yang dibahas dalam penulisa 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

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

3.2.3 Penentuan Parameter

Pada tugas akhir ini jenis kendaraan yang dianalisa adalah kendaraan *Toyota avanza*. Untuk itu diperlukan data parameter yang menunjang perancangan *Regenerative Shock Absorber* (RESA) menggunakan *Ball Screw* yang sesuai dengan kondisi *Toyota Avanza.* Data parameter yang diperlukan pada RSA meliputi dimensi *ball screw,* panjang *screw,* diameter *gear,* panjang poros, dan diameter poros. Dimensi RESA dan dimensi tiap part dapat dilihat di Gambar 3.4. Parameter RESA dan *shock*

absorber Toyota Avanza tersebut dapat dilihat pada tabel 3.1 dan 3.2.

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

Parameter	Nilai
Diameter RESA	73 mm
Panjang RESA terpasang	460 mm
Panjang maximal RESA	520 mm
Panjang minimal RESA	420 mm
Dimensi Ball Screw nut	40 mm
Panjang Screw	170 mm
Diameter Screw	12 mm
PanjangStroke RESA	100 mm
Lead Screw	8 mm
Diameter linear bearing	6 mm
Diameter thrust bearing	8 mm
Diameter shaft konektor	6 mm
Diameter Coupling	10 mm

Kemudian, perancangan desain RESA *ini* menggunakan acuan *convensional shock absorber* kendaraan penumpang yaitu *Toyota Avanza*. Acuan tersebut digunakan untuk memastikan ruang yang ada pada sistem mekanisme suspense Toyota Avanza dapat dipasang RESA. Berikut merupakan data parameter dari *shock absorber Toyota Avanza* tersebut.

Tabel 3.2 Tabel Parameter *shock absorber Toyota Avanza*

Parameter	Nilai
Diameter *shock absorber*	47.00 mm
Panjang terpasang	460 mm
Panjang maximal	580 mm
Panjang minimal	384 mm
Panjang stroke	196 mm

Data parameter tersebut telah disesuaikan dengan spesifikasi *Toyota Avanza* dan ketersediaan di pasaran. Parameter tersebut digunakan sebagai acuan *(guide)* dalam mendesain RESA, tujuannya untuk memastikan agar RESA dapat diaplikasikan di *Toyota Avanza*. Untuk gambar desain dan ukuran detail dari rancangan RESA *ini* telah terlampir.

Pengambilan data RESA ini menggunakan kendaraan penumpang yaitu menggunakan *Toyota Avanza*. 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 yang ditunjukkan pada table 3.3.

Tabel 3.3 Tabel Parameter Kendaraan Uji

Parameter	**Keterangan**	**Nilai**	**Unit**
m_v	Massa Kendaraan	1045	Kg
K_v	Koefisien Pegas Kendaraan	79625	N/m
m_w	Massa ban	25	Kg
K_w	Koefisien Kekakuan Ban	162.47	N/m
C_w	Koefisien Redaman Ban	2860	N.s/m

Data parameter pada table 3.4 tersebut telah disesuaikan dengan spesifikasi pada katalog generator AC dengan Merek Tamagawa. Cara kerja dari generator AC pada RESA, berfungsi sebagai pengubah energi mekanik yang berupa putaran menjadi energi listrik. Putaran dihasilkan dari energi getaran yang berasal dari profil jalan yang menyebabkan gerak translasi pada *shaft* RESA, untuk selanjutnya dirubah menjadi Gerakan rotasi melalui *ball screw*. Putaran *Ball screw* diteruskan melalui *coupling* dengan rasio 1:1 yang terhubung ke *shaft* generator AC.

Faktor yang mempengaruhi kerja generator yaitu besarnya *displacement* (mm) yang disebabkan oleh profil jalan yang dilalui. *Displacement* menyebabkan putaran pada *ball screw* menjadi lebih tinggi, sehingga energi listrik yang dihasilkan akan semakin tinggi.

Tabel 3.4 **Tabel Parameter Generator**

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

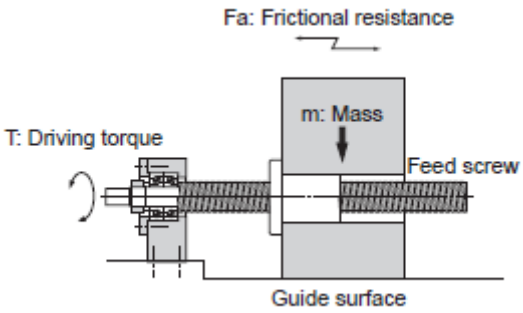
Gambar 3.2 **Kendaraan Uji Toyota Avanza**

3.2.4 Persamaan Matematis dan Penurunan Rumus

Pada penelitian Tugas Akhir ini akan dianalisa respon gerak dari *Toyota Avanza* ketika melewati profil jalan dengan kecepatan tertentu menggunakan *convensional shock absorber* 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 Avanza*. Sehingga dapat diketahui potensi energi yang terdisipasi oleh *shock absorber* dalam suspensi *Toyota Avanza*. 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 Avanza* 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 3.3 Arah torsi dan *axial force Ball Screw*

$$F_a = \frac{2 \times \pi \times \tau_a}{eff \times l} \tag{3.1}$$

Keterangan:

τ_a : *Driving Reverse Operation Torque* (Nm)
F_a : *Axial Force* (N)
l : *Screw Length* (m)
eff : *Reverse efficiency* (0,85-0,9)

b. Hubungan *velocity* kendaraan dengan frekuensi

$$f = \frac{v}{\lambda} \tag{3.2}$$

Dimana

$$f = 2\pi\omega \tag{3.3}$$

Keterangan :

f : Frekuensi (Hz)
v : *velocity* (m/s)
λ : *Lambda*
π : *Phi* (3,14)
ω : *Angular velocity* (rad/s)

c. Daya bangkitan

$$P = \frac{V^2}{R} \tag{3.4}$$

Keterangan :

P : Daya (Watt)
V : Tegangan (Volt)
R : Hambatan (Ohm)

d. Percepatan Vertikal

$$\ddot{x} = G\,\frac{g}{10\text{mV.skala}} \tag{3.5}$$

Dimana

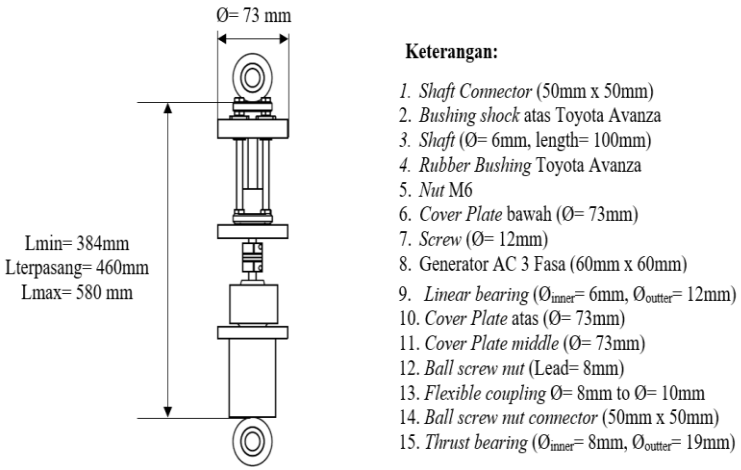
$$G = (\text{data } oscilloscope).\,100\text{mV}$$

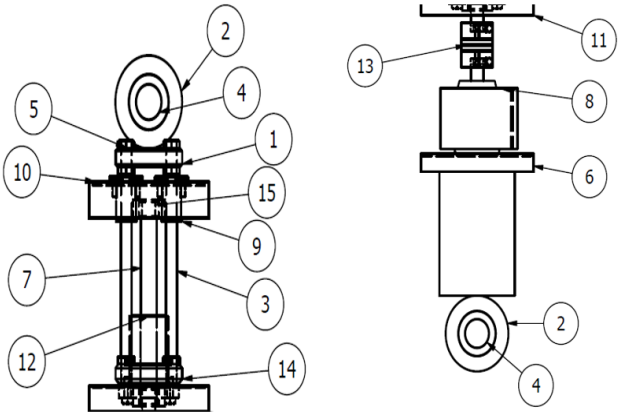
Keterangan :

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

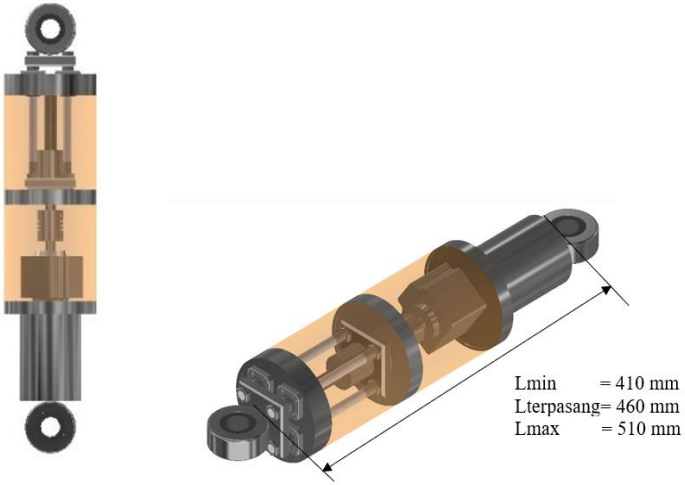
3.2.5 Rancang Bangun RESA

Dalam proses pembuatan RESA ini membutuhkan berbagai komponen. Komponen-komponen tersebut ada yang dibuat secara khusus melalui proses fabrikasi seperti *cover* plat *ball screw nut connector* dan *casing*. Beberapa komponen sudah tersedia di pasar, komponen yang tersedia di pasar antara lain *ball screw*, *bearing*, *coupling*, baut, dan generator. Berikut merupakan gambar 2D dari *regenerative shock absorber* model *ball screw* pada gambar 3.4 dan gambar 3D ditunjukkan pada gambar 3.5.





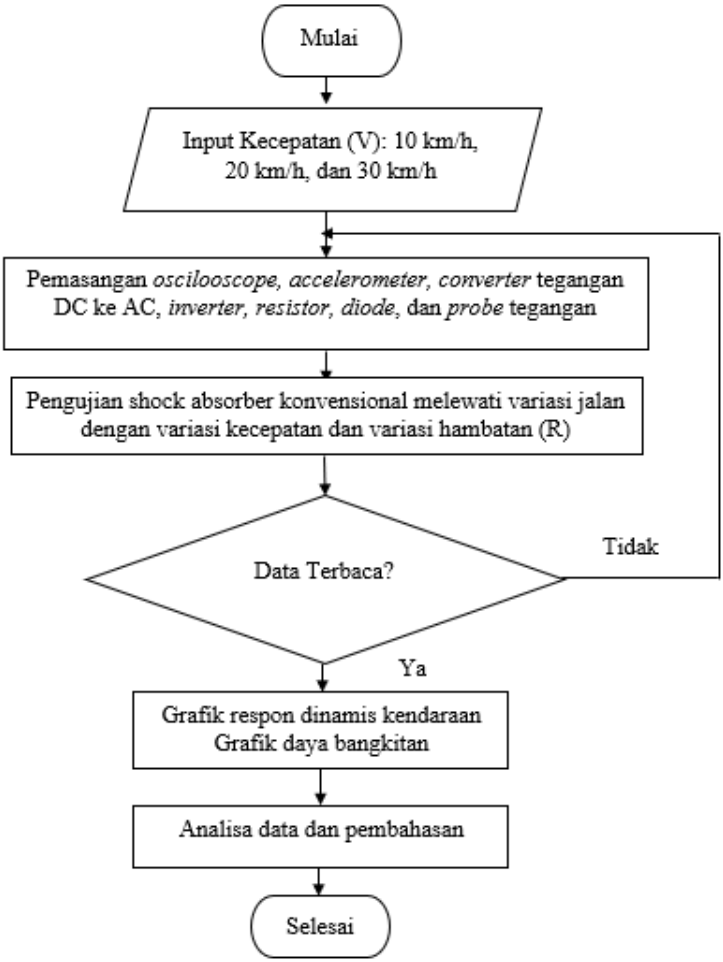
Gambar 3.4 Gambar 2D RESA



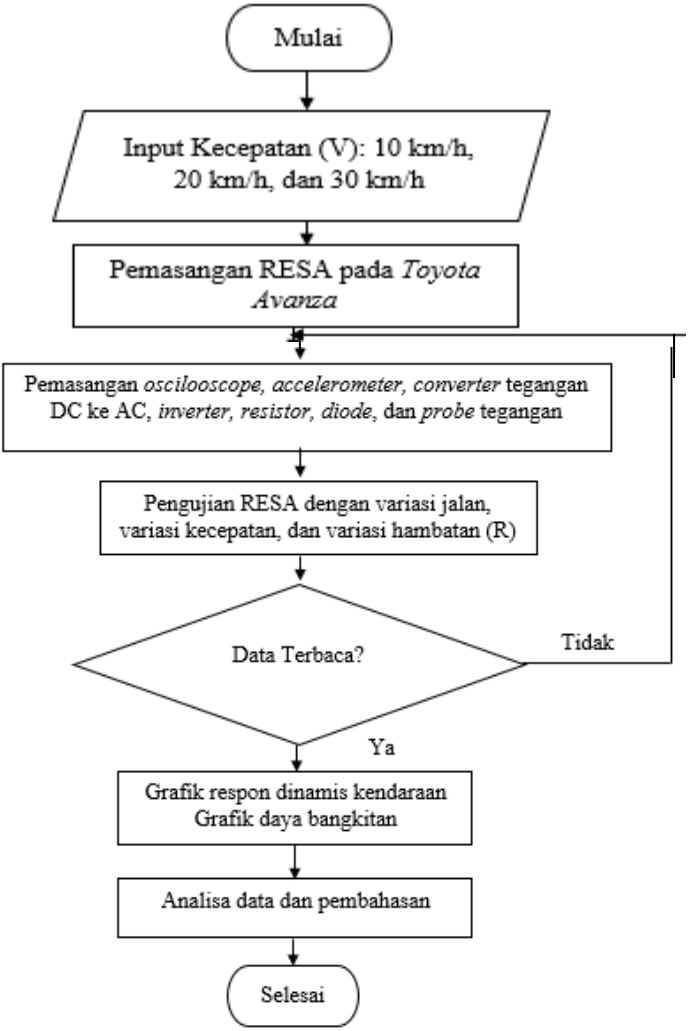
Gambar 3.5 Gambar 3D RESA

3.2.6 Tahap Eksperimen dan Pengambilan Data

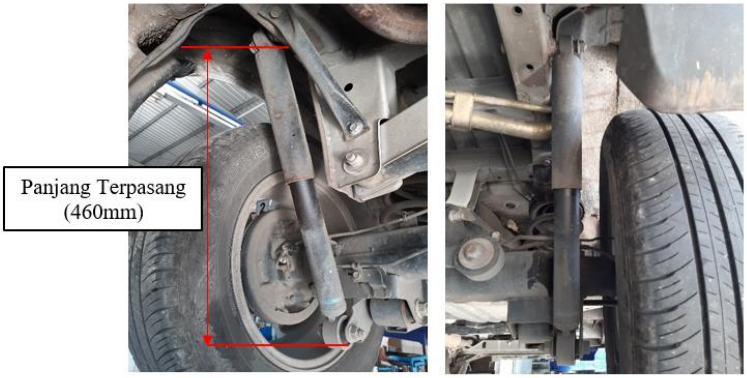
Eksperimen pada RESA dilakukan menggunakan kendaraan penumpang yaitu Toyota Avanza. Sebelum dilakukan pengujian RESA pada Toyota Avanza, terlebih dahulu dilakukan pengujian terhadap *convensional shock absorber* Toyota Avanza. Alat pengambilan data terlebih dahulu dilakukan instalasi untuk mendapatkan data pada *shock absorber* original. Untuk proses pengambilan data pada *shock absorber* original dilakukan beberapa langkah yang ditunjukan oleh diagram alir pada gambar 3.5. Selanjutnya RESA dipasang pada sistem suspensi bagian roda belakang sisi kiri, seperti pada gambar 3.7. Lokasi pengambilan data pada ditunjukkan pada gambar 3.8 untuk *paving road* berada di sekitar cluster Hilton Head, Perumahan Tirtasan Royal Resort, Malang, sedangkan untuk *asphalt road* di cluster Tirta Harmoni, Perumahan Tirtasani Royal Resort, Malang. Untuk *Speedtrap* lokasi pengambilan data di sekitar SMPN 1 Malang, Jalan Lawu Kota Malang dan *Speedbump (Speedbump)* di sekitar cluster Hilton Head, Perumahan Tirtasan Royal Resort, Malang. Terdapat 3 variasi kecepatan untuk *paving road* dan aspal yaitu 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h. Sedangkan untuk *Speedtrap* dan *Speedbump*, terdapat 3 variasi kecepat yaitu, 10 km/h, 15 km/h, dan 20 km/h. Masing-masing variasi kecepatan akan dilakukan 2 kali pengambilan data. Terdapat 3 variasi hambatan (R) guna mengetahui efek redaman yang dihasilkan yaitu 15 ohm, 20 ohm, dan 25 ohm. Masing-masing variasi hambatan (R) akan dilakukan 3 kali pengambilan data. Untuk proses pengambilan data dilakukan beberapa langkah yang ditunjukan oleh diagram alir pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Diagram Alir Pengujian *Convensional shock absorber*

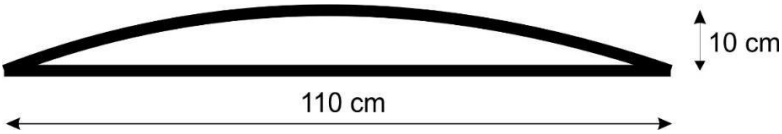


Gambar 3.7 **Diagram Alir Eksperimen**



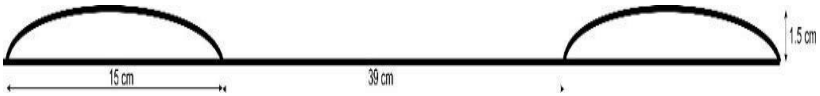
Gambar 3.8 Lokasi Pemasangan RESA pada *Toyota Avanza*

Speedbump yang digunakan adalah yang berada di Cluster Hilton Head, perumahan Tirtasani Royal Resort Malang. Gambar *Speedbump* dan ukuran sketsa *Speedbump* dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 **Lokasi dan Sketsa *Speedbump***

Speedtrap yang digunakan adalah yang berada di Jalan Lawu No. 12 depan SMPN 1 Malang. Gambar *Speedtrap* dan ukuran sketsa *Speedtrap* dapat dilihat pada gambar 3.10.



Gambar 3.10 Lokasi dan Sketsa *Speedtrap*

Kemudian, *paving road* yang digunakan berada di cluster Hilton head, perumahan Tirtasani Royal Resort. *Paving road* tersebut

cenderung bergelombang (tidak rata sehingga dipilih sebagai salah satu tempat pengujian. Gambar *paving road* dapat dilihat pada Gambar 3.11.

Gambar 3.11 Lokasi pengambilan Data *Paving road*

Kemudian, *asphalt road* yang digunakan berada di cluster Tirta Harmoni, perumahan Tirtasani Royal Resort. *Asphalt road* tersebut cenderung bergelombang (tidak rata) sehingga dipilih sebagai salah satu tempat pengujian. Gambar *asphalt road* dapat dilihat pada Gambar 3.12.

Gambar 3.12 Lokasi pengambilan Data *Asphalt road*

3.2.7 Peralatan Pengambilan Data

Dalam pengambilan data RESA di kendaraan *Toyota Avanza*, digunakan peralatan guna menunjang pengambilan data yang ditunjukkan pada gambar 3.13, 3.14, 3.15, 3.16 dan 3.17 sebagai berikut:

1. ***Osciloscope***

   Oscilloscope digunakan untuk menerima data dari *accelerometer* dan *probe* tegangan

Gambar 3.13 *Oscilloscope* Tektronix TBS1104

2. ***Converter* tegangan DC ke AC**

   Converter digunakan untuk mengubah tegangan DC dari *accu* Toyota Avanza menjadi tegangan AC untuk memberi daya *oscilloscope*

Gambar 3.14 *Converter* tegangan DC ke AC

3. ***Inverter***

Inverter digunakan untuk memperkuat sinyal dari *accelerometer* menuju *oscilloscope*

Gambar 3.15 *Inverter*

4. ***Accelerometer***

Accelerometer digunakan untuk mengukur data percepatan

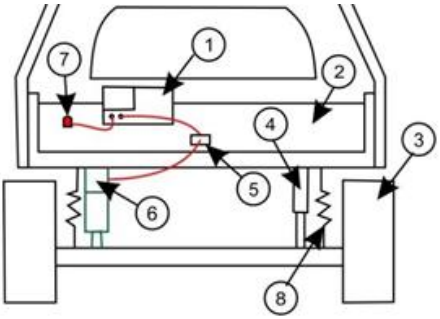
Gambar 3.16 *Acclerometer*

5. ***Probe* Tegangan**
   Probe Tegangan digunakan untuk mengukur tegangan yang dihasilkan generator RESA

Gambar 3.17 *Probe* Tegangan

3.2.8 Instalasi Peralatan Pengambilan Data

Dalam proses eksperimen dan pengambilan data dilakukan instalasi RESA pada sistem suspensi Toyota Avanza. Selanjutnya dilakukan instalasi peralatan pengambilan data untuk menunjang dalam proses pengujian yang ditunjukkan pada gambar 3.18.



Keterangan:

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

Gambar 3.18 Skema Instalasi Peralatan Pengambilan Data

BAB 4

PEMBAHASAN

4.1 Pengembangan Prototip RESA *(Regenerative Shock Absorber)* dengan Mekanisme *Ball Screw*

Perancangan dari pengembangan Prototip RESA dengan mekanisme ball screw ini merupakan perwujudan dari alat pemanen energi *(energy harvester)*. Prinsip kerja dari RESA adalah dengan menyerap atau memanen gaya akibat profil jalan. Gaya akibat profil jalan berupa gerak translasi. Gerak translasi kemudian dirubah menjadi gerak rotasi dengan mekanisme *Ball Screw*. Gerak rotasi yang dihasilkan *ball screw* digunakan untuk memutar generator AC guna membangkitkan daya.

Dalam merancang bangun prototip RESA, membutuhkan berbagai komponen. Komponen-komponen tersebut ada yang dibuat secara khusus melalui proses fabrikasi seperti *cover* plat, *ball screw nut connector* dan *shaft connector* berukuran 50 mm x 50 mm. Beberapa komponen sudah tersedia di pasar, komponen yang tersedia di pasar antara lain *ball screw*, *bearing*, *coupling*, baut, dan generator. Pengembangan RESA dimulai dengan penentuan dimensi. Penentuan dimensi ini dengan melakukan pengukuran awal terhadap ketersediaan ruang pada sistem mekanisme suspensi di Toyota Avanza. Seperti pada gambar 4.1, dilakukan pengukuran menggunakan jangka sorong digital terhadap jarak antara *casis* Toyota Avanza terhadap titik tengah *shock absorber*. Pengukuran ini penting dilakukan guna memastikan dimensi yang sesuai agar RESA dapat diaplikasikan pada Toyota Avanza. Selanjutnya melakukan pengukuran terhadap *convensional shock absorber* Toyota Avanza. Dari pengukuran tersebut, didapatkan beberapa parameter yang dapat dijadikan acuan dalam perancangan RESA. Kemudian perancangan RESA dilakukan dengan menggunakan *software* AUTOCAD dengan parameter yang telah diperoleh dari pengukuran pada Toyota Avanza. Kemudian dilakukan pengukuran kembali di Toyota

Avanza guna memastikan rancangan RESA sesuai denga parameter yang diperoleh. Setelah gambar desain selesai dibuat, gambar tersebut siap untuk dilakukan proses fabrikasi di bengkel bubut. Pada gambar 4.2 proses pembuatan *shaft connector, cover* plat dan *ball screw nut connector* ditunjukkan dengan bagian yang lingkari warna merah.

Gambar 4.1 Pengukuran pada suspensi Toyota Avanza

Komponen RESA terdapat di pasaran antara lain generator, *ball screw, linear bearing, thrust bearing, flexible coupling dan shaft.* Untuk pengembangan RESA dengan mekanisme *ball screw* ini digunakan *ball screw* THK BTK V 1205 dengan Panjang screw 170 mm dan *lead diameter* 5 mm. Generator yang digunakan adalah Tamagawa BLDC TBL-I II Series TS 4607N1033E200. Generator ini disambungkan dari poros generator menuju *screw* menggunakan *flexible coupling* dengan material aluminium dengan dimensi *outer* diameter 25 mm dan tinggi 30 mm. *Shaft* yang digunakan diameter 6 mm dengan material *stainless steel*. *Linear bearing* yang digunakan LMF6UU untuk diameter shaft 6 mm. *Thrust Bearing* yang digunakan ASB F8 19 untuk diameter *screw* 8 mm. Setelah dilakukan fabrikasi, kemudian dilakukan perakitan

perkomponen seperti pada gambar 4.2, selanjutnya dilakukan pengujian mekanisme dengan menyambungkan generator AC ke diode 3 fasa untuk pembacaan nilai tegangan menggunakan *multitester*.

(a)

(b)

(c)

(d)

(e) (f)

Gambar 4.2 Komponen RESA (a) *Linear Bearing*, (b) *Ball screw nut*, (c) *Thrust Bearing*, (d) *Flexible coupling*, (e) Generator, dan (f) Dudukan shock atas bawah

Komponen yang terdapat di pasaran juga mengalami proses fabrikasi, yaitu *shaft* dan *screw*. *Shaft* dengan diameter 6 mm dipotong menjadi 4 bagian dengan masing-masing Panjang 180 mm. Selain itu *shaft* juga diberi ulir M6 sepanjang 20 mm pada kedua sisi. *Screw* juga difabrikasi. *Screw* diameter 12 mm dengan panjang 170 mm dibubut sepanjang 40 mm menjadi 8 mm.

Proses selanjutnya yaitu merakit semua komponen RESA sesuai gambar rancangan seperti pada gambar 4.3. Pertama, dengan memasangkan *shaft* ke *shaft connector* dengan dibaut M6 kedua sisi, kemudian dipasangkan *linear bearing* pada *cover* plat atas. Selanjutnya, dengan memasukkan keempat *shaft* pada *linear bearing* dan dipasangkan ke *nut connector* dengan cara dibaut M6. Selanjutnya memasang *thrust bearing* yang tertanam pada *cover* plat atas dan *screw* bagian bawah. Kemudian, *screw* dengan diameter 8 mm dipasangkan ke *thrust bearing* yang telah tertanam pada *cover* plat atas.

Gambar 4.3 Perakitan RESA

Setelah proses perakitan, dilakukan proses pengujian mekanisme dengan menggerakan shaft naik turun melewati *linear bearing*. Ketika *shaft* dapat berjalan dengan lancar proses selanjutnya memasangkan *ball screw nut* ke *screw*. Dalam pemasangan ini perlu diperhatikan agar bola-bola dalam *nut* tidak keluar yang dapat menyebabkan gerak nut menjadi tidak lancar. Setelah ball screw dipastikan berjalan lancar, proses selanjutnya memasangkan *nut* ke *nut connector* dengan dibaut M4 berjumlah empat buah. Setelah itu, dipasangkan *thrust bearing* pada *screw* bagian bawah, kemudian *screw* dengan diameter 8 mm disambungkan ke *flexible coupling*, seperti pada gambar 4.4. Proses selanjutnya, menguji dengan cara menarik dan mendorong *shaft connector*, dari pengujian ini dilihat apakah *screw* dan *coupling* berputar dengan lancar seiring gerakan naik turun dari *shaft connector*. Proses selanjutnya dengan menyambungkan poros generator melalui *flexible coupling*. Setelah poros pada generator terpasang, dilakukan pengujian Kembali dengan cara menarik dan mendorong *shaft connector* secara manual. Pengujian tersebut memperlihatkan bahwa dengan seiring naik turunnya *shaft* secara lancar, *ball screw nut* bergerak naik turun, *screw* berputar kemudian memutar *coupling* sehingga poros dari generator juga ikut berputar.

Gambar 4.4 Screw terpasang dengan *Coupling*

Proses selanjutnya, membuat dudukan dari generator yang tersambung dengan *cover* plat bawah. Pembuatan dudukan mengikuti dudukan berjumlah empat yang telah ada pada generator. *Cover* plat bawah dibuat lubang berjumlah empat buah, kemudian dipasangkan baut dengan Panjang 80 mm yang dilas pada *cove*r plat bawah. Pemasangan generator pada dudukan dengan memasukan dudukan pada generator ke baut kemudian dibaut M4. Selanjutnya dilakukan pemasangan dudukan atas dan bawah dari *shock absorber* Toyota Avanza. Dudukan atas terlebih dahulu dilas dengan batang besi berbentuk silindris dengan diameter 30mm setinggi 40 mm, seperti pada gambar 4.5. Penambahan batang besi ini untuk memastikan agar RESA dapat terpasang di Toyota Avanza. Kemudian, batang besi tersebut dilas pada *shaft connector*. Untuk dudukan bagian bawah dipotong setinggi 90 mm, kemudian dilas pada *cover* plat bawah.

Gambar 4.5 Hasil Perakitan Prototip RESA

Tahap finishing, dengan melakukan proses pengecatan cat dasar besi anti karat, kemudian di cat berwarna biru pada *shaft connector*, *cover* plat atas dan *cover* plat bawah. Sebelum pemasangan ke Toyota Avanza, RESA ditambahkan kabel berjumlah tiga dengan Panjang 3 untuk kepentingan pengambilan data, kemudian diuji secara manual untuk memastikan apakah RESA dapat mengeluarkan tegangan bangkitan. Dalam pengujian ini terlebih dahulu dipasangkan kabel keluaran dari generator ke diode 3 fasa untuk merubah dari AC 3 fasa berubah menjadi DC. Instalasi listrik dari RESA ditunjukkan pada gambar 4.6 (a). Pengujian manual dilakukan dengan menyambungkan kabel output dari diode 3 Fasa ke multimeter untuk melihat tegangan bangkitannya. Pengujian manual dilakukan tanpa hambatan, terbaca pada multimeter seperti pada gambar 4.6 (b) sebesar 14,97 volt. Dalam pengujian digunakan casing terbuat dari mika kaku, penggunaan casing ini guna mengetahui cara kerja dari RESA, selain itu untuk kepentingan memudahkan dalam memastikan komponen RESA siap dalam setiap variasi pengambilan data, seperti pada gambar 4.5.

(a)

(b)

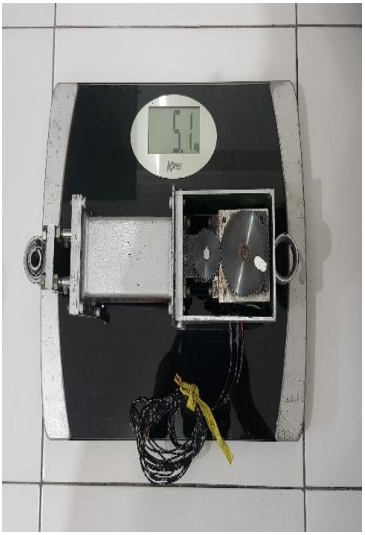
Gambar 4.6 (a) Instalasi Listrik RESA, (b) Hasil Pengujian Manual Tanpa beban

4.2 Perbandingan RESA dengan RSA Terdahulu

Untuk melihat pengembangan prototip RESA, maka RESA dibandingkan dari segi ukuran dan dimensi dengan RSA yang telah dibuat sebelumnya di Laboratorium Vibrasi dan Sistim Dinamis. RESA untuk Toyota Avanza sendiri memiliki massa sebesar 2.5 kg, RESA ditimbang menggunakan timbangan digital di Lab Alat Vibrasi ITS seperti pada gambar 4.7.

Gambar 4.7 Pengukuran Massa RESA

Kemudian, ketika dibandingkan dengan BSRSA-*Bevel gear*, dimensi dari RESA lebih kecil dengan diameter luar 76.3 mm, sedangkan BSRSA memiliki ukuran 86 mm x 92 mm dengan bentuk persegi panjang. Dari segi desain, bentuk dari RESA silindris menyerupai *convensional shock absorber* seperti pada gambar 4.8 (a). Ukuran yang lebih kecil didapatkan dari tidak digunakannya *bevel gear*, digantikan dengan *flexible coupling*, sehingga dapat memangkas ukuran dari RESA. Dari segi massa, BSRSA-*Bevel gear* memiliki massa sebesar 5.1 kg seperti pada gambar 4.8 (b), lebih berat dibandingkan RESA.



(a) (b)

Gambar 4.8 (a) Perbandingan Bentuk RESA dengan BSRSA-*Bevel Gear*, (b) Massa BSRSA-*Bevel Gear*

Kemudian, ketika dibandingkan dengan RSA model *rack pinion*, dimensi dari RESA lebih kecil. Hal tersebut dikarenakan penggunaan *ball screw* yang dapat memangkas ukuran RSA ini dan tidak adanya penggunaan gear pada RESA. Dari segi bentuk, RSA model *rack* pinion sama sama memiliki bentuk silindris seperti RESA, hanya saja diameter dari RESA lebih kecil seperti pada gambar 4.9 (a). Dari segi massa, RSA model *rack pinion* memiliki massa sebesar 6.2 kg seperti pada gambar 4.9 (b), lebih berat dibandingkan RESA.

(a)

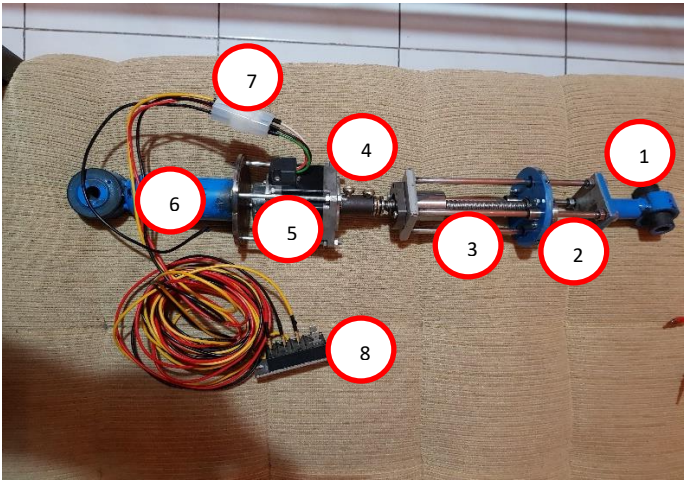
(b)

Gambar 4.9 (a) Perbandingan Bentuk RESA dengan RSA model *Rack Pinion*, (b) Massa RSA *Rack Pinion*

4.3 Pengujian RESA pada Mekanisme Suspensi Toyota Avanza

Sebelum pengambilan data, Toyota Avanza dipastikan dalam keadaan standar pabrik. Selanjutnya, dipersiapkan terlebih dahulu agar data yang dihasilkan dapat menunjukkan nilai yang cukup akurat dan representatif. Hal tersebut seperti menambah tekanan ban sesuai standar jenis kendaraan, pengecekan *speedometer*, pengecekan sistem suspensi, dan pengecekan *accu*.

Kemudian dilakukan pengecekan dan pengujian manual kembali terhadap RESA. Selanjutnya RESA dipasang pada Toyota Avanza. Berikut merupakan gambar komponen- komponen RESA yang telah dirakit.



(a)

(b)

Gambar 4.10 Komponen pada RESA (a) Komponen Penting RESA dan (b) RESA dengan Casing

Keterangan:

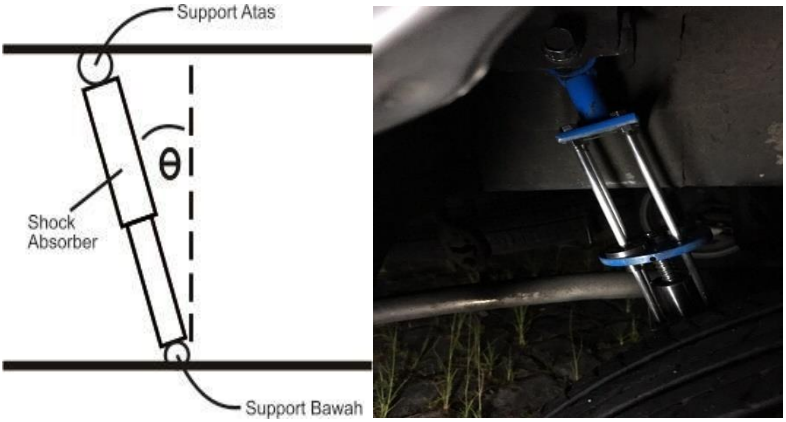
1. Dudukan Atas
2. *Shaft diameter* 6 mm
3. *Ball Screw*
4. *Flexible Coupling*
5. Generator
6. Dudukan Bawah
7. Kabel Output RESA
8. Dioda 3 Fasa

4.3.1 Pemasangan RESA pada Toyota Avanza

Pengujian RESA dilakukan pada kendaraan berpenumpang berjenis MPV *(Multi Purpose Vehicle)* yaitu Toyota Avanza. Toyota Avanza dipilih karena merupakan salah satu MPV yang paling banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia. Selain itu, mekanisme suspensi dari Toyota Avanza, *coil spring* dan *shock absorber* terpisah, hal ini memungkinkan pengaplikasian RESA pada Toyota Avanza. Selain itu proses penggantian dari *shock absorber* Toyota Avanza juga mudah dengan menggunakan mur berukuran 17. Mekanisme suspensi

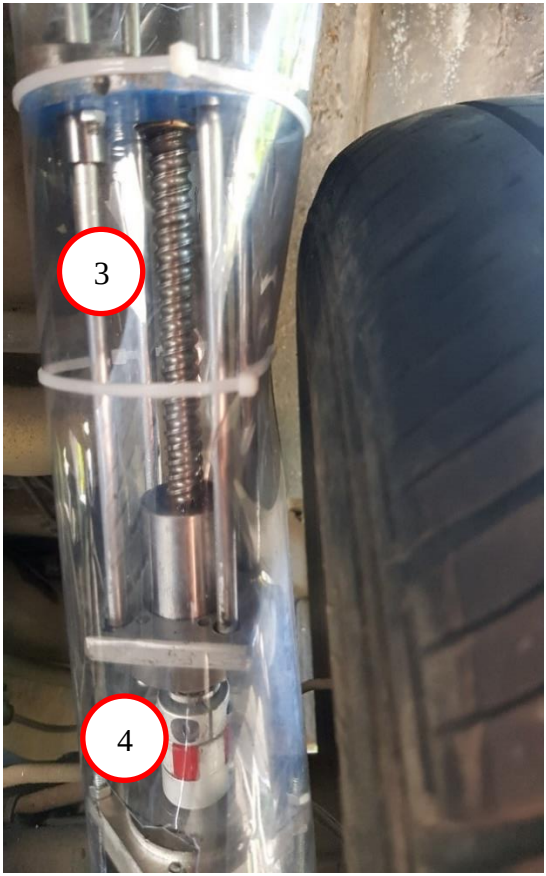
Toyota Avanza dan proses pemasangan RESA dapat dilihat pada gambar.

Proses pemasangan RESA dimulai dengan melepas *Convensional shock absorber* pada sebelah kanan belakang kendaraan. Sisi sebelah kanan kendaraan dipilih karena proses pemasangan RESA lebih mudah, dan juga karena pada bagian kanan belakang memiliki ruangan yang cukup sehingga memudahkan proses *wiring* RESA dalam pengujian. Setelah *shock absorber* dilepas, RESA dipasang menggantikan tempat *shock absorber* sebelumnya. Untuk kemiringan pemasangan RESA mengikuti kemiringan *convensional shock absorber*. Shock absorber Toyota Avanza memiliki sudut kemiringan sebesar 28°

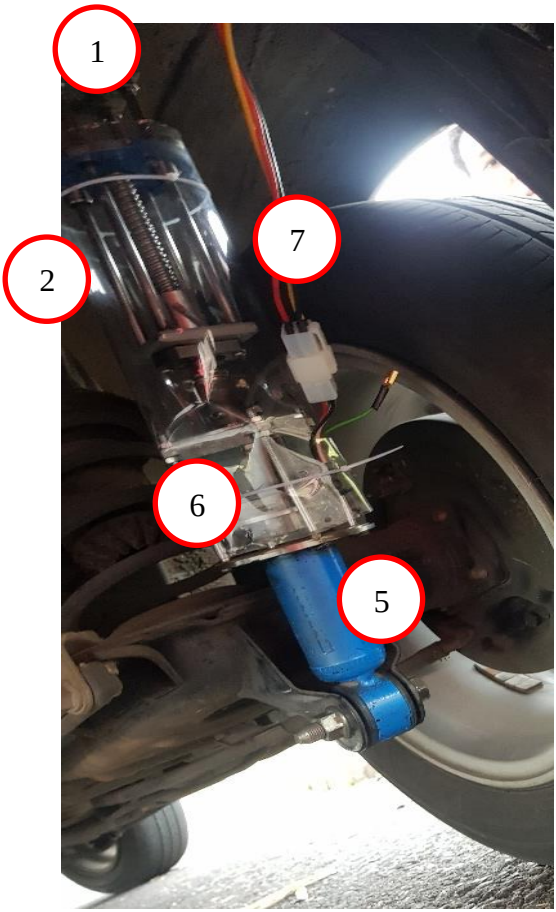


(a) (b)

Gambar 4.11 (a) Sudut Kemiringan Pemasangan RESA, (b) Tampak Samping Pemasangan RESA



(a)



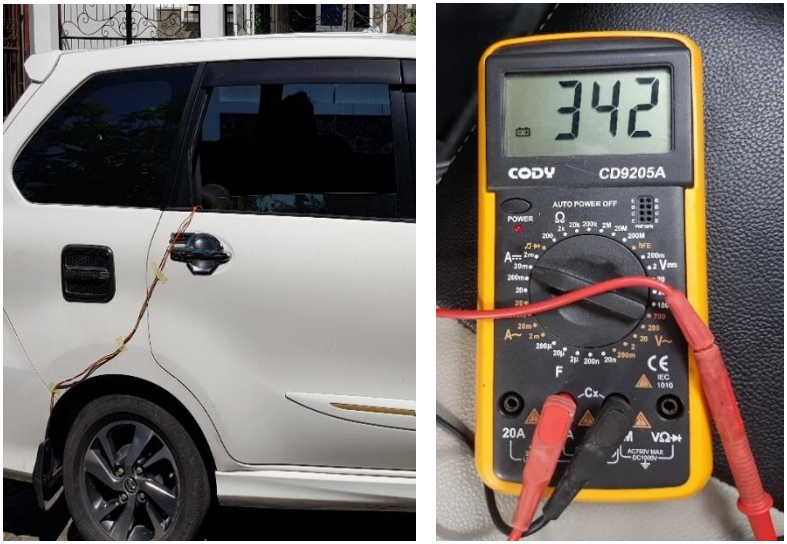
(b)

Gambar 4.12 (a) Pemasangan RESA Tampak Depan, (b) Tampak Samping pada Toyota Avanza

Keterangan:

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

Setelah RESA terpasang, sebelum diuji pada beberapa tipe jalan, dilakukan percobaan kembali untuk mengecek apakah generator dapat menghasilkan tegangan bangkitan. Pada generator, telah ditambahkan kabel sepanjang 3 meter dengan penambahan *socket* pada kabel output agar sampai pada bak kendaraan. Percobaan dilakukan dengan cara pengambil data duduk dibangku belakang Toyota Avanza sehingga terjadi osilasi pada RESA. Saat diuji menggunakan multitester dilakukan pengukuran ampere, sistem RESA dapat menghasilkan 0.342 Ampere. Kemudian di cek kembali sambungan kabel *output* dengan generator, sambungan diode 3 fasa, sambungan resistor dan sambungan probe tegangan. Ketika semua telah terpasang dengan benar, dilakukan pengecekan kembali pada rangkaian tersebut. Sehingga, RESA layak untuk diuji pada beberapa kontur jalan dengan kecepatan tertentu.



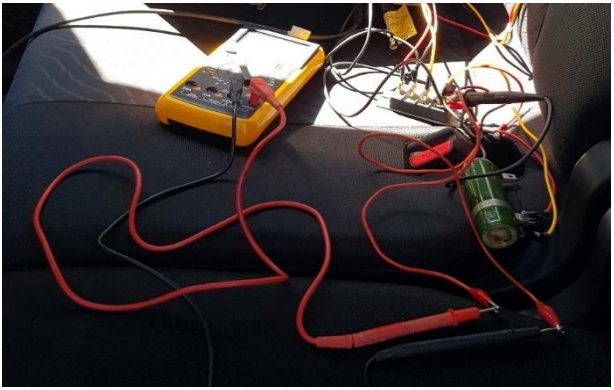
(a) (b)

Gambar 4.13 (a) Pengujian Manual Pada Toyota Avanza, (b) Pengukuran Nilai Ampere

4.3.2 Instalasi Peralatan Pengambilan Data

Setelah RESA dipasang, peralatan lain untuk menunjang proses pengambilan data juga dipasang dan diatur baik posisi maupun pengaturan rangkaian. 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 wirewound* yang sudah di set sebesar 15 Ohm, 20 Ohm, dan 25 Ohm guna menghitung daya bangkitan dalam proses pengujian RESA. Pengukuran hambatan dilakukan Ketika pengujian di dalam mobil dengan cara menggeser cincin pada resistor, kemudian diukur menggunakan multitester seperti pada gambar 4.14 (a). Ketika terbaca seperti pada gambar

4.14 (b) cincin pada resistor dikencangkan dengan cara dibaut, proses yang sama pada variasi 15 Ohm dan 25 Ohm.

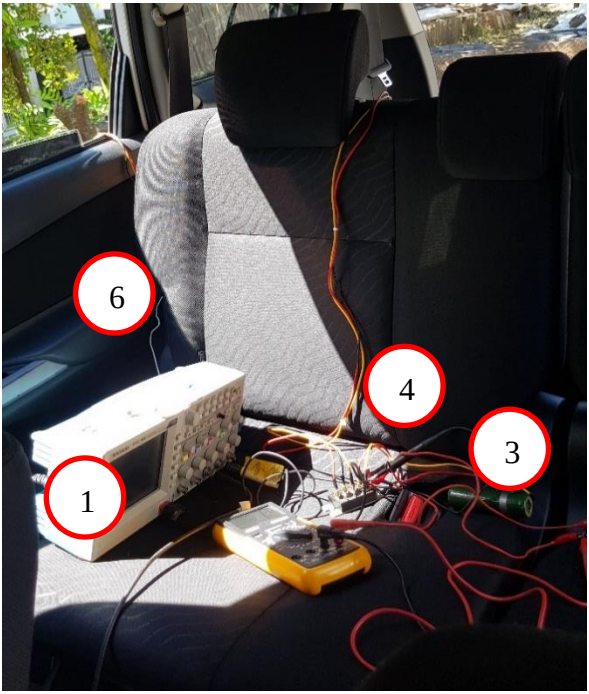


(a)

(b)

Gambar 4.14 (a) Penggunaan Hambatan pada Pengambilan Data, (b) Hasil Pengukuran Variasi Hambatan 20 Ohm saat Pengambilan Data

Dalam proses pengambilan data, semua peralatan diletakkan di jok belakang untuk memudahkan proses pengambilan data. Urutan pemasangan peralatan adalah pertama *converter* tegangan DC ke AC dihubungkan dengan sumber daya dari aki mobil dengan *power outlet* yang tersedia pada *dashboard* mobil. Setelah *converter* terhubung, daya disambungkan ke *oscilloscope*. *Channel* 3 dari *oscilloscope* disambungkan dengan *inverter* dan *accelerometer*. Sementara *accelerometer* dipasang pada bagian atas suspensi kanan belakang kendaraan. 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. Instalasi alat pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 4.15



Gambar 4.15 Instalasi Peralatan Pengambilan Data RESA

Keterangan:

1. *Oscilloscope*
2. *Inverter*
3. Resistor *Wire Wound*
4. *Probe* Tegangan dan diode
5. *Converter*
6. *Acclerometer*

4.3.3 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan dengan lokasi di dalam perumahan Tirtasani Royal Resort, Malang untuk *paving road*, *asphalt road*, dan *Speedbump*. Sedangkan untuk speed trap di Jalan Lawu, Kota Malang. Pengambilan data dilakukan dengan variasi kecepatan 5 km/h, 10 km/h dan 15 km/h saat melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, kemudian 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h pada *paving road* dan aspal. Pengambilan data membutuhkan empat personil dengan pembagian tugas sebagai berikut, yaitu satu orang pengemudi mobil, satu operator peralatan pengambilan data, satu orang untuk pencatatan data, dan satu orang untuk dokumentasi. Pengujian dilakukan sebanyak 2 kali pada siang hari dan malam hari. Pengujian dilakukan terlebih dahulu untuk *convensional shock absorber* untuk mendapatkan data respon percepatan *body* kendaraan bagian kanan belakang. Selanjutnya pengujian RESA dilakukan secara berkala meliputi variasi jalan, kecepatan, dan hambatan. Pengujian RESA untuk mengetahui tegangan bangkitan generator pada setiap variasi pengujian.

Proses pengambilan data yang pertama dilakukan adalah *Speedbump* yang berada di Cluster Hilton Head perumahan Tirtasan Royal Resort, Malang. Kemudian kendaraan berjalan ke Cluster Seville untuk pengambilan data melalui *paving road*. Selanjutnya kendaraan berjalan ke Jalan Raya di Cluster Tirta Harmoni untuk pengambilan data *asphalt road*. Kemudian dilakukan pengambilan data speed trap berjalan di depan SMPN 1 Malang di Jalan Lawu, Kota Malang.

4.4 Analisis Pengambilan Data

Setelah dilakukan pengambilan data, maka data tersebut diolah dan dilakukan analisis. 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 dahulu agar mendapatkan data percepatan. Data olahan tersebut selanjutnya dilakukan proses

smoothing dan *filtering* menggunakan *software* MATLAB. Data yang didapatkan dari *oscilliscope* 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 MATHLAB akan didapatkan grafik data tegangan, daya bangkitan dan respon percepatan.

4.4.1 Analisis Tegangan Bangkitan dan Daya RESA

RESA yang dipasang pada Toyota Avanza dapat menghasilkan energi dari pemanfaatan gerakan translasi yang diubah olah *ball screw* menjadi rotasi guna memutar generator, selanjutnya generator menghasilkan energi listrik. 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)

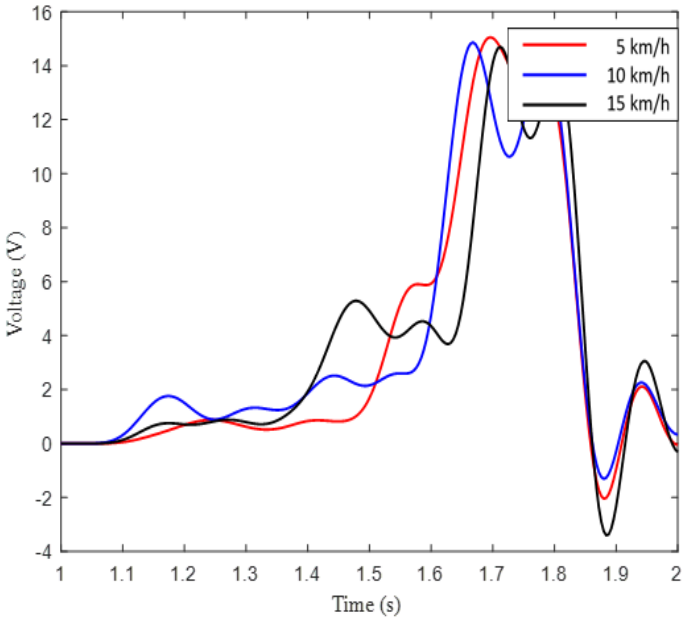
R: Hambatan (Ohm)

Hambatan yang digunakan dengan variasi 15 Ohm, 20 Ohm, dan 25 Ohm seperti yang telah tertera pada keterangan sebelumnya.

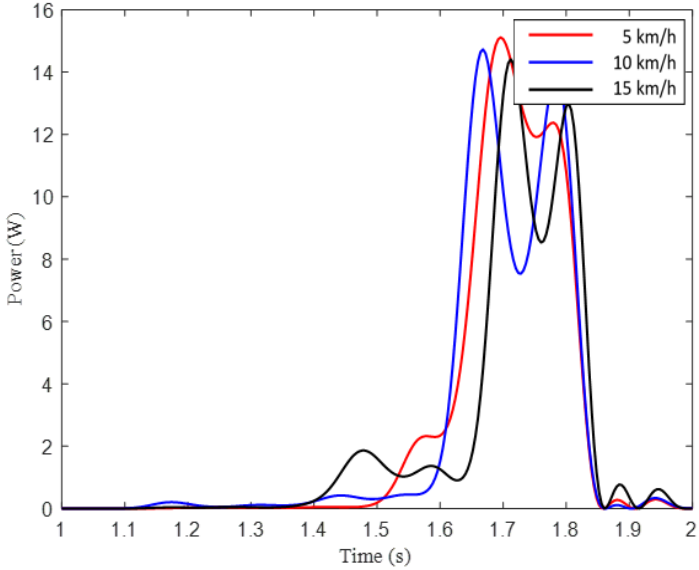
Tegangan bangkitan dan daya yang dihasilkan oleh generator dari berbagai tipe jalan dan variasi kecepatan disajikan dibawah.

i. Tegangan dan Daya Bangkitan RESA pada Toyota Avanza melewati *Speedbump*

Pengujian pertama dilakukan melewati *Speedbump* dengan 3 variasi kecepatan yaitu 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h. Sedangkan untuk variasi hambatan, terdapat 3 variasi yaitu 15 Ohm, 20 Ohm dan 25 Ohm. Untuk titik waktu 0 dimulai pada saat ban depan sebelum menghentak *Speedbump*. Rentang waktu roda menghentak *Speedbump* dari 1.2 detik hingga 1.8 detik. Berikut data tegangan bangkitan dan daya bangkitan melewati *Speedbump*.



(a)



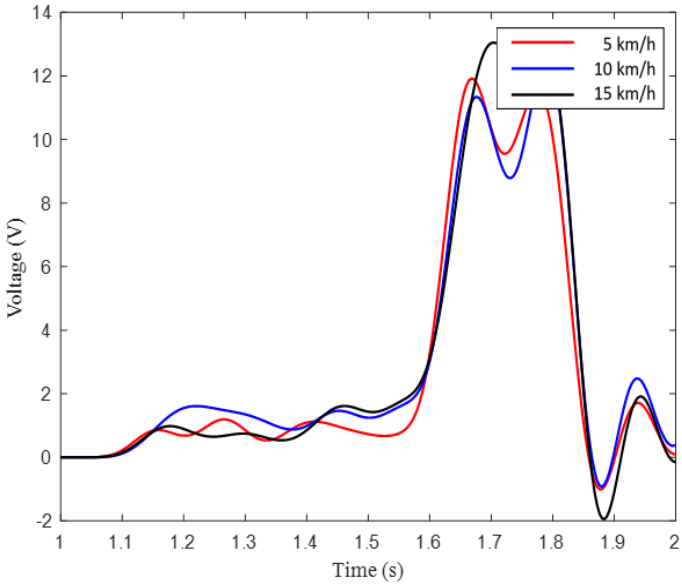
(b)

Gambar 4.16 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* Variasi Hambatan 15 Ohm Dengan Kecepatan 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h

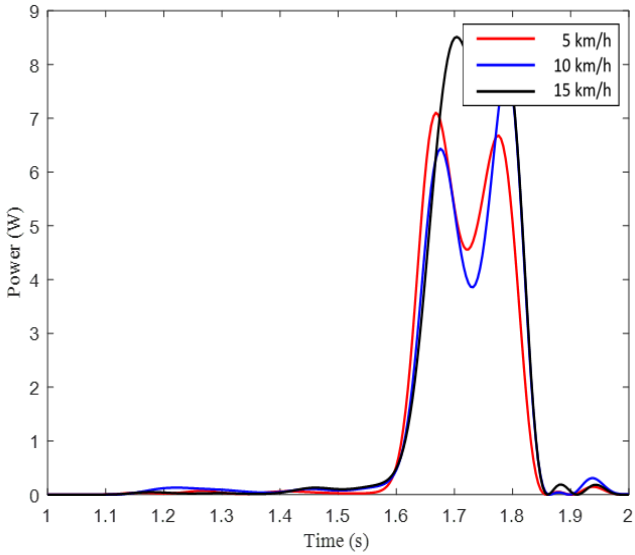
Pada Gambar 4.16 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan dengan variasi hambatan 15 Ohm pada kecepatan 5 km/h adalah sebesar 14.47 V dengan daya maksimum sebesar 8.37 W. Lonjakan yang tinggi menunjukan pada saat roda menghentak *Speedbump* sehingga membuat RESA terkompresi. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 14.68 V dengan daya maksimum sebesar 10.77 W. Pada grafik tersebut dapat dilihat adanya tegangan bangkitan yang relatif kecil rata-

rata 1.2 V sebelum melewati *Speedbump*, hal tersebut diakibatkan kontur *paving road* yang tidak rata. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/h adalah sebesar 18.33 V dengan daya maksimum sebesar 13.43 W.

Pada saat melewati *Speedbump* pada rentang waktu 1.2 hingga 1.8 detik, grafik tegangan dan daya bangkitan memiliki 2 puncak besar, hal tersebut diakibatkan karena tinggi *Speedbump* mencapai 10 cm, sehingga membuat *shaft* bertranslasi cukup besar, kemudian *ball screw* pada RESA berotasi cukup besar dan dapat menghasilkan daya cukup besar. Kemudian setelah melewati *Speedbump*, tegangan dan daya turun drastis. Sesaat setelah puncak pertama, terdapat penurunan daya dan tegangan bangkitan, hal itu disebabkan oleh selang waktu sebelum roda belakang menghentak *Speedbump*. Terapat juga puncak grafik kedua, yang terjadi setelah puncak grafik utama. Hal tersebut diakibatkan adanya sesaat ketika roda mobil belakang berpindah dari puncak *Speedbump* menuju *paving road*, sehingga menyebabkan RESA terkompresi. Dapat disimpulkan bahwa saat melewati *Speedbump*, RESA dapat menghasilkan energi cukup besar namun hanya dalam waktu yang singkat.


5 km/h
10 km/h
15 km/h
Voltage (V)
Time (s)
14
12
10
8
6
4
2
0
-2
1
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
1.7
1.8
1.9
2

(a)



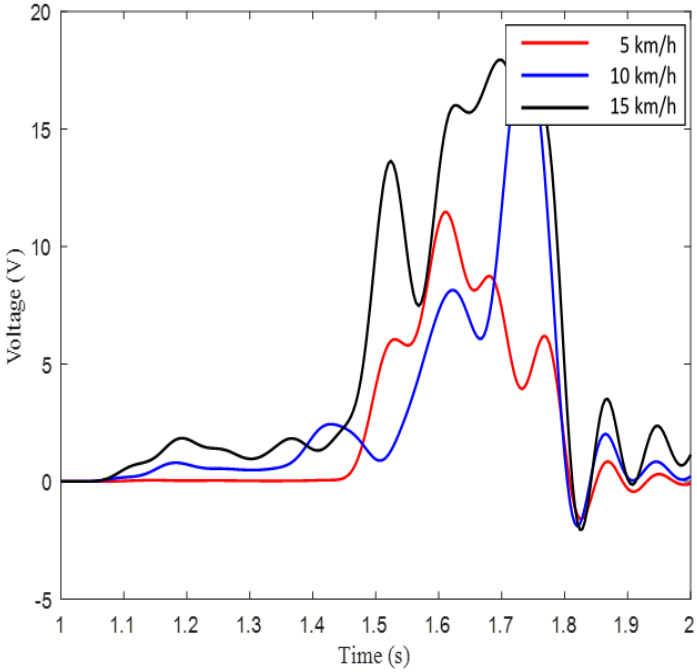
(b)

Gambar 4.17 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* Variasi Hambatan 20 Ohm Dengan Kecepatan 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h

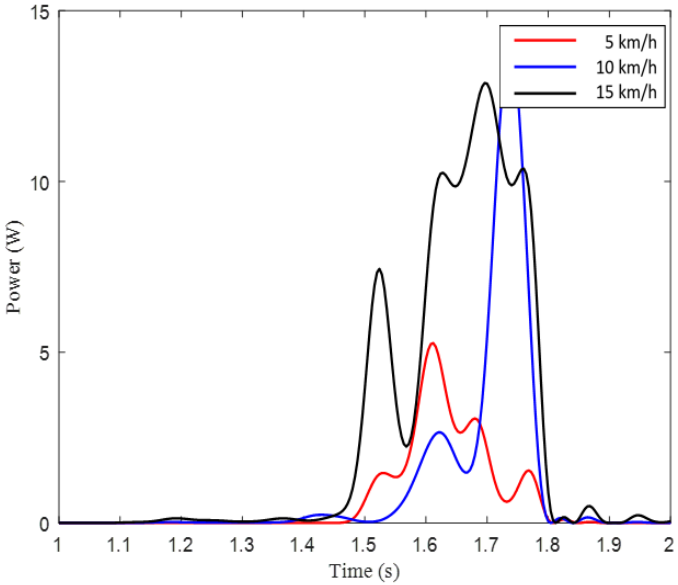
Pada Gambar 4.17 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan dengan variasi hambatan 20 Ohm pada kecepatan 5 km/h adalah sebesar 13.00 V dengan daya maksimum sebesar 8.63 W. Lonjakan yang tinggi menunjukan pada saat roda menghentak *Speedbump* sehingga membuat RESA terkompresi. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 13.14 V dengan daya maksimum sebesar 11.26 W. Pada grafik tersebut dapat dilihat adanya tegangan bangkitan yang relative sangat kecil, hal tersebut diakibatkan kontur *paving road* yang tidak

rata. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/h adalah sebesar 14.30 V dengan daya maksimum sebesar 13.63 W.

Pada saat melewati *Speedbump* pada rentang waktu 1.2 hingga 1.8 detik, grafik tegangan dan daya bangkitan memiliki 2 puncak besar, hal tersebut diakibatkan karena tinggi *Speedbump* mencapai 10 cm, sehingga membuat *shaft* bertranslasi cukup besar, kemudian *ball screw* pada RESA berotasi cukup besar dan dapat menghasilkan daya cukup besar. Kemudian setelah melewati *Speedbump*, tegangan dan daya turun drastis. Sesaat setelah puncak pertama, terdapat penurunan daya dan tegangan bangkitan, hal itu disebabkan oleh selang waktu sebelum roda belakang menghentak *Speedbump*. Terapat juga puncak grafik kedua, yang terjadi setelah puncak grafik utama. Hal tersebut diakibatkan adanya sesaat ketika roda mobil belakang berpindah dari puncak *Speedbump* menuju *paving road*, sehingga menyebabkan RESA terkompresi. Dapat disimpulkan bahwa saat melewati *Speedbump*, RESA dapat menghasilkan energi cukup besar namun hanya dalam waktu yang singkat.


5 km/h
10 km/h
15 km/h
Voltage (V)
Time (s)
20
15
10
5
0
-5
1
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
1.7
1.8
1.9
2

(a)



(b)

Gambar 4.18 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* Variasi Hambatan 25 Ohm Dengan Kecepatan 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h

Pada Gambar 4.18 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan dengan variasi hambatan 25 Ohm pada kecepatan 5 km/h adalah sebesar 11.43 V dengan daya maksimum sebesar 8.76 W. Lonjakan yang tinggi menunjukan pada saat roda menghentak *Speedbump* sehingga membuat RESA terkompresi. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 18.56 V dengan daya maksimum sebesar 13.77 W. Pada grafik tersebut dapat dilihat adanya tegangan bangkitan yang relative sangat

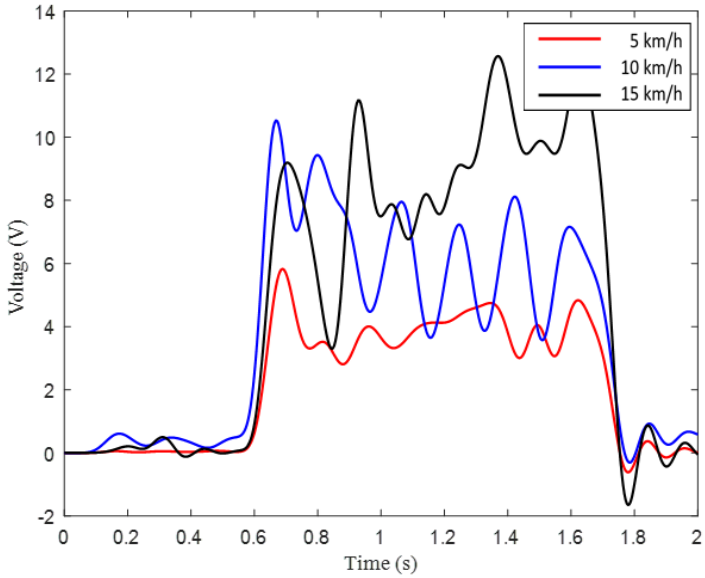
kecil sebelum melewati *Speedbump*, hal tersebut diakibatkan kontur *paving road* yang tidak rata. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/h adalah sebesar 16.91 V dengan daya maksimum sebesar 11.43 W.

Pada saat melewati *Speedbump* pada rentang waktu 1.2 hingga 1.8 detik, grafik tegangan dan daya bangkitan memiliki 2 puncak besar, hal tersebut diakibatkan karena tinggi *Speedbump* mencapai 10 cm, sehingga membuat *shaft* bertranslasi cukup besar, kemudian *ball screw* pada RESA berotasi cukup besar dan dapat menghasilkan daya cukup besar. Kemudian setelah melewati *Speedbump*, tegangan dan daya turun drastis. Sesaat setelah puncak pertama, terdapat penurunan daya dan tegangan bangkitan, hal itu disebabkan oleh selang waktu sebelum roda belakang menghentak *Speedbump*. Terapat juga puncak grafik kedua, yang terjadi setelah puncak grafik utama.

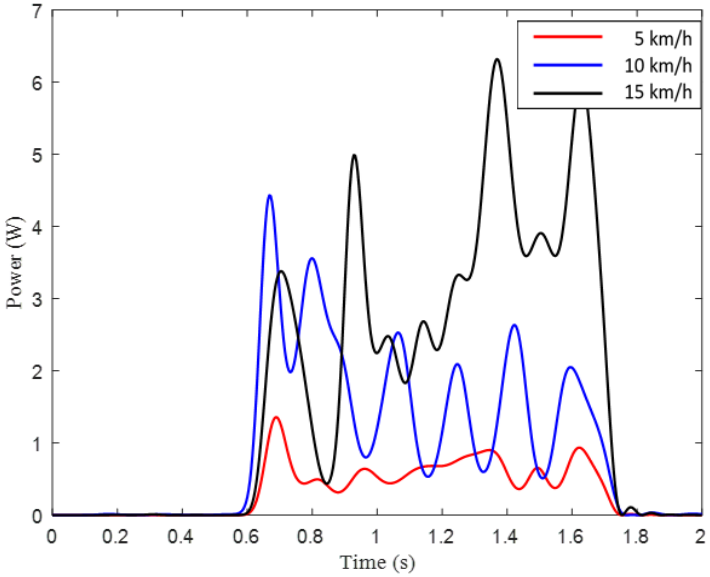
Dari ketiga variasi hambatan, didapatkan tegangan bangkitan maksimum pada *Speedbump* dengan hambatan 25 Ohm, kecepatan 15 Km/h sebesar 18.56 V, dengan daya bangkitan maksimum sebesar 13.78 W. Hal tersebut diakibatkan adanya sesaat ketika roda mobil belakang berpindah dari puncak *Speedbump* menuju *paving road*, sehingga menyebabkan RESA terkompresi. Dapat disimpulkan bahwa saat melewati *Speedbump*, RESA dapat menghasilkan energi cukup besar namun hanya dalam waktu yang singkat.

ii. Tegangan dan Daya Bangkitan RESA pada Toyota Avanza melewati *Speedtrap*

Pengujian kedua dilakukan melewati *Speedtrap* dengan 3 variasi kecepatan yaitu 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h. Sedangkan untuk variasi hambatan, terdapat 3 variasi yaitu 15 Ohm, 20 Ohm dan 25 Ohm. Untuk titik waktu 0 dimulai pada saat roda depan sebelum menghentak *Speedtrap*. Berikut data tegangan bangkitan melewati *Speedtrap*.



(a)



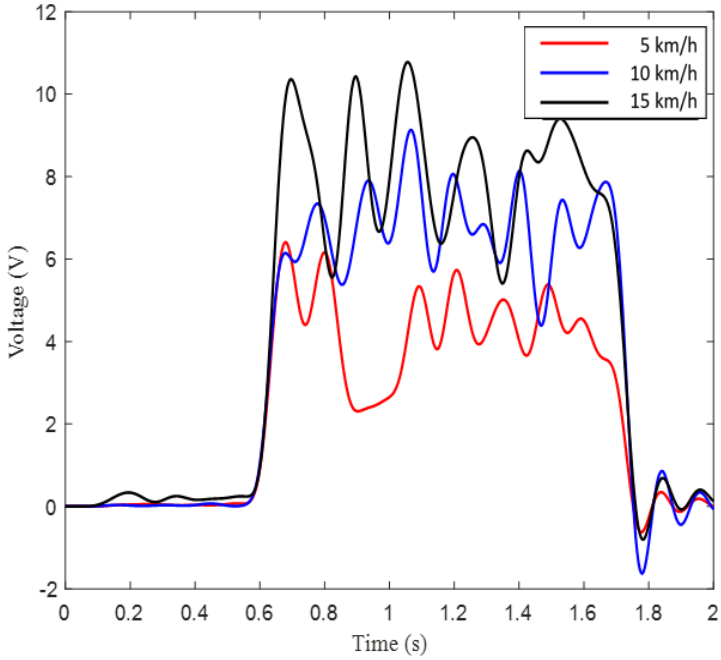
(b)

Gambar 4.19 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedtrap* Variasi Hambatan 15 Ohm Dengan Kecepatan 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h

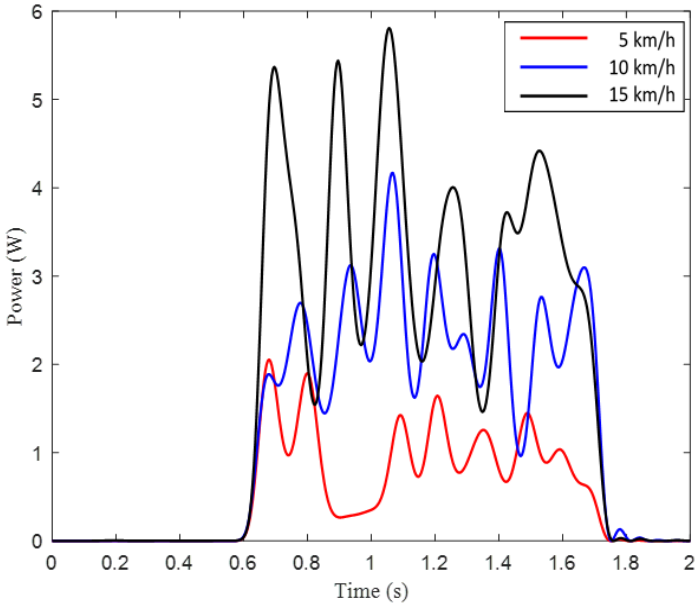
Pada Gambar 4.19 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan variasi hambatan 15 Ohm pada kecepatan 5 km/h adalah sebesar 5.83 V dengan daya maksimum sebesar 1.36 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 9.953 V dengan daya maksimum sebesar 3.96 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/h adalah sebesar 12.54 V dengan daya maksimum sebesar 6.29 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. Adanya puncak menandakan sesaat ketika roda melewati 1 *Speedtrap*, kemudian terjadi penerunan adalah rentang waktu ketika roda belakang melewati *Speedtrap* selanjutnya. Hal tersebut dikarenakan pada 1 *Speedtrap* terdapat 4 buah *bump*, sehingga menghasilkan tegangan dan daya yang relatif konstan dalam waktu tertentu. Namun, titik puncaknya tidak dapat setinggi pada saat melewati *Speedbump* karena ketinggian tiap *bump* pada *Speedtrap* hanya berkisar 1.0 cm. Sebelum melewati *spedtrap*, dapat dilihat pada grafik hampir tidak ada tegangan maupun daya bangkitannya. Hal tersebut dikarenakan sebelum melewati *Speedbump*, kedaraan melewati *asphalt road* yang halus sehingga daya bangkitan yang dihasilkan sangat kecil kecil.

Dapat disimpulkan pada saat melewati *Speedtrap*, 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 4.19, 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.


5 km/h
10 km/h
15 km/h
Voltage (V)
Time (s)
12
10
8
6
4
2
0
-2
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2

(a)



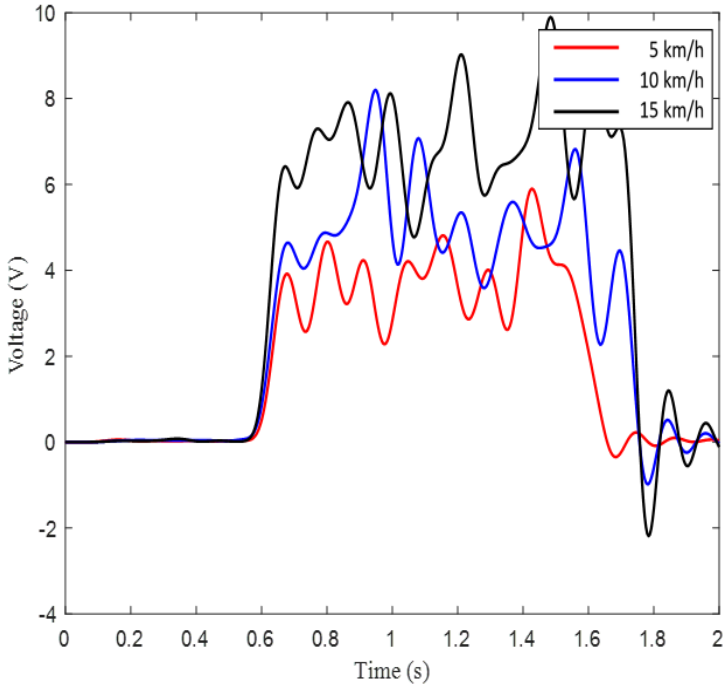
(b)

Gambar 4.20 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedtrap* Variasi Hambatan 20 Ohm Dengan Kecepatan 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h

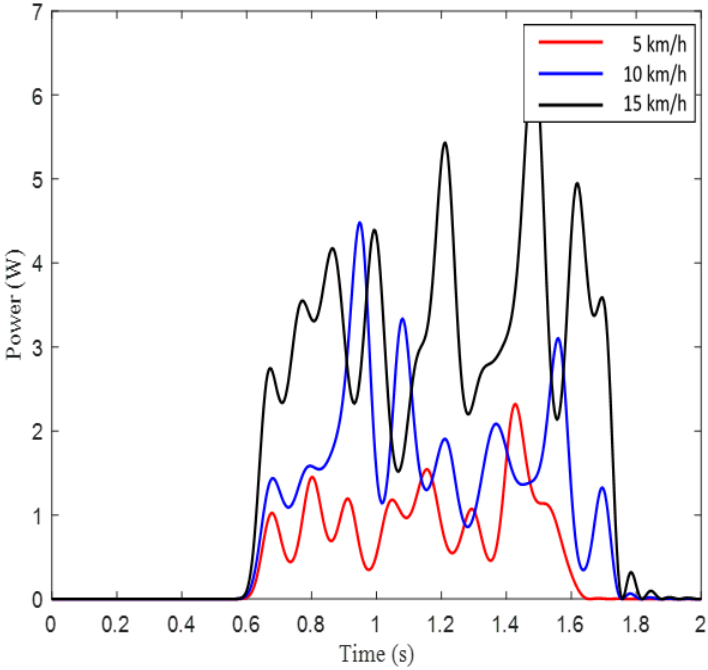
Pada Gambar 4.20 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan variasi hambatan 15 Ohm pada kecepatan 5 km/h adalah sebesar 6.39 V dengan daya maksimum sebesar 2.04 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 9.13 V dengan daya maksimum sebesar 4.16 W. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/h adalah sebesar 11.29 V dengan daya maksimum sebesar 6.37 Watt.

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. Adanya puncak menandakan sesaat ketika roda melewati 1 *Speedtrap*, kemudian terjadi penerunan adalah rentang waktu ketika roda belakang melewati *Speedtrap* selanjutnya. Hal tersebut dikarenakan pada 1 *Speedtrap* terdapat 4 buah *bump*, sehingga menghasilkan tegangan dan daya yang relatif 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 *spedtrap*, dapat dilihat pada grafik hampir tidak ada tegangan maupun daya bangkitannya. Hal tersebut dikarenakan sebelum melewati *Speedbump*, kedaraan melewati *asphalt road* yang halus sehingga daya bangkitan yang dihasilkan sangat kecil kecil.

Dapat disimpulkan pada saat melewati *Speedtrap*, 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 4.20, 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.


5 km/h
10 km/h
15 km/h
Voltage (V)
Time (s)
10
8
6
4
2
0
-2
-4
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2

(a)



(b)

Gambar 4.21 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Speedtrap* Variasi Hambatan 25 Ohm Dengan Kecepatan 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h

Pada Gambar 4.21 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan variasi hambatan 25 Ohm pada kecepatan 5 km/h adalah sebesar 5.65 V dengan daya maksimum sebesar 2.13 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 8.18 V dengan daya maksimum sebesar 4.46 W. Selanjutnya

tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/h adalah sebesar 9.85 V dengan daya maksimum sebesar 6.47 W.

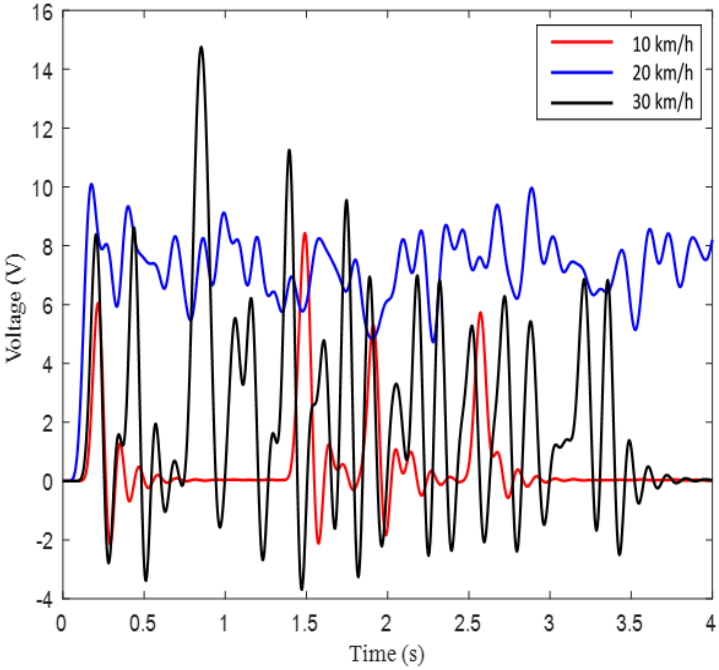
Dari kedua gambar, dapat dilihat pada saat melewati *Speedtrap* grafik yang didapat menghasilkan beberapa puncak dengan ketinggian yang hampir sama dan berulang, atau dapat dikatakan menghasilkan tegangan dan daya bangkitan yang relatif konstan pada waktu yang cukup lama, berbeda dengan saat melewati *Speedbump* yang hanya menghasilkan 1 puncak besar. Adanya puncak menandakan sesaat ketika roda melewati 1 *Speedtrap*, kemudian terjadi penerunan adalah rentang waktu ketika roda belakang melewati *Speedtrap* selanjutnya. Hal tersebut dikarenakan pada 1 *Speedtrap* terdapat 4 buah *bump*, sehingga menghasilkan tegangan dan daya yang relatif 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 *spedtrap*, dapat dilihat pada grafik hampir tidak ada tegangan maupun daya bangkitannya. Hal tersebut dikarenakan sebelum melewati *Speedbump*, kedaraan melewati *asphalt road* yang halus sehingga daya bangkitan yang dihasilkan sangat kecil kecil.

Dapat disimpulkan pada saat melewati *Speedtrap*, RESA dapat menghasilkan energi cukup konstan dengan rentang waktu yang cukup lama dibandingkan pada saat melewati *Speedbump*, walaupun besarnya tidak sebesar pada saat melewati *Speedbump*. Dari ketiga variasi hambatan, didapatkan tegangan bangkitan maksimum pada *Speedtrap* dengan hambatan 15 Ohm, kecepatan 15 Km/h sebesar 12.54 V, dengan daya bangkitan maksimum sebesar 6.29 W. Dari Gambar 4.21, dapat dilihat semakin tinggi kecepatan maka tegangan dan daya yang dibangkitkan juga semakin besar. Hal

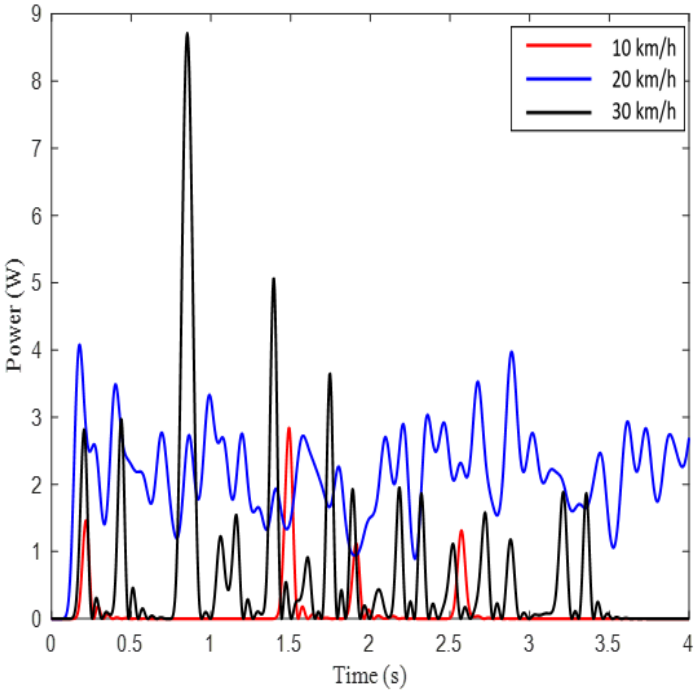
ini sama halnya pada saat melewati *Speedbump*, semakin besar kecepatan maka frekwensi semakin tinggi, yang menyebabkan putaran generator meningkat, kemudian tegangan dan daya bangkitan juga semakin meningkat

iii. Tegangan dan Daya Bangkitan RESA pada Toyota Avanza melewati *Paving road*

Pengujian ketiga dilakukan melewati *paving road* dengan 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h. Sedangkan untuk variasi hambatan, terdapat 3 variasi yaitu 15 Ohm, 20 Ohm dan 25 Ohm. Berikut data tegangan bangkitan melewati *paving road*.



(a)



(b)

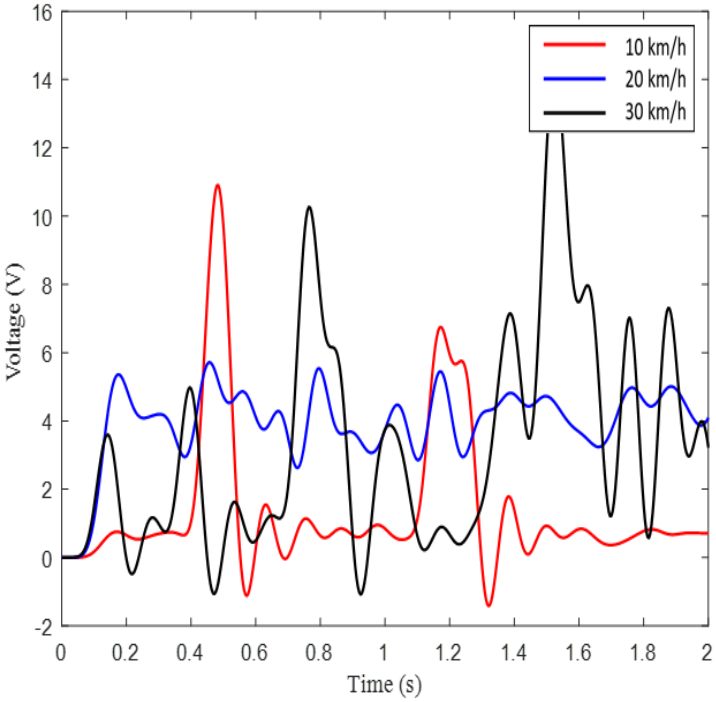
Gambar 4.22 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Paving road* Variasi Hambatan 15 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h

Pada Gambar 4.22 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan variasi hambatan 15 Ohm pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 6.08 V dengan daya maksimum sebesar 1.48 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/h adalah sebesar 10.04 V dengan daya maksimum sebesar 4.03 W. Selanjutnya,

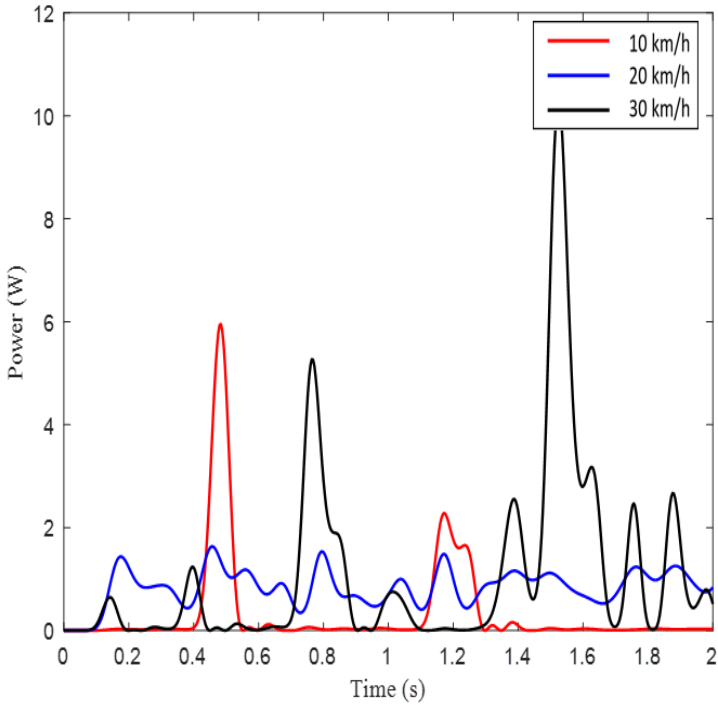
tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 30 km/h adalah sebesar 13.49 V dengan daya maksimum sebesar 7.27 W.

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. Hal tersebut dikarenakan kontur *paving road* 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 *paving road*, energi yang dihasilkan sangat bergantung pada kondisi jalan tersebut. Dapat dilihat data dari variasi kecepatan 30 Km/h memiliki lonjakan yang cukup tinggi daripada kecepatan 10 km/h dan 20 km/h.

Pada Gambar 4.22 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 *paving road* yang tidak menentu.


10 km/h
20 km/h
30 km/h
Voltage (V)
Time (s)
16
14
12
10
8
6
4
2
0
-2
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2

(a)



(b)

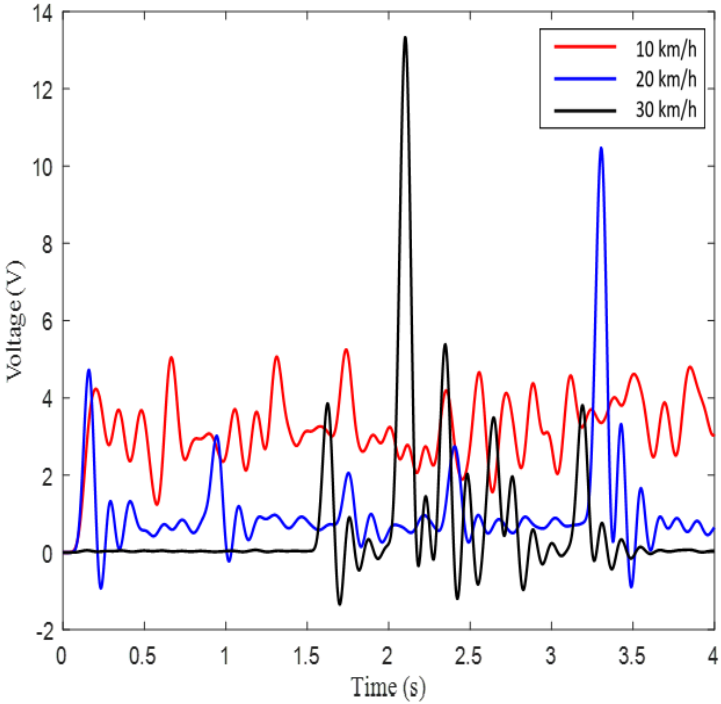
Gambar 4.23 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Paving road* Variasi Hambatan 20 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h

Pada Gambar 4.23 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan variasi hambatan 20 Ohm pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 9.00 V dengan daya maksimum sebesar 4.05 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/h adalah sebesar 5.46 V dengan daya maksimum sebesar 1.49 W. Selanjutnya,

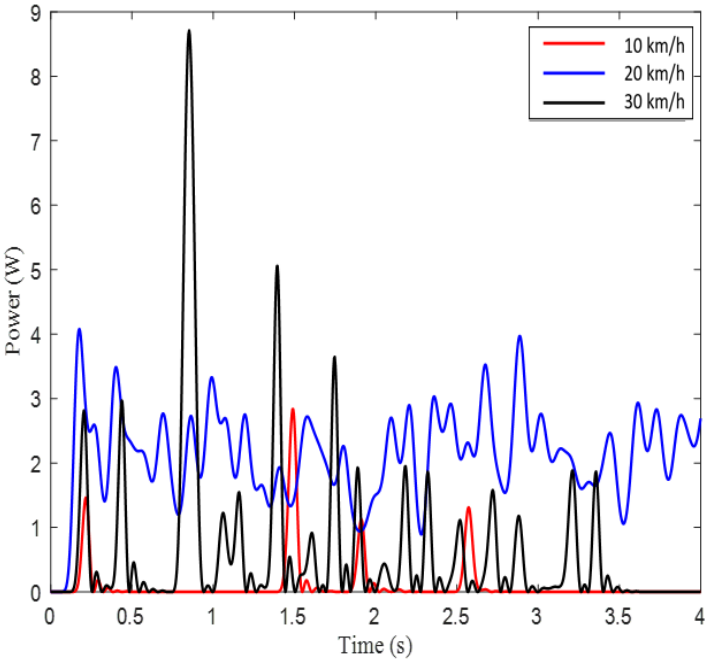
tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 30 km/h adalah sebesar 12.44 V dengan daya maksimum sebesar 7.73 W.

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. Hal tersebut dikarenakan kontur *paving road* 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 *paving road*, energi yang dihasilkan sangat bergantung pada kondisi jalan tersebut. Dapat dilihat data dari variasi kecepatan 30 Km/h memiliki lonjakan yang cukup tinggi daripada kecepatan 10 km/h dan 20 km/h. Dari data diatas dapat disimpulkan pada *paving road*, energi yang dihasilkan sangat bergantung pada kondisi jalan tersebut.

Pada Gambar 4.23 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 frekwensi semakin tinggi. Namun ada juga pada beberapa titik yang tegangan atau daya nya lebih kecil padahal kecepatannya lebih besar, hal tersebut dikarenakan kontur *paving road* yang tidak menentu.


10 km/h
20 km/h
30 km/h
Voltage (V)
Time (s)
14
12
10
8
6
4
2
0
-2
0
0.5
1
1.5
2
2.5
3
3.5
4

(a)



(b)

Gambar 4.24 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Paving road* Variasi Hambatan 25 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h

Pada Gambar 4.24 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan variasi hambatan 25 Ohm pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 8.23 V dengan daya maksimum sebesar 4.515 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/h adalah sebesar 10.98 V dengan daya maksimum sebesar 8.03 W. Selanjutnya, tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 30 km/h adalah sebesar 4.88 V dengan daya maksimum sebesar 1.58 W.

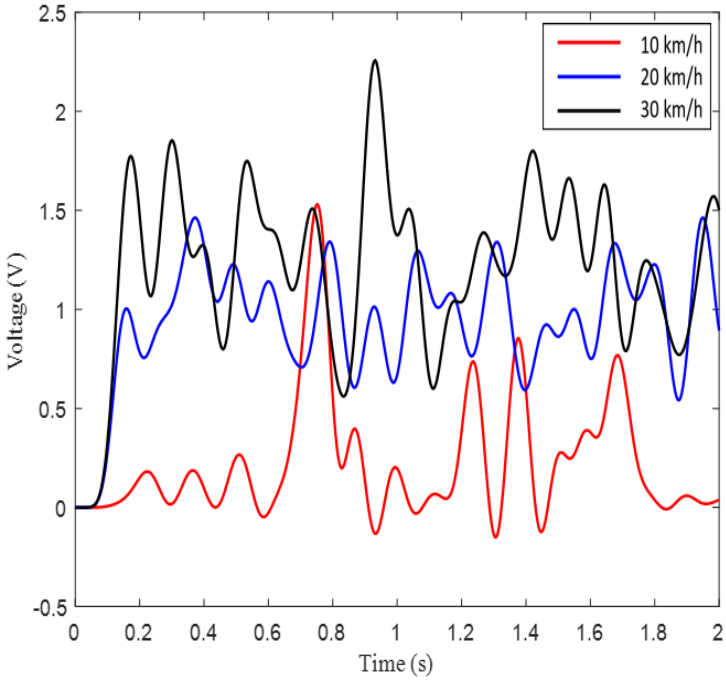
Dari kedua gambar diatas, dapat dilihat bahwa grafik tersebut tidak berpola, tidak seperti saat melalui *Speedbump* maupun *Speedtrap*. Pada setiap variasi kecepatan menghasilkan pola grafik yang berbeda-beda. Hal tersebut dikarenakan kontur *paving road* yang tidak menentu seperti adanya lubang, pemasangan 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 *paving road*, energi yang dihasilkan sangat bergantung pada kondisi jalan tersebut. Dapat dilihat data dari variasi kecepatan 30 Km/h memiliki lonjakan yang cukup tinggi daripada kecepatan 10 km/h dan 20 km/h. Dari data diatas dapat disimpulkan pada *paving road*, 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.

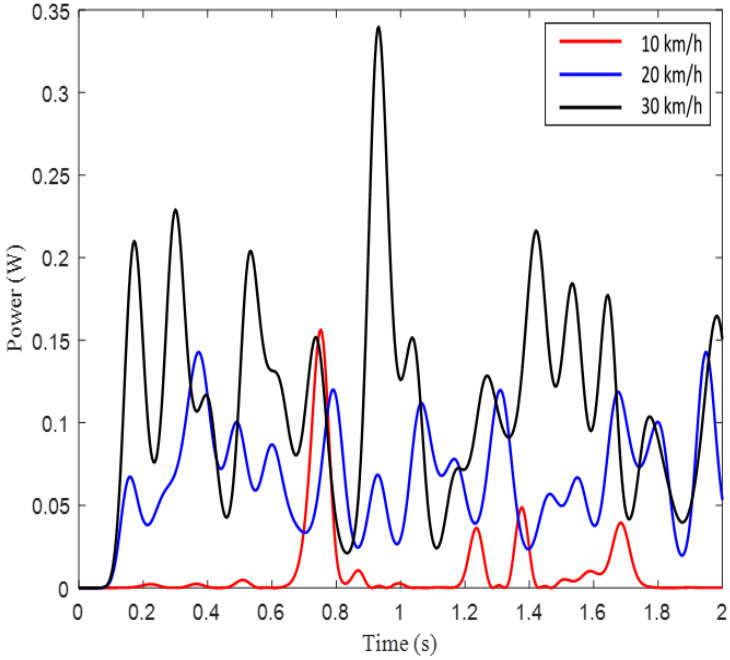
Dari ketiga variasi hambatan, didapatkan tegangan bangkitan maksimum pada *paving road* dengan hambatan 15 Ohm, kecepatan 30 Km/h sebesar 13.49 V, dengan daya bangkitan maksimum sebesar 7.28 W. Hal tersebut sama halnya pada saat melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, semakin tinggi kecepatan maka frekwensi semakin tinggi. Namun ada juga pada beberapa titik yang tegangan atau daya nya lebih kecil padahal kecepatannya lebih besar, hal tersebut dikarenakan kontur *paving road* yang tidak menentu.

iv. Tegangan dan Daya Bangkitan RESA pada Toyota Avanza melewati *Asphalt road*

Pengujian keempat dilakukan melewati *asphalt road* dengan 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h. Sedangkan untuk variasi hambatan, terdapat 3 variasi yaitu 15 Ohm, 20 Ohm dan 25 Ohm. Berikut data tegangan bangkitan melewati *asphalt road*.



(a)



(b)

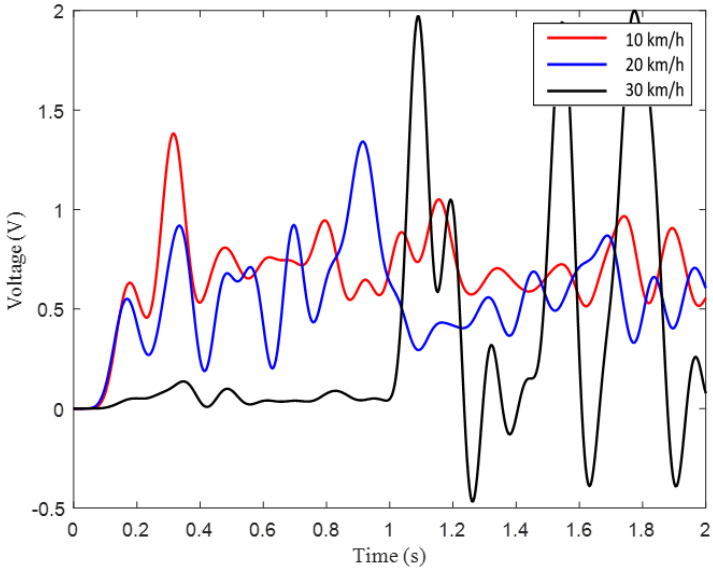
Gambar 4.25 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Asphalt road* Variasi Hambatan 15 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h

Pada Gambar 4.25 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan variasi hambatan 15 Ohm pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 1.53 V dengan daya maksimum sebesar 0.093 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/h adalah sebesar 1.46 V dengan daya maksimum sebesar 0.085 W. Selnjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 30 km/h

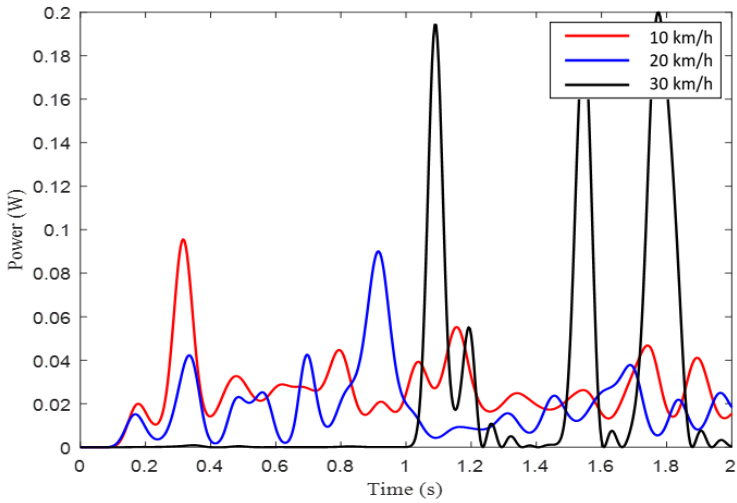
adalah sebesar 2.25 V dengan daya maksimum sebesar 0.203 W.

Dari kedua gambar tersebut, dapat dilihat bahwa tegangan dan daya yang dihasilkan tidak berpola, sama halnya pada saat melewati *paving road*. Hanya saja nilainya sangat kecil, hal tersebut dikarenakan kontur *asphalt road* yang cukup halus sehingga sedikit sekali getaran yang terjadi pada kendaraan. Saat melewati *asphalt road* 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 *paving road*, hanya saja energi bangkitannya jauh lebih kecil.

Pada Gambar 4.25, 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 *asphalt road* yang digunakan ketika pengujian.


10 km/h
20 km/h
30 km/h
Voltage (V)
Time (s)
2
1.5
1
0.5
0
-0.5
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2

(a)


10 km/h
20 km/h
30 km/h
Power (W)
Time (s)
0.2
0.18
0.16
0.14
0.12
0.1
0.08
0.06
0.04
0.02
0
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2

(b)

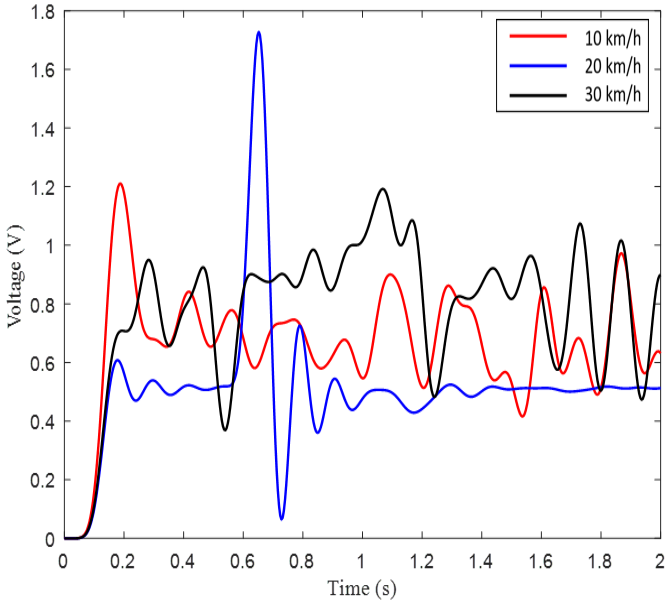
Gambar 4.26 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Asphalt road* Variasi Hambatan 20 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h

Pada Gambar 4.26 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan variasi hambatan 20 Ohm pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 1.34 V dengan daya maksimum sebesar 0.095 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/h adalah sebesar 1.38 V dengan daya maksimum sebesar 0.095 W. Selnjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 30 km/h adalah sebesar 2.00 V dengan daya maksimum sebesar 0.20 W.

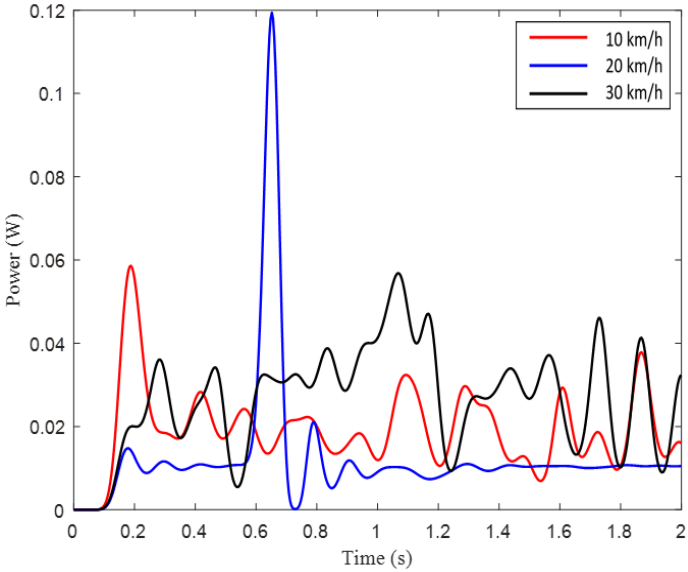
Dari kedua gambar tersebut, dapat dilihat bahwa tegangan dan daya yang dihasilkan tidak berpola, sama halnya pada saat melewati *paving road*. Hanya saja nilainya sangat kecil, hal tersebut dikarenakan kontur *asphalt road* yang cukup halus sehingga sedikit sekali getaran yang terjadi pada kendaraan. Saat melewati *asphalt road* 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 *paving road*, hanya saja energi bangkitannya jauh lebih kecil.

Pada Gambar 4.26, 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 *asphalt road* yang digunakan ketika pengujian.



(a)



(b)

Gambar 4.27 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan Melalui *Asphalt road* Variasi Hambatan 25 Ohm Dengan Kecepatan 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h

Pada Gambar 4.27 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan variasi hambatan 25 Ohm pada kecepatan 10 km/h adalah sebesar 1.20 V dengan daya maksimum sebesar 0.094 W. Kemudian tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/h adalah sebesar 1.21 V dengan daya maksimum sebesar 0.097 W. Selnjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 30 km/h adalah sebesar 1.74 V dengan daya maksimum sebesar 0.201 W.

Dari kedua gambar tersebut, dapat dilihat bahwa tegangan dan daya yang dihasilkan tidak berpola, sama halnya pada saat melewati *paving road*. Hanya saja nilainya sangat kecil, hal tersebut dikarenakan kontur *asphalt road* yang cukup halus sehingga sedikit sekali getaran yang terjadi pada kendaraan. Saat melewati *asphalt road* 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 *paving road*, hanya saja energi bangkitannya jauh lebih kecil. Pada Gambar 4.27, dapat dilihat bahwa semakin besar kecepatan, tegangan dan daya bangkitan yang dihasilkan semakin tinggi.

Dari ketiga variasi hambatan, didapatkan tegangan bangkitan maksimum pada *asphalt road* dengan hambatan 15 Ohm, kecepatan 30 Km/h sebesar 2.253 V, dengan daya bangkitan maksimum sebesar 0.203 W. Hal tersebut diakibatkan karena naiknya frekwensi 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 *asphalt road* yang digunakan ketika pengujian.

Dari keempat pengambilan data dengan variasi hambatan 15 Ohm, 20 Ohm, dan 25 Ohm didapatkan tegangan bangkitan maksimum sebesar 18.56 V dan daya bangkitan sebesar 13.78 W. Tegangan dan bangkitan maksimum, didapatkan pada *Speedbump* dengan hambatan 25 Ohm, kecepatan 15 Km/h. Kemudian 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 hingga Tabel 4.6. Diagram batang dari RMS tegangan dan RMS daya bangkitan disajikan pada gambar 4.28 untuk hambatan 15 Ohm, 4.29 untuk hambatan 20 Ohm, dan 4.30 untuk hambatan 25 Ohm.

Tabel 4.1 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* dan *Speedtrap* Variasi Hambatan 15 Ohm

	Variasi Jalan			
Variasi Kecepatan	*Speedbump*		*Speedtrap*	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
5 km/h	5.29	1.12	3.52	0.50
10 km/h	5.33	1.13	5.24	1.10
15 km/h	5.51	1.21	7.51	2.26

Tabel 4.2 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* dan *Speedtrap* Variasi Hambatan 20 Ohm

	Variasi Jalan			
Variasi Kecepatan	*Speedbump*		*Speedtrap*	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
5 km/h	3.94	0.77	3.74	0.70
10 km/h	4.44	0.98	6.14	1.89
15 km/h	4.45	0.99	7.26	2.64

Tabel 4.3 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui *Speedbump* dan *Speedtrap* Variasi Hambatan 25 Ohm

	Variasi Jalan			
Variasi Kecepatan	*Speedbump*		*Speedtrap*	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
5 km/h	3.72	0.922	3.11	0.64
10 km/h	5.30	1.86	4.60	1.41
15 km/h	6.85	3.12	6.36	2.68

Tabel 4.4 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui *Paving road* dan *Asphalt road* Variasi Hambatan 15 Ohm

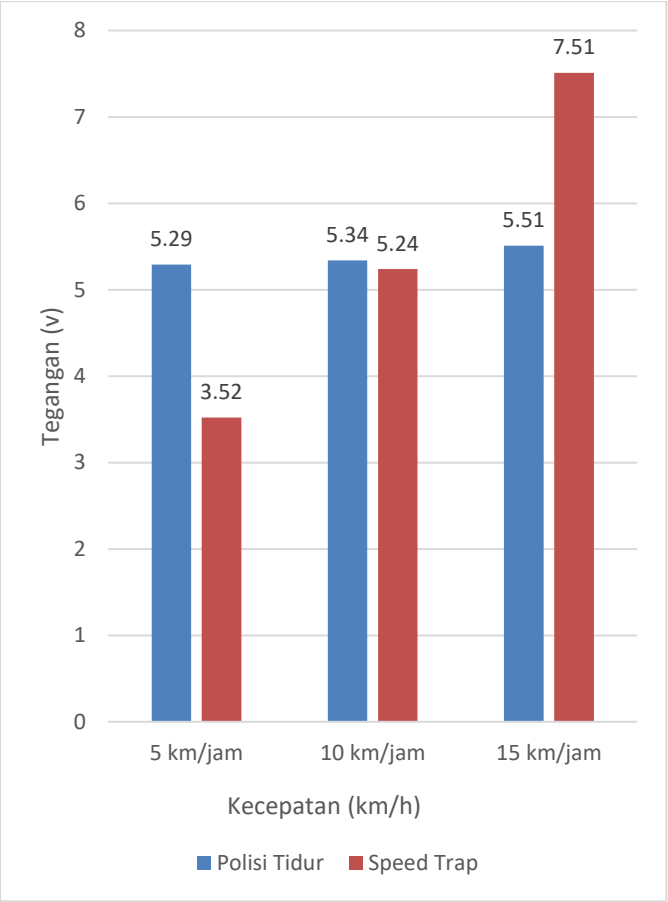
	Variasi Jalan			
Variasi Kecepatan	*Paving road*		*Asphalt Road*	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
10 km/h	2.75	0.30	0.79	0.040
20 km/h	5.40	2.82	1.26	0.060
30 km/h	6.00	3.36	1.61	0.105

Tabel 4.5 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui *Paving road* dan *Asphalt road* Variasi Hambatan 20 Ohm

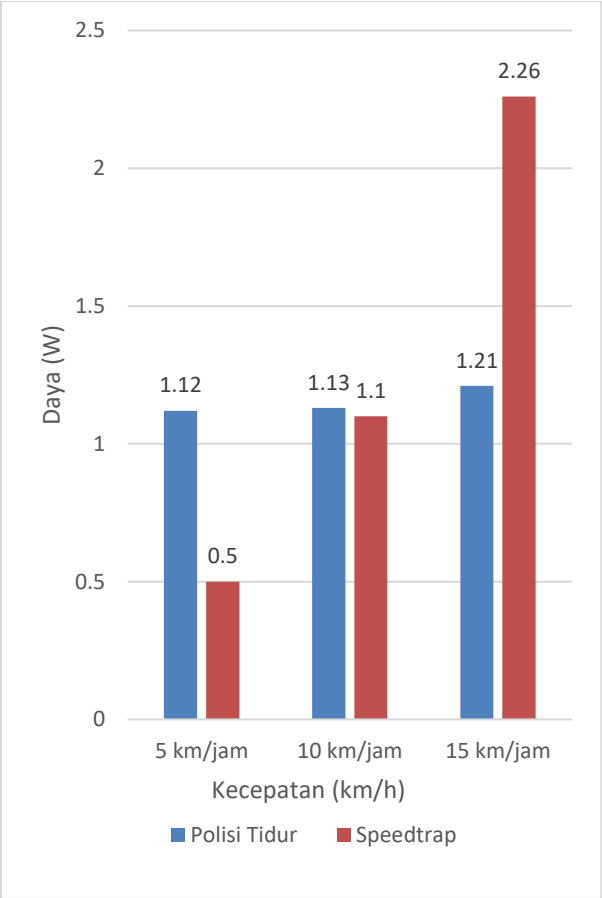
	Variasi Jalan			
Variasi Kecepatan	*Paving road*		*Asphalt Road*	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
10 km/h	3.24	0.52	0.91	0.040
20 km/h	5.34	1.42	1.00	0.050
30 km/h	10.33	5.34	1.25	0.080

Tabel 4.6 RMS Tegangan dan Daya Bangkitan Melalui *Paving road* dan *Asphalt road* Variasi Hambatan 25 Ohm

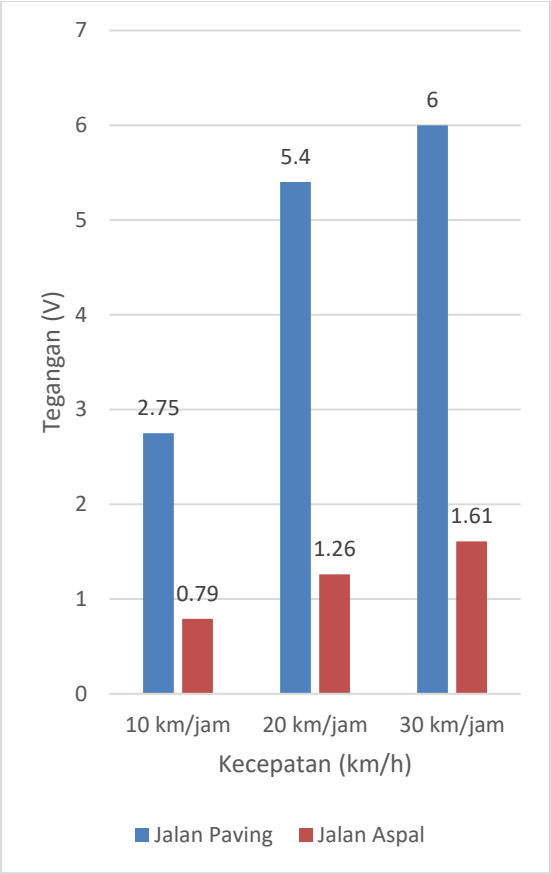
	Variasi Jalan			
Variasi Kecepatan	*Paving road*		*Asphalt Road*	
	Tegangan (V)	Daya (W)	Tegangan (V)	Daya (W)
10 km/h	2.90	0.56	0.778	0.038
20 km/h	3.12	0.65	0.810	0.045
30 km/h	4.18	1.17	1.074	0.077


8
7
6
5
4
3
2
1
0
Tegangan (v)
5.29
3.52
5.34
5.24
5.51
7.51
5 km/jam
10 km/jam
15 km/jam
Kecepatan (km/h)
Polisi Tidur
Speed Trap

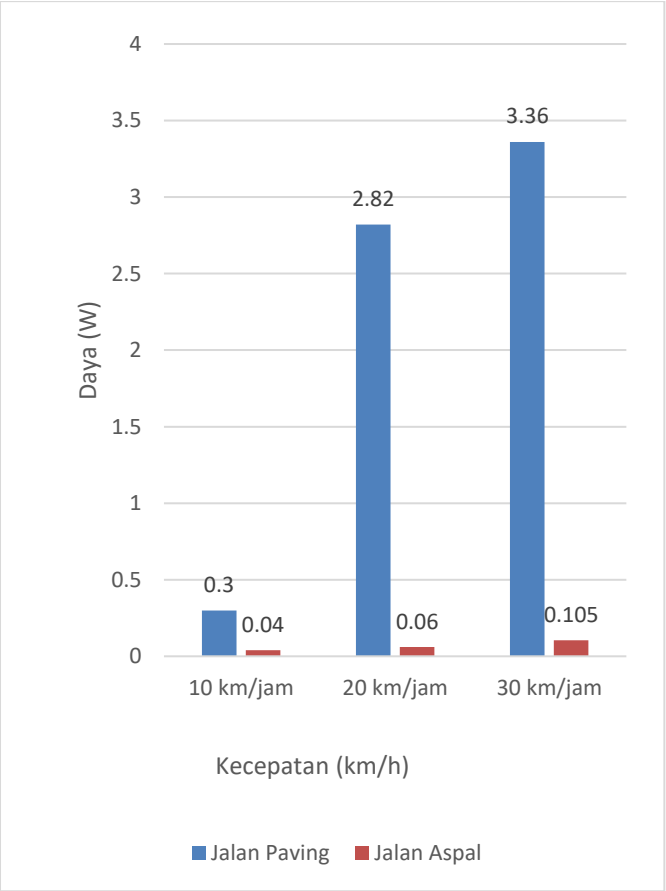
(a)


2.5
2
1.5
1
0.5
0
Daya (W)
1.12
0.5
1.13
1.1
1.21
2.26
5 km/jam
10 km/jam
15 km/jam
Kecepatan (km/h)
Polisi Tidur
Speedtrap

(b)

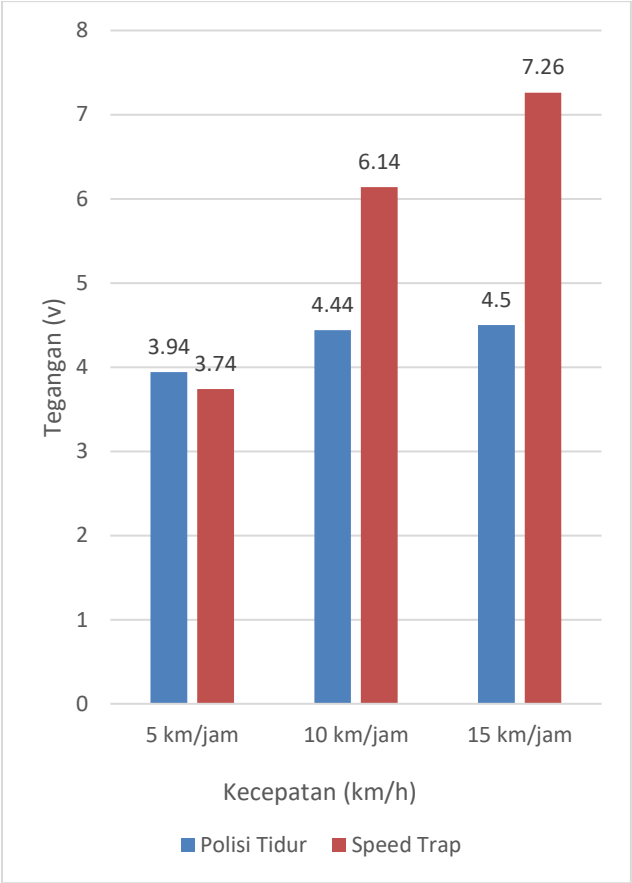

7
6
5
4
3
2
1
0
Tegangan (V)
2.75
0.79
5.4
1.26
6
1.61
10 km/jam
20 km/jam
30 km/jam
Kecepatan (km/h)
Jalan Paving
Jalan Aspal

(c)

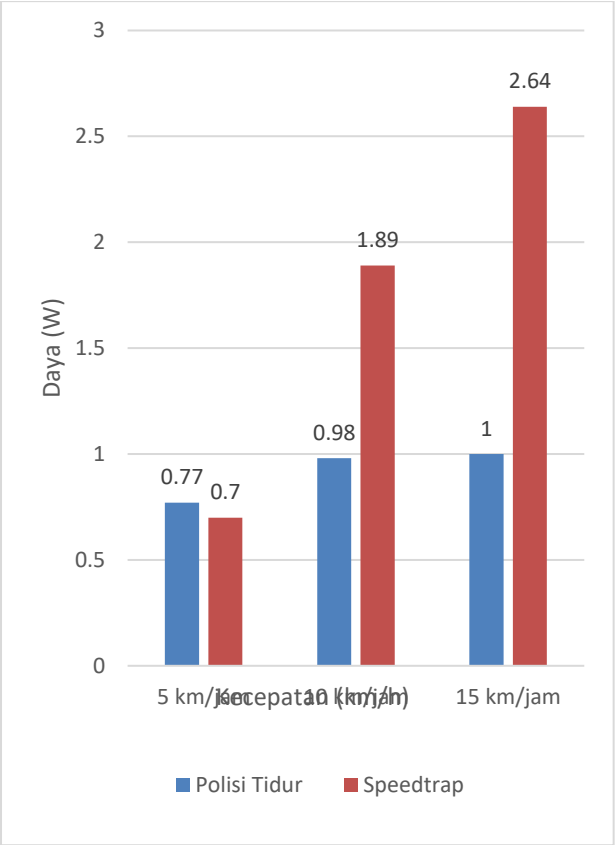


(d)

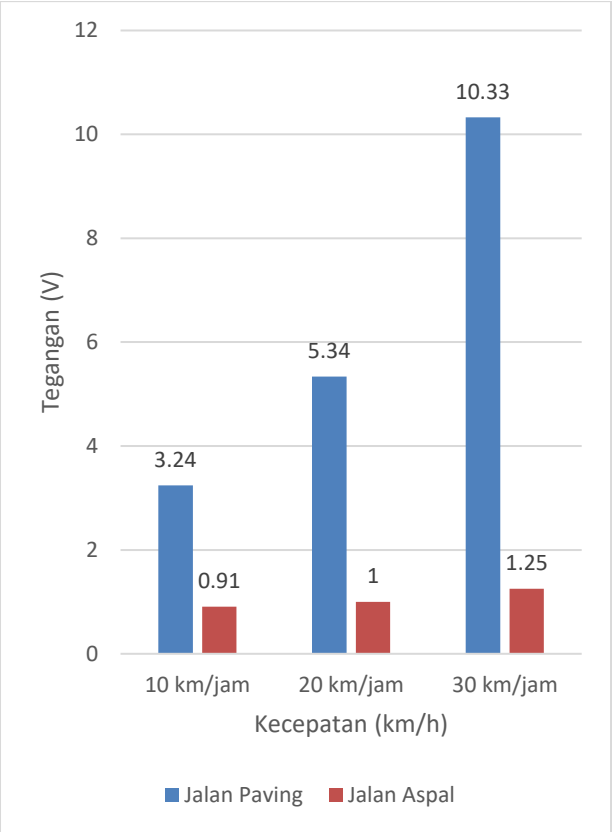
Gambar 4.28 Diagram Batang RMS (a) Tegangan melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, (b) Daya melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, (c) Tegangan melewati *Paving road* dan *Asphalt road*, dan (d) Daya melewati *Paving road* dan *Asphalt road* dengan hambatan 15 Ohm


8
7
6
5
4
3
2
1
0
Tegangan (v)
3.94
3.74
4.44
6.14
4.5
7.26
5 km/jam
10 km/jam
15 km/jam
Kecepatan (km/h)
Polisi Tidur
Speed Trap

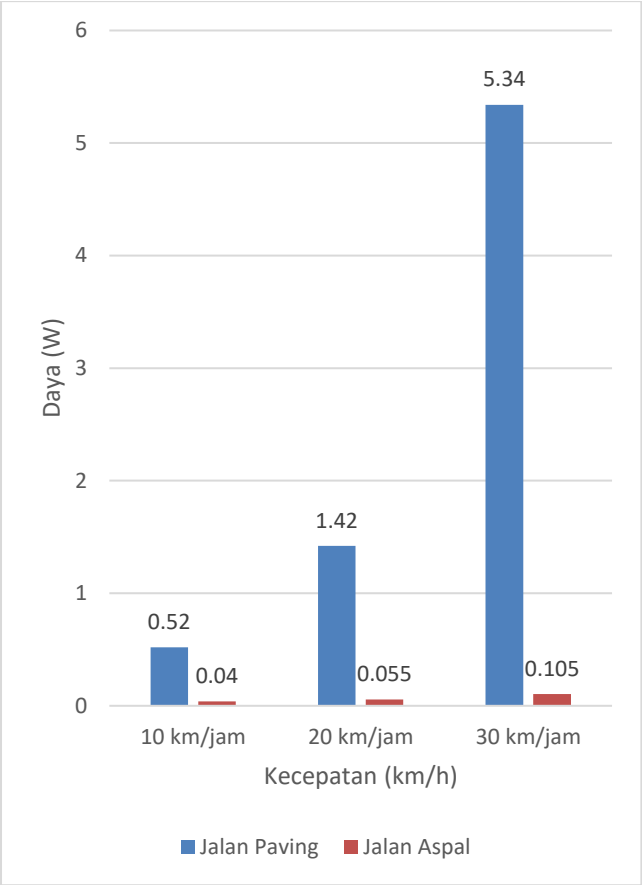
(a)


3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
Daya (W)
0.77
0.7
0.98
1.89
1
2.64
5 km/jam
10 km/jam
15 km/jam
Kecepatan (km/jam)
Polisi Tidur
Speedtrap

(b)

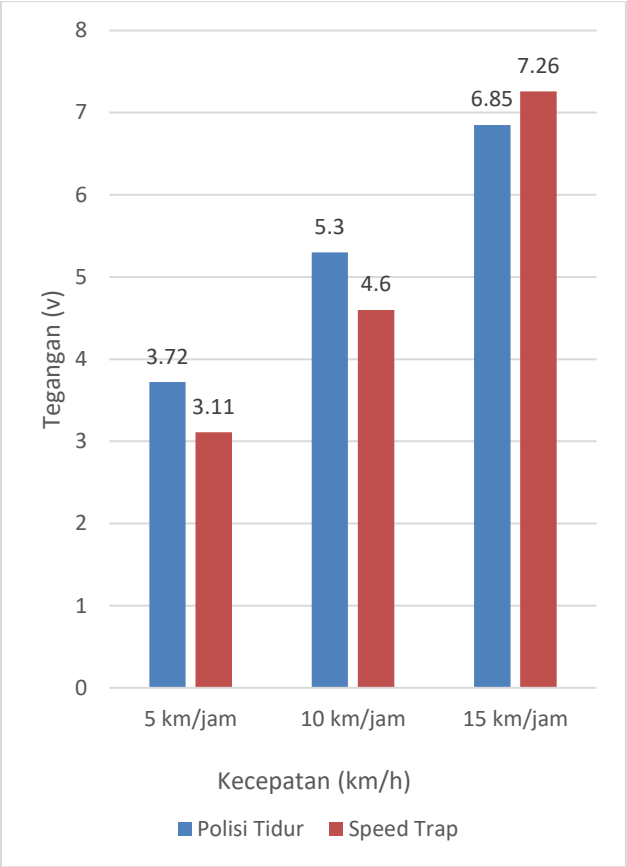

12
10
8
6
4
2
0
Tegangan (V)
10.33
5.34
3.24
0.91
1
1.25
10 km/jam
20 km/jam
30 km/jam
Kecepatan (km/h)
Jalan Paving
Jalan Aspal

(c)

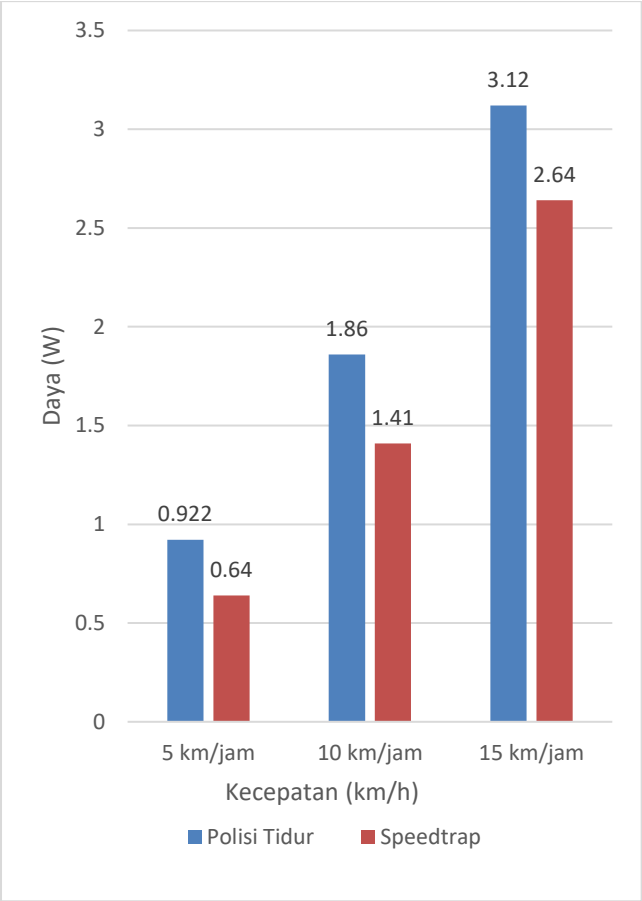


(d)

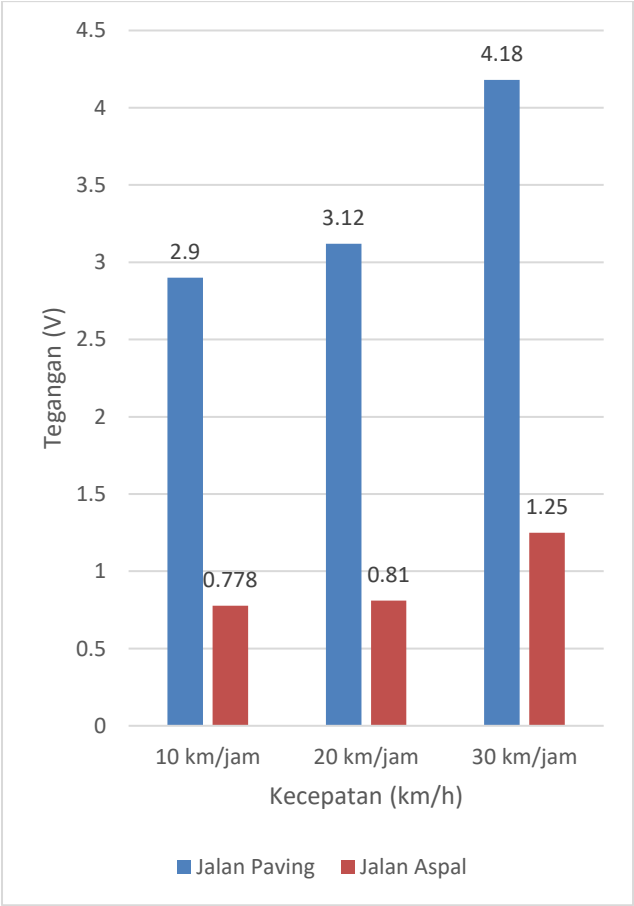
Gambar 4.29 Diagram Batang RMS (a) Tegangan melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, (b) Daya melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, (c) Tegangan melewati *Paving road* dan *Asphalt road*, dan (d) Daya melewati *Paving road* dan *Asphalt road* dengan hambatan 20 Ohm


8
7
6
5
4
3
2
1
0
Tegangan (v)
3.72
3.11
5.3
4.6
6.85
7.26
5 km/jam
10 km/jam
15 km/jam
Kecepatan (km/h)
Polisi Tidur
Speed Trap

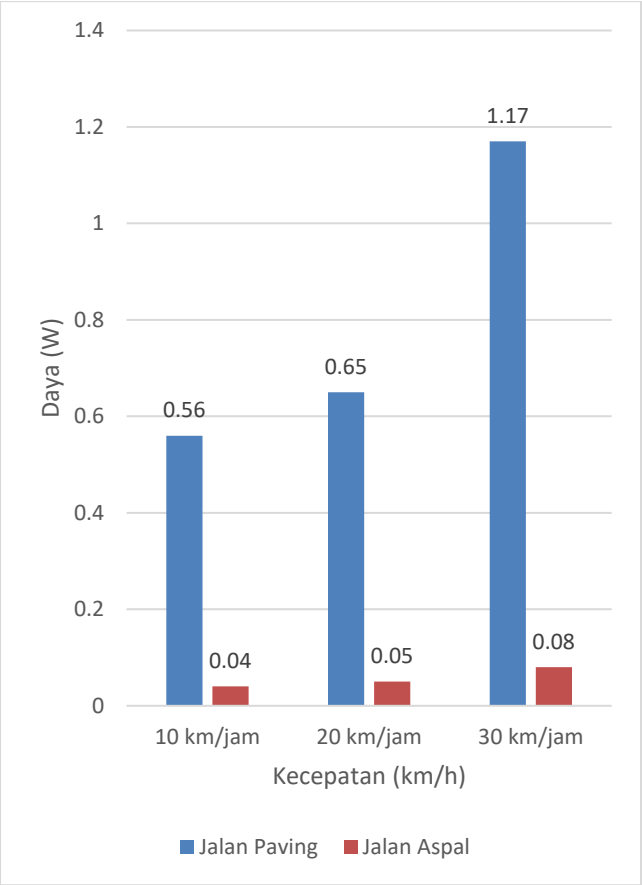
(a)


3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
Daya (W)
0.922
0.64
1.86
1.41
3.12
2.64
5 km/jam
10 km/jam
15 km/jam
Kecepatan (km/h)
Polisi Tidur
Speedtrap

(b)


4.5
4
3.5
3
2.5
2
1.5
1
0.5
0
Tegangan (V)
2.9
0.778
3.12
0.81
4.18
1.25
10 km/jam
20 km/jam
30 km/jam
Kecepatan (km/h)
Jalan Paving
Jalan Aspal

(c)



(d)

Gambar 4.30 Diagram Batang RMS (a) Tegangan melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, (b) Daya melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, (c) Tegangan melewati *Paving road* dan *Asphalt road*, dan (d) Daya melewati *Paving road* dan *Asphalt road* dengan hambatan 25 Ohm

RMS daya terbesar ditunjukan pada saat melewati *paving road* dengan variasi hambatan 20 Ohm pada kecepatan 30 km/h yaitu sebesar 5.34 W dengan tegangan bangkitan 10.33 V. Hal tersebut dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan yang cukup tinggi, ditambah profil *paving road* yang digunakan dalam pengujian tidak rata dan bergelombang menyebabkan RESA dapat menghasilkan energi pada kurun waktu yang cukup lama. Kemudian RMS daya terkecil terjadi pada saat melewati *asphalt road* variasi hambatan 25 Ohm dengan kecepatan 10 km/h yaitu sebesar 0.038 W. *Asphalt road* cederung halus sehingga tidak menimbulkan getaran pada BSRSA *spur gear*.

Dari tabel 4.1 hingga 4.6 diatas, pada setiap variasi jalan, semakin tinggi kecepatan kendaraan maka RMS tegangan bangkitan dan RMS daya yang dihasilkan semakin besar. Selain pengaruh kecepatan, pengaruh dari variasi jalan juga berpengaruh. Berdasar diagram batang pada gambar 4.28, 4.29, dan 4.30 daya bangkitan pada *Speedtrap* dan *paving road* memiliki daya bangkitan yang relatif stabil pada variasi setiap hambatan, berkisar antara 0.5-5.3 Watt. Pada *paving road* daya bangkitan yang dihasilkan lebih tinggi dari *Speedtrap*, hal itu dipengaruhi oleh profil *paving road* yang bergelombang dan kecepatan pada saat pengujian pada *paving road* lebih tinggi daripada pengujian pada *Speedtrap*. Dari sini dapat diketahui bahwa kecepatan kendaraan mempengaruhi besar kecilnya tegangan maupun daya yang dihasilkan, dimana pada saat kecepatan semakin meningat, frekuensi juga meningkat dan kecepatan putar generator meningkat sehingga menghasilkan tegangan bangkitan lebih besar. Hal tersebut sesuai dengan teori, dimana diketahui $f = v/\lambda$, 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. Kemudian, saat kendaraan berjalan melewati *Speedtrap* dan *Speedbump*, mendapatkan data daya bangkitan RMS yang relatif konstan dikisaran 1 watt hingga 3 watt dalam jangka waktu 1 detik. Hal ini menunjukan adanya rintangan pada jalan menyebabkan RESA bergerak akibat profil jalan dan dapat membangkitkan daya dalam waktu yang singkat ketika melewati rintangan tersebut. Untuk *asphalt road* yang memiliki profil jalan yang tidak bergelombang, dayang bangkitan dan tegangan yang dihasilkan relatif kecil. Perubahan kecepatan tidak berdampak besar pada daya bangkitan yang dihasilkan, begitu juga hambatan. Daya bangkitan pada *asphalt road* berkisar antara 0.03 W hingga paling besar 0.1 W yang dihasilkan pada hambatan 15 Ohm dengan kecepatan 30 km/h. Hal ini sesuai dengan teori, karena profil jalan yang tidak bergelombang mengakibatkan RESA tidak berosilasi, akibatnya putaran yang dihasilkan screw juga rendah sehingga daya bangkitan yang dihasilkan juga kecil.

4.4.2 Analisa Respon Percepatan Vertikal *Shock Absorber* Toyota Avanza dan RESA pada Toyota Avanza

Pada sub bab ini, dilakukan pembahasan mengenai perbandingkan respon percepatan vertikal kendaraan antara *convensional shock absorber* dengan 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 *Convensional shock absorber* dan RESA didapatkan dari *probe accelerometer* yang dipasang pada bangku baris ketiga bagian belakang sebelah kanan 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.

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

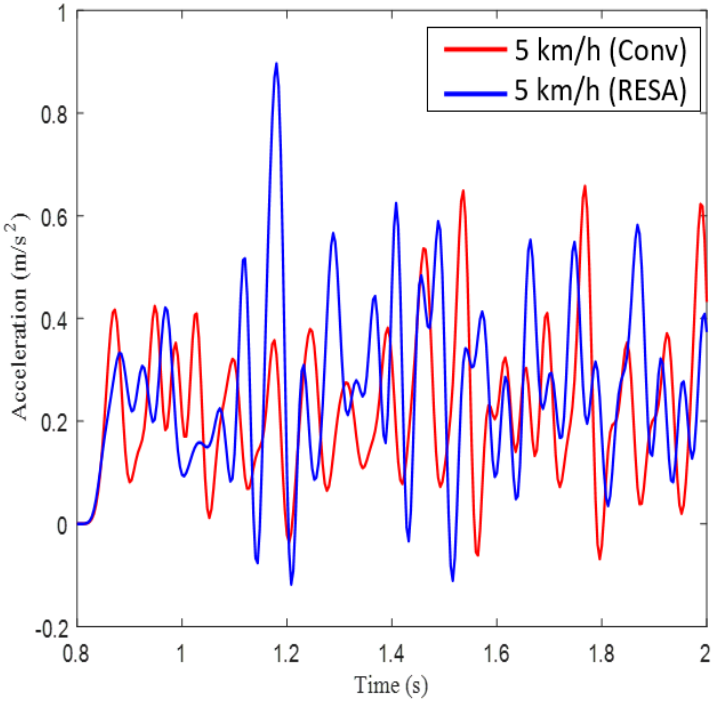
Keterangan:
$\ddot{x}$: percepatan (m/s^2)
G : tegangan dari *accelerometer* (V)
g : percepatan gravitasi (m/s^2)

Untuk nilai G diperoleh dari data angka pada *excel* dikalikan dengan skala pembacaan pada *oscilloscope*. Misal data angka yang diperoleh adalah 0.367 kemudian skala pembacaan *oscilloscope* adalah 10 mV, maka G = 0.367 x 10 mV. Berikut merupakan data perbandingan percepatan vertikal kendaan saat menggunakan *convensional shock absorber* dan RESA pada beberapa variasi jalan dengan kecepatan yang bervariasi.

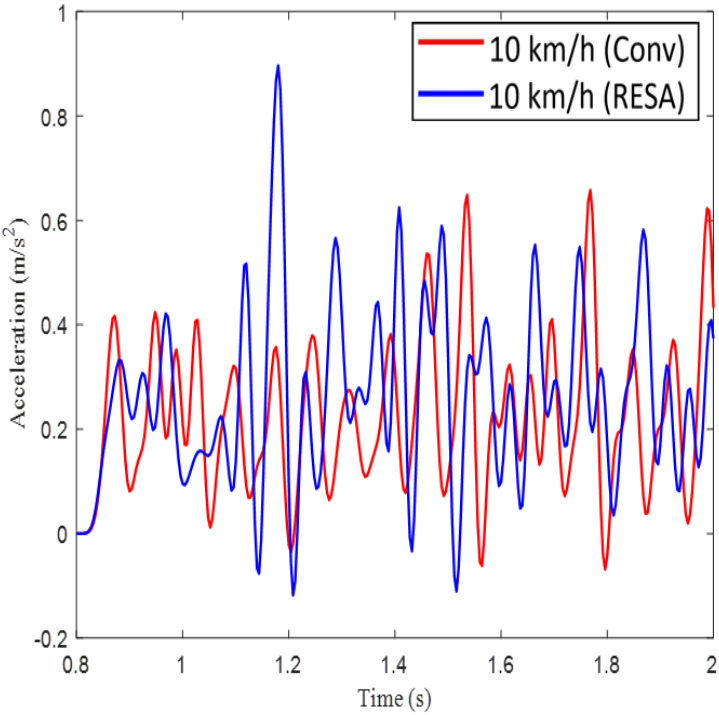
i. Analisa Respon Percepatan Vertikal Toyota Avanza saat Melalui *Speedbump*

Pengujian pertama dilakukan melewati *Speedbump* dengan 3 variasi kecepatan yaitu 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h. Berikut data perbandingan percepatan vertikal ketika melalui

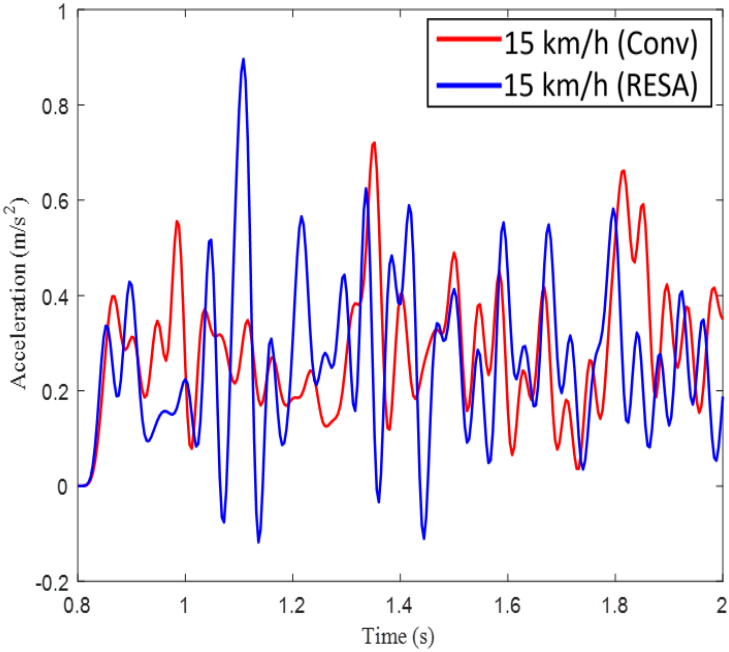
Speedbump dengan variasi kecepatan 5 km/h, 10 km/h dan 15 km/h ditunjukkan pada gambar. Pada gambar 4.31 Ditunjukkan grafik perbandingan percepatan vertikal dengan hambatan 15 Ohm.



(a)


10 km/h (Conv)
10 km/h (RESA)
Acceleration (m/s^2)
Time (s)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2

(b)



(c)

Gambar 4.31 Grafik Perbandingan Percepatan Vertikal Toyota Avanza antara *Convensional shock absorber* dan RESA saat Melalui *Speedbump* pada Kecepatan (a) 5 km/h, (b) 10 km/h, dan (c) 15 km/h

Pada Gambar 4.31 (a) di atas, menunjukkan pada kecepatan 5 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *convensional shock absorber* sebesar 0.85 m/s^2 dan pada RESA sebesar 0.64 m/s^2 ketika melewati *Speedbump* dengan hambatan 15 Ohm. Gambar 4.31 (b) di atas, menunjukkan pada kecepatan 10 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *convensional shock absorber* sebesar 0.87 m/s^2 dan pada

RESA sebesar 0.92 m/s^2 . Gambar 4.31 (c) di atas, menunjukkan pada kecepatan 15 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *convensional shock absorber* sebesar 0.88 m/s^2 dan pada RESA sebesar 0.95 m/s^2.

Dari ketiga grafik Perbandingan Percepatan Vertikal Toyota Avanza antara *Conventional shock absorber* dan RESA saat Melalui *speedbump trend line* yang dihasilkan tidak terlihat perbedaan signifikan seperti grafik daya dan tegangan pada *speedbump* pada sub bab sebelumnya. Hal ini dikarenakan beberapa faktor, faktor yang pertama adalah medan pengujian *speedbump* dimana terletak pada *paving road* yang memiliki profil jalan tidak merata dikarenakan pemasangan paving yang tidak rata, paving yang terkena akar pohon, terdapat gundukan atau lubang kecil, akibatnya setelah puncak yang pertama baik pada RESA maupun *conventional shock absorber* data percepatan vertikal terdapat lonjakan meskipun tidak setinggi puncak pertama yang menandakan percepatan vertikal akibat *speedbump*. Faktor selanjutnya adalah *accelerometer* yang digunakan, alat pengambilan data yang digunakan berusia cukup tua, sehingga kepresisian berkurang, akibatnya *noise* yang terbaca cukup besar, meskipun telah dilakukan proses filtering, hal ini memungkinkan data percepatan pada *speedbump* ini tidak terlalu terlihat signifikan disebabkan *noise* yang terlalu besar, sehingga bentuk dari grafiknya tidak seperti grafik daya dan tegangan seperti sub bab yang lalu.

Pada sumbu x pada grafik ditampilkan rentang waktu dari 0.8 detik hingga 2 detik, berdasarkan pengujian waktu 0-0.8 detik adalah ketika sesaat mobil dari posisi berhenti menuju medan pengujian yaitu *Speedbump*. Untuk waktu ketika roda depan dan belakang mengenai *Speedbump* ketika pada 1

hingga 1.2 detik, dimana ditunjukkan lonjakan dalam bentuk 1 puncak pada garis biru. Dari grafik yang perbandingan percepat, trend line dari ketiga grafik hampir sama. *Convensional shock absorber* memiliki puncak sedikit lebih rendah daripada RESA, akan tetapi tidak terpaut jauh. *Trendline* dari ketiga grafik, menunjukan bahwa beberapa puncak awal yang rendah disebabkan oleh *paving road* sebelum *Speedbump*, kemudian puncak awal menunjukan ketika roda depan melewati *Speedbump*, sedangkan puncak tengah dan akhir menunjukan posisi roda belakang ketika melewati *Speedbump*. Untuk puncak pada bagian akhir menunjukan sesaat ketika roda belakang dari *Speedbump*, dan jkembali ke *paving road*. Nilai minus pada percepatan menandakan keadaan dimana gerak translasi RESA melebihi dari keadaan awal ketika pengambilan data pada waktu 0 detik. Maka dari itu nilai percepatannya minus, dimana minus tersebut hanya menunjukan arah, bukan besaran dari nilai percepatan vertikal dari RESA.

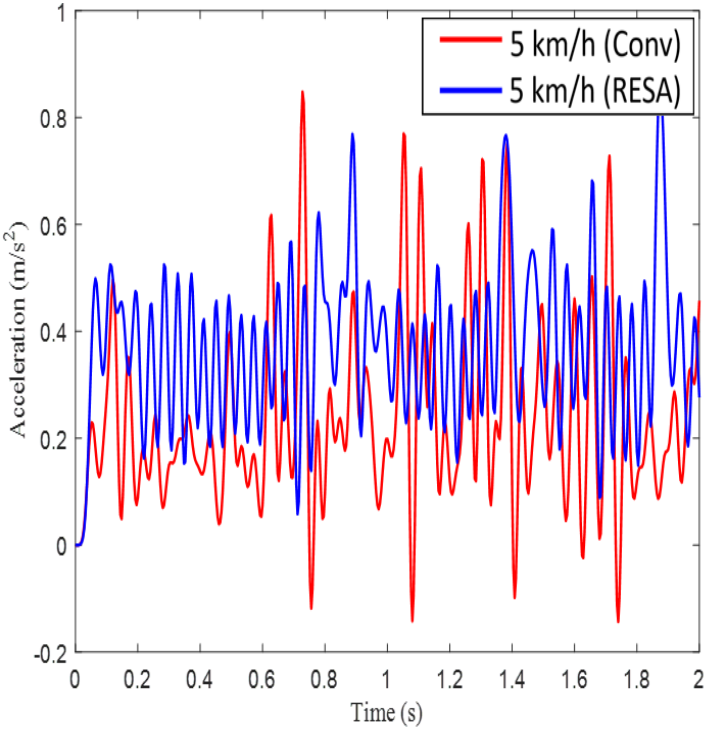
Dilihat dari ketiga grafik dengan kecepatan yang yang semakin meningkat, didapatkan percepatan maksimum dari tiap *shock absorber* juga meningkat. Hal ini dikarenakan ketika kecepatan kendaraan tinggi, *ball screw* bergerak naik turun lebih cepat sehingga percepatannya naik pada tiap kecepatan yang berbeda. Kemudian dilihat dari jenis *shock absorber* yang digunakan, pada setiap variasi kecepatan kendaraan dapat dilihat bahwa RESA memiliki percepatan maksimum yang lebih besar daripada *convensional shock absorber*. Hal tersebut menunjukan bahwa *convensional shock absorber* lebih mampu untuk menyerap getaran yang dihasilkan oleh kendaraan akan tetapi tidak terpaut jauh dibandingkan dengan RESA. Dari grafik 4.31 perbandingan antara konvensional dengan RESA,

berdasar nilai percepatan maksimum pada setiap variasi kecepatan dengan hambatan 15 Ohm, dapat disimpulkan keduanya masuk dalam kategori tidak nyaman (Rao, 2011)

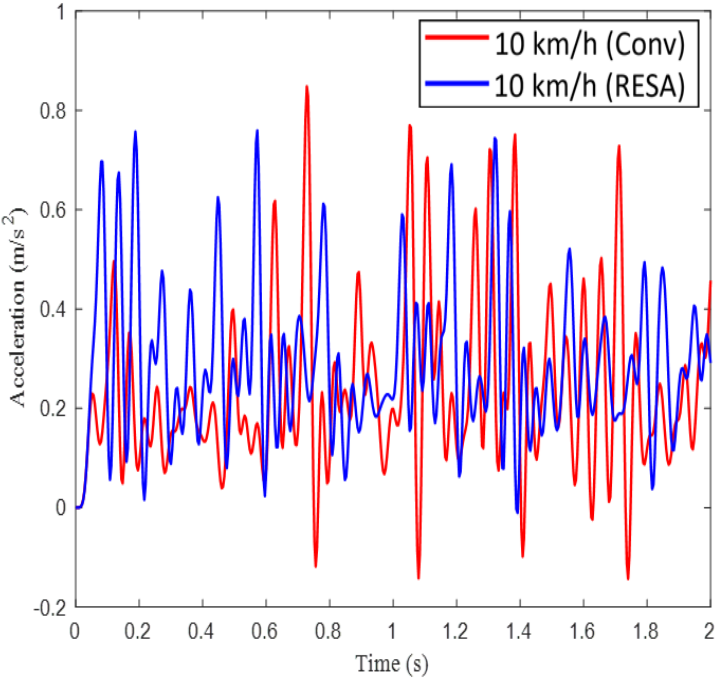
Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, saat melewati *Speedbump* terdapat lonjakan yang tinggi pada grafik. Hal tersebut menunjukkan saat kendaraan melewati *bump* yang cukup tinggi. Kemudian terdapat lonjakan-lonjakan kecil yang disebabkan kontur *paving road* yang tidak rata sebelum/sesudah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

ii. Analisa Respon Percepatan Vertikal Toyota Avanza saat Melalui *Speedtrap*

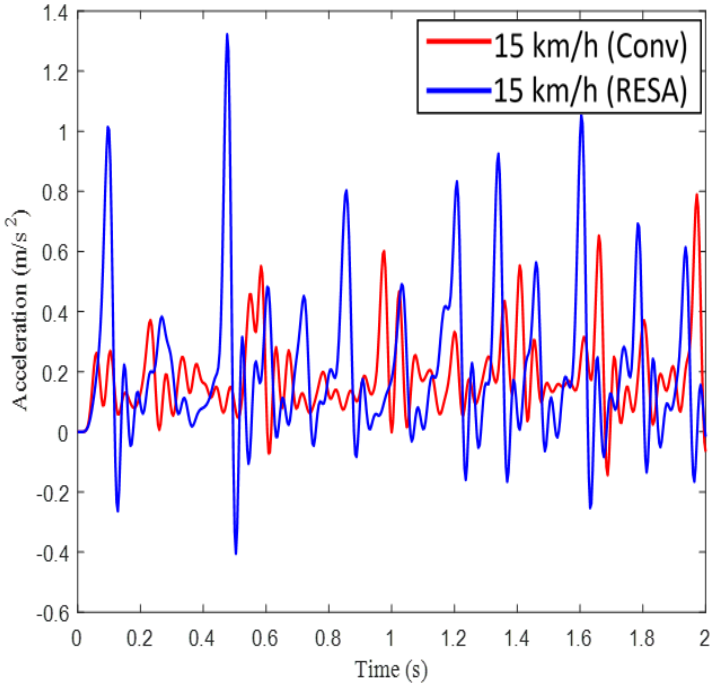
Pengujian kedua dilakukan melewati *Speedtrap* dengan 3 variasi kecepatan yaitu 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h. Berikut data perbandingan percepatan vertikal ketika melalui *Speedtrap* dengan variasi kecepatan 5 km/h, 10 km/h dan 15 km/h ditunjukkan pada gambar. Pada gambar 4. Ditunjukkan grafik perbandingan percepatan vertikal dengan hambatan 15 Ohm.


5 km/h (Conv)
5 km/h (RESA)
Acceleration (m/s^2)
Time (s)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2

(a)


10 km/h (Conv)
10 km/h (RESA)
Acceleration (m/s 2)
Time (s)
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
-0.2
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2

(b)



(c)

Gambar 4.32 Grafik Perbandingan Percepatan Vertikal Toyota Avanza antara *Convensional shock absorber* dan RESA saat Melalui *Speedtrap* pada Kecepatan (a) 5 km/h, (b) 10 km/h, dan (c) 15 km/h

Pada Gambar 4.32 (a) di atas, menunjukkan pada kecepatan 5 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *convensional shock absorber* sebesar 0.82 m/s^2 dan pada RESA sebesar 0.85 m/s^2 ketika melewati *Speedbump* dengan hambatan 15 Ohm. Gambar 4.31 (b) di atas, menunjukkan pada kecepatan 10 km/h didapat percepatan vertikal maksimum

pada *convensional shock absorber* sebesar 0.83 m/s^2 dan pada RESA sebesar 0.85 m/s^2 . Gambar 4.31 (c) di atas, menunjukkan pada kecepatan 15 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *convensional shock absorber* sebesar 0.85 m/s^2 dan pada RESA sebesar 1.2 m/s^2.

Dari ketiga grafik Perbandingan Percepatan Vertikal Toyota Avanza antara *Conventional shock absorber* dan RESA saat Melalui *speedtrap trend line* yang dihasilkan tidak terlihat perbedaan signifikan seperti grafik daya dan tegangan pada *speedbump* pada sub bab sebelumnya. Hal ini dikarenakan faktor dari *accelerometer* yang digunakan, alat pengambilan data yang digunakan berusia cukup tua, sehingga kepresisian berkurang, akibatnya *noise* yang terbaca cukup besar, meskipun telah dilakukan proses filtering, hal ini memungkinkan data percepatan pada *speedtrap* ini tidak terlalu terlihat signifikan, hal ini disebabkan *noise* yang terlalu besar, sehingga bentuk dari grafiknya tidak seperti grafik daya dan tegangan seperti sub bab yang lalu.

Dari grafik yang perbandingan percepat, *trendline* dari ketiga grafik hampir sama. *Convensional shock absorber* memiliki puncak sedikit lebih rendah daripada RESA, akan tetapi tidak terpaut jauh. Perbedaan terjauh antara konvensional dengan RESA terjadi pada kecepatan 15 km/h. *Trendline* dari ketiga grafik, menunjukan bahwa beberapa puncak awal yang rendah disebabkan oleh *paving road* sebelum *Speedbump*, kemudian puncak awal menunjukan ketika roda depan melewati *Speedbump*, sedangkan puncak tengah dan akhir menunjukan posisi roda belakang ketika melewati *Speedbump*. Untuk puncak pada bagian akhir menunjukan sesaat ketika roda belakang dari *Speedbump*, dan kembali ke *paving road*. Nilai minus pada percepatan

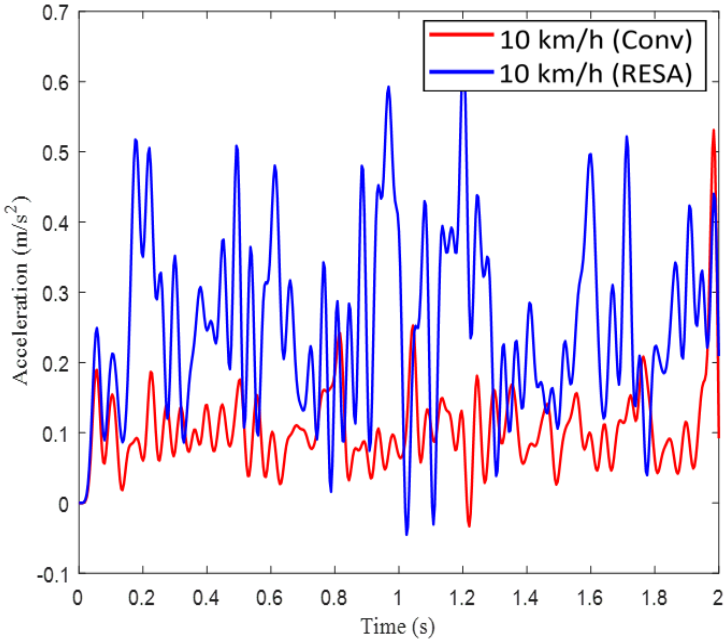
menandakan keadaan dimana gerak translasi RESA melebihi dari keadaan awal ketika pengambilan data pada waktu 0 detik. Maka dari itu nilai percepatannya minus, dimana minus tersebut hanya menunjukan arah, bukan besaran dari nilai percepatan vertikal dari RESA.

Dilihat dari ketiga grafik dengan kecepatan yang yang semakin meningkat, didapatkan percepatan maksimum dari tiap *shock absorber* juga meningkat. Hal ini dikarenakan ketika kecepatan kendaraan tinggi, *ball screw* bergerak naik turun lebih cepat sehingga percepatannya naik pada tiap kecepatan yang berbeda. Kemudian dilihat dari jenis *shock absorber* yang digunakan, pada setiap variasi kecepatan kendaraan dapat dilihat bahwa RESA memiliki percepatan maksimum yang lebih besar daripada *convensional shock absorber.* Hal tersebut menunjukan bahwa *convensional shock absorber* lebih mampu untuk menyerap getaran yang dihasilkan oleh kendaraan akan tetapi tidak terpaut jauh dibandingkan dengan RESA. Dari grafik 4.32 perbandingan antara konvensional dengan RESA, berdasar nilai percepatan maksimum pada setiap variasi kecepatan dengan hambatan 15 Ohm, dapat disimpulkan keduanya masuk dalam kategori tidak nyaman (Rao, 2011)

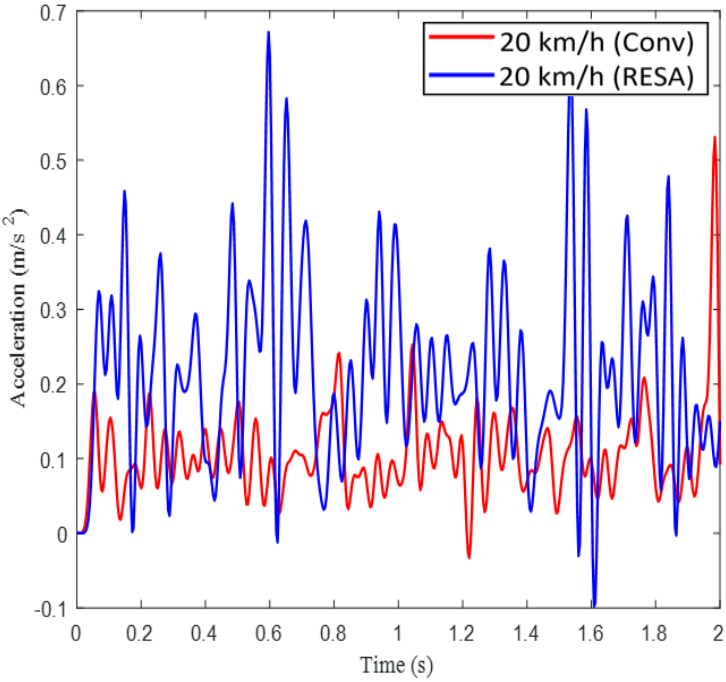
Seperti yang telah dijelaskan pada sub bab sebelumnya, saat melewati *Speedbump* terdapat lonjakan yang tinggi pada grafik. Hal tersebut menunjukkan saat kendaraan melewati *bump* yang cukup tinggi. Kemudian terdapat lonjakan-lonjakan kecil yang disebabkan kontur *paving road* yang tidak rata sebelum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

iii. Analisa Respon Percepatan Vertikal Toyota Avanza saat Melalui *Paving road*

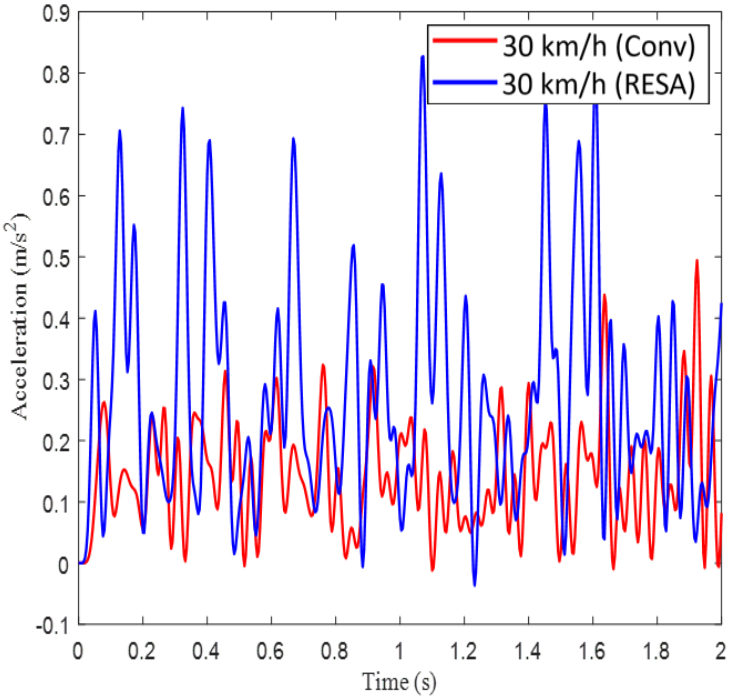
Pengujian ketiga dilakukan melewati *paving road* dengan 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h. Berikut data perbandingan percepatan vertikal ketika melalui *paving road* dengan variasi kecepatan 10 km/h, 20 km/h dan 30 km/h ditunjukkan pada gambar. Pada gambar 4.33 Ditunjukkan grafik perbandingan percepatan vertikal dengan hambatan 15 Ohm.



(a)


20 km/h (Conv)
20 km/h (RESA)
Acceleration (m/s 2)
Time (s)
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
-0.1
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2

(b)



(c)

Gambar 4.33 Grafik Perbandingan Percepatan Vertikal Toyota Avanza antara *Convensional shock absorber* dan RESA saat Melalui *Paving road* pada Kecepatan (a) 10 km/h, (b) 20 km/h, dan (c) 30 km/h

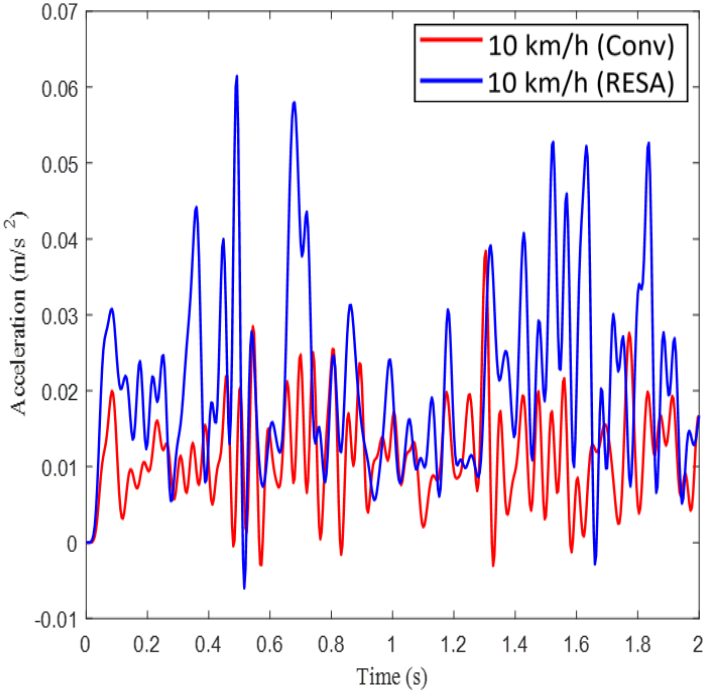
Pada Gambar 4.33 (a) di atas, menunjukkan pada kecepatan 10 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *convensional shock absorber* sebesar 0.57 m/s^2 dan pada RESA sebesar 0.65 m/s^2 ketika melewati *Speedbump* dengan hambatan 15 Ohm. Gambar 4.31 (b) di atas, menunjukkan pada kecepatan 20 km/h didapat percepatan vertikal maksimum

pada *convensional shock absorber* sebesar 0.60 m/s^2 dan pada RESA sebesar 0.68 m/s^2 . Gambar 4.31 (c) di atas, menunjukkan pada kecepatan 30 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *convensional shock absorber* sebesar 0.62 m/s^2 dan pada RESA sebesar 0.69 m/s^2. Nilai minus pada percepatan menandakan keadaan dimana gerak translasi RESA melebihi dari keadaan awal ketika pengambilan data pada waktu 0 detik. Maka dari itu nilai percepatannya minus, dimana minus tersebut hanya menunjukan arah, bukan besaran dari nilai percepatan vertikal dari RESA. Dari ketiga variasi kecepatan, tampak nilai percepatan maksimum RESA lebih tinggi dari konvensional, perbedaan antara keduanya tidak terpaut jauh. Dari grafik 4.33 perbandingan antara konvensional dengan RESA, berdasar nilai percepatan maksimum pada setiap variasi kecepatan dengan hambatan 15 Ohm, dapat disimpulkan keduanya masuk dalam kategori agak tidak nyaman (Rao, 2011)

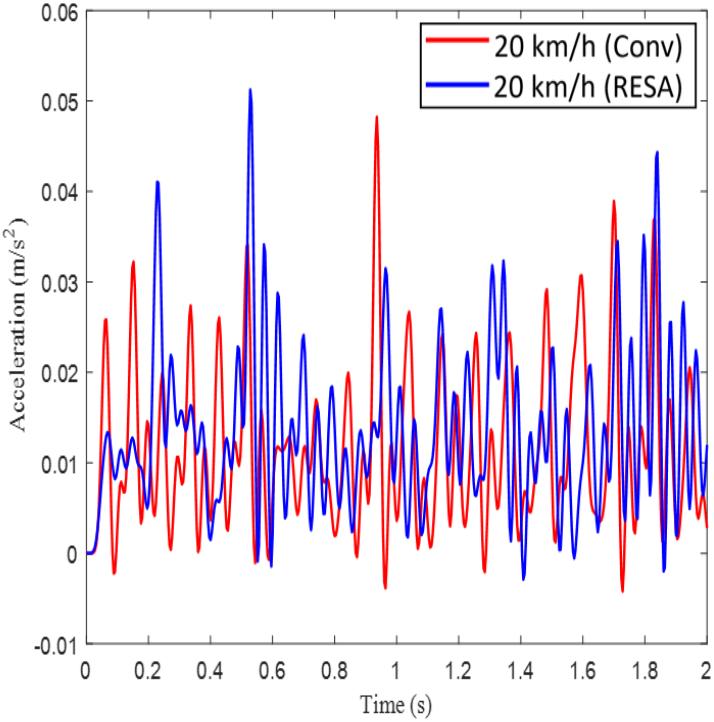
Dari ketiga grafik tersebut, ketiganya membentuk pola yang tidak teratur pada RESA maupun *convensional shock absorber*. Hal tersebut diakibatkan oleh kontur *paving road* yang tidak menentu seperti adanya lubang pada paving, pemasangan paving yang tidak rata, dan kontur tanah yang menyebabkan pemasangan paving bergelombang. Kemudian ditinjau dari *shock absorber* yang digunakan, terlihat RESA menghasilkan percepatan vertikal yang lebih besar dibandingkan *convensional shock absorber* Hal tersebut menandakan bahwa redaman getaran *convensional shock absorber* lebih baik daripada RESA.. Kemudian sama halnya pada saat melewati *Speedbump* dan *Speedtrap*, semakin tinggi kecepatan semakin besar respon percepatannya.

iv. Analisa Respon Percepatan Vertikal Toyota Avanza saat Melalui *Asphalt road*

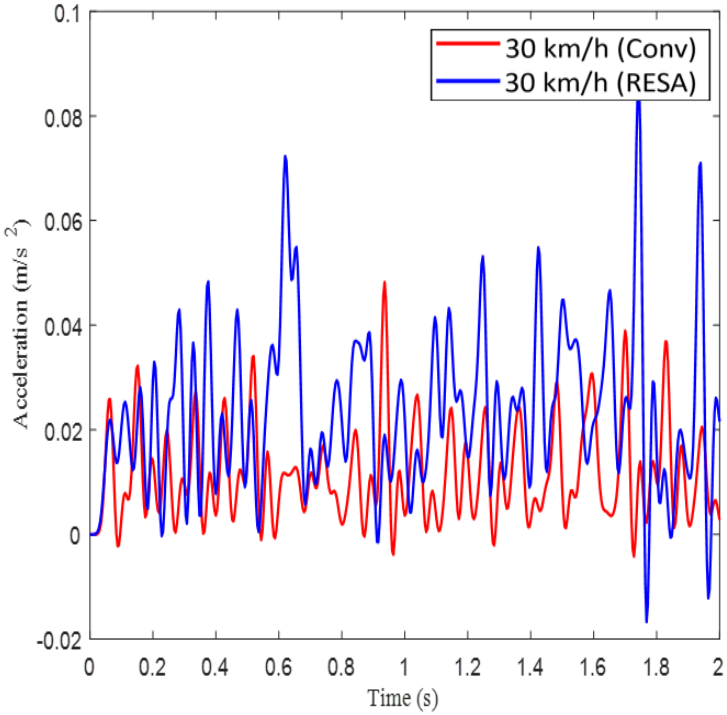
Pengujian ketiga dilakukan melewati *asphalt road* dengan 3 variasi kecepatan yaitu 10 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h. Berikut data perbandingan percepatan vertikal ketika melalui *asphalt road* dengan variasi kecepatan 10 km/h, 20 km/h dan 30 km/h. Pada gambar 4. Ditunjukkan grafik perbandingan percepatan vertikal dengan hambatan 15 Ohm.



(a)


20 km/h (Conv)
20 km/h (RESA)
Acceleration (m/s^2)
Time (s)
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0
-0.01
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
1.2
1.4
1.6
1.8
2

(b)



(c)

Gambar 4.34 Grafik Perbandingan Percepatan Vertikal Toyota Avanza antara *Convensional shock absorber* dan RESA saat Melalui *Asphalt road* pada Kecepatan (a) 10 km/h, (b) 20 km/h, dan (c) 30 km/h

Pada Gambar 4.34 (a) di atas, menunjukkan pada kecepatan 10 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *convensional shock absorber* sebesar 0.040 m/s^2 dan pada RESA sebesar 0.051 m/s^2 ketika melewati *Speedbump* dengan hambatan 15 Ohm. Gambar 4.34 (b) di atas, menunjukkan pada kecepatan 20 km/h didapat percepatan vertikal maksimum

pada *convensional shock absorber* sebesar 0.044 m/s^2 dan pada RESA sebesar 0.052 m/s^2 . Gambar 4.34 (c) di atas, menunjukkan pada kecepatan 30 km/h didapat percepatan vertikal maksimum pada *convensional shock absorber* sebesar 0.048 m/s^2 dan pada RESA sebesar 0.072 m/s^2. Dari ketiga variasi kecepatan, tampak nilai percepatan maksimum RESA lebih tinggi dari konvensional, perbedaan antara keduanya tidak terpaut jauh.

Pada pengujian melewati *asphalt road*, pola grafik respon yang dihasilkan dari kedua jenis *shock absorber* mirip dengan pengujian melewati *paving road*, namun dengan besar respon yang jauh lebih kecil. Hal ini dikarenakan kontur jalan yang cukup halus sehinga tidak meimbulkan getaran yang cukup berarti pada kendaraan. Pada pengujian ini RESA tetap memiliki respon pecepatan vertikal lebih besar daripada *convensional shock absorber*, walaupun nilainya kecil. Nilai minus pada percepatan menandakan keadaan dimana gerak translasi RESA melebihi dari keadaan awal ketika pengambilan data pada waktu 0 detik. Maka dari itu nilai percepatannya minus, dimana minus tersebut hanya menunjukan arah, bukan besaran dari nilai percepatan vertikal dari RESA.

Dari grafik 4.34 perbandingan antara konvensional dengan RESA, berdasar nilai percepatan maksimum pada setiap variasi kecepatan dengan hambatan 15 Ohm, dapat disimpulkan keduanya masuk dalam kategori tidak ada keluhan (Rao, 2011)

Dapat dilihat beberapa bagian pada grafik, terdapat lonjakan yang disbabkan adanya lubang pada jalan sehigga 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.

Dari keempat 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 4.7 dan Tabel 4.8. Diagram batang dari RMS tegangan dan RMS daya bangkitan disajikan pada gambar 4.35 untuk hambatan 15 Ohm, 4.36 untuk hambatan 20 Ohm, dan 4.37 untuk hambatan 25 Ohm.

Tabel 4.7 **RMS Respon Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melalui *Speedbump* dan *Speedtrap***

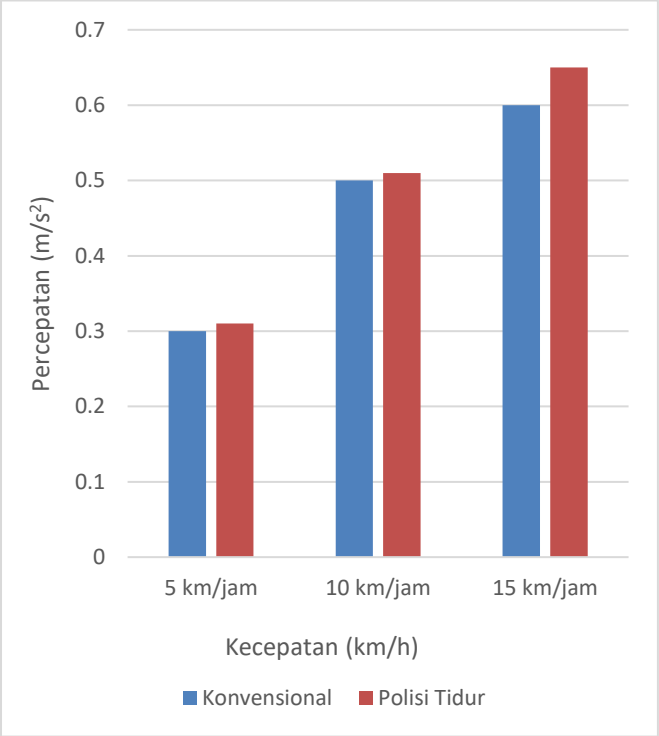
	Variasi Kecepatan								
	5 km/h			10 km/h			15 km/h		
Variasi Jalan	Konv (m/s^2)	RESA (m/s^2)	Kenyamanan Kendaraan (Rao, 2011)	Konv (m/s^2)	RESA (m/s^2)	Kenyamanan Kendaraan (Rao, 2011)	Konv (m/s^2)	RESA (m/s^2)	Kenyamanan Kendaraan (Rao, 2011)
Speed bump 15ohm	0.292	0.299	Tidak Ada Keluhan	0.478	0.479	Sedikit Tidak Nyaman	0.503	0.635	Agak Tidak Nyaman
Speed bump 20ohm	0.292	0.298	Tidak Ada Keluhan	0.478	0.479	Sedikit Tidak Nyaman	0.503	0.637	Agak Tidak Nyaman
Speed bump 25ohm	0.292	0.290	Tidak Ada Keluhan	0.478	0.478	Sedikit Tidak Nyaman	0.503	0.620	Agak Tidak Nyaman

Speed trap 15ohm	0.224	0.224	Tidak Ada Kelu-han	0.304	0.311	Tidak Ada Kelu-han	0.675	0.635	Agak Tidak Nya-man
Speed trap 20ohm	0.224	0.217	Tidak Ada Kelu-han	0.304	0.311	Tidak Ada Kelu-han	0.675	0.631	Agak Tidak Nya-man
Speed trap 25ohm	0.224	0.180	Tidak Ada Kelu-han	0.304	0.232	Tidak Ada Kelu-han	0.675	0.620	Sedi-kit Tidak Nya-man

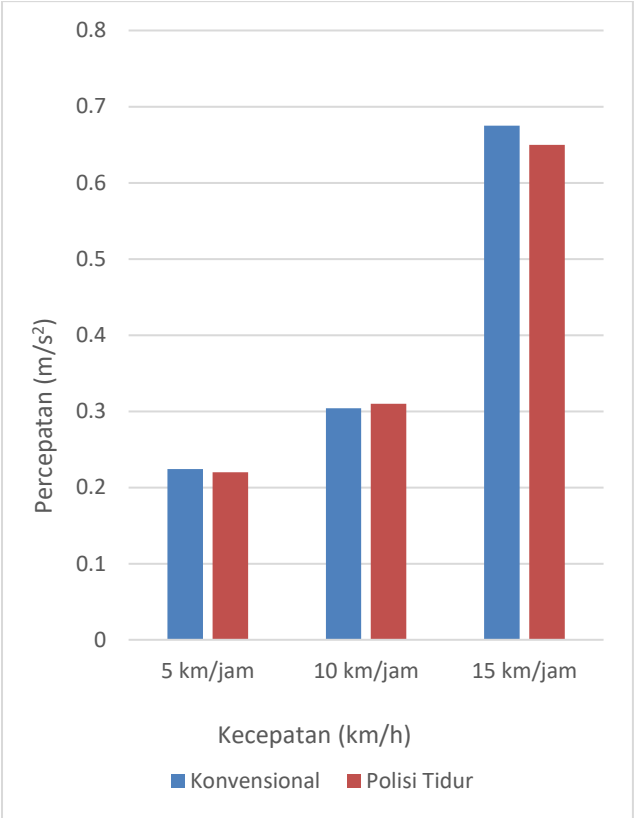
Tabel 4.8 **RMS Respon Percepatan Vertikal Kendaraan saat Melalui *Paving road* dan *Asphalt road***

	Variasi Kecepatan								
	5 km/h			10 km/h			15 km/h		
Variasi Jalan	Konv (m/s^2)	RESA (m/s^2)	Kenya manan Kenda raan (Rao, 2011)	Konv (m/s^2)	RESA (m/s^2)	Kenya manan Kenda raan (Rao, 2011)	Konv (m/s^2)	RESA (m/s^2)	Kenya manan Kenda raan (Rao, 2011)
Pavin g road 15ohm	0.161	0.390	Sedi-kit Tidak Nya-man	0.202	0.427	Sedi-kit Tidak Nya-man	0.224	0.526	Sedi-kit Tidak Nya-man
Pavin g road 20ohm	0.161	0.304	Tidak Ada Kelu-han	0.202	0.511	Sedi-kit Tidak Nya-man	0.224	0.510	Sedi-kit Tidak Nya-man
Pavin g road 25ohm	0.161	0.164	Tidak Ada Kelu-han	0.202	0.245	Tidak Ada Kelu-han	0.224	0.350	Sedi-kit Tidak Nya-man
Asphal t Road	0.160	0.304	Tidak Ada	0.190	0.370	Tidak Ada	0.200	0.520	Sedi-kit

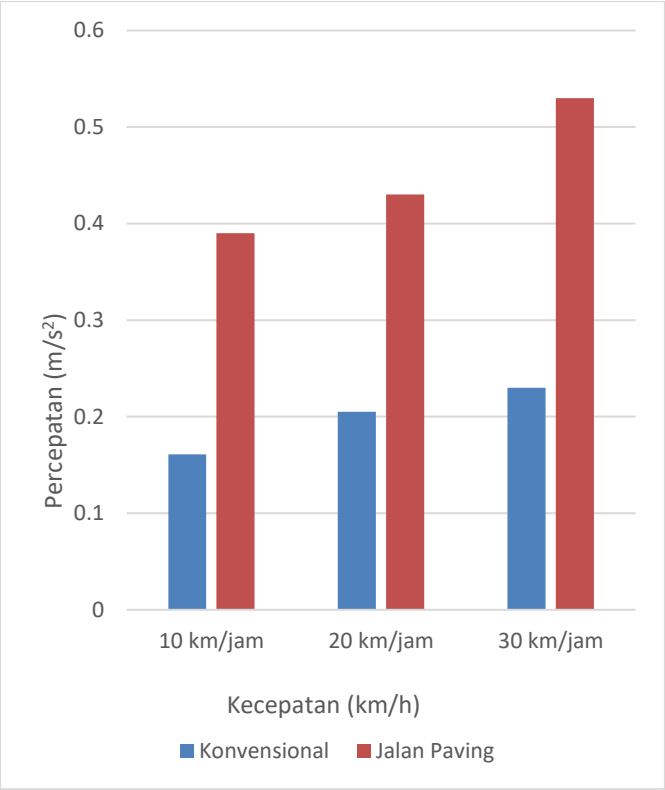
15ohm			Kelu-han			Kelu-han			Tidak Nya-man
Asphalt Road 20ohm	0.160	0.250	Tidak Ada Kelu-Han	0.190	0.370	Tidak Ada Kelu-Han	0.200	0.504	Sedi-kit Tidak Nya-man
Asphalt Road 25ohm	0.160	0.137	Tidak Ada Kelu-han	0.190	0.190	Tidak Ada Kelu-han	0.200	0.380	Tidak Ada Kelu-han



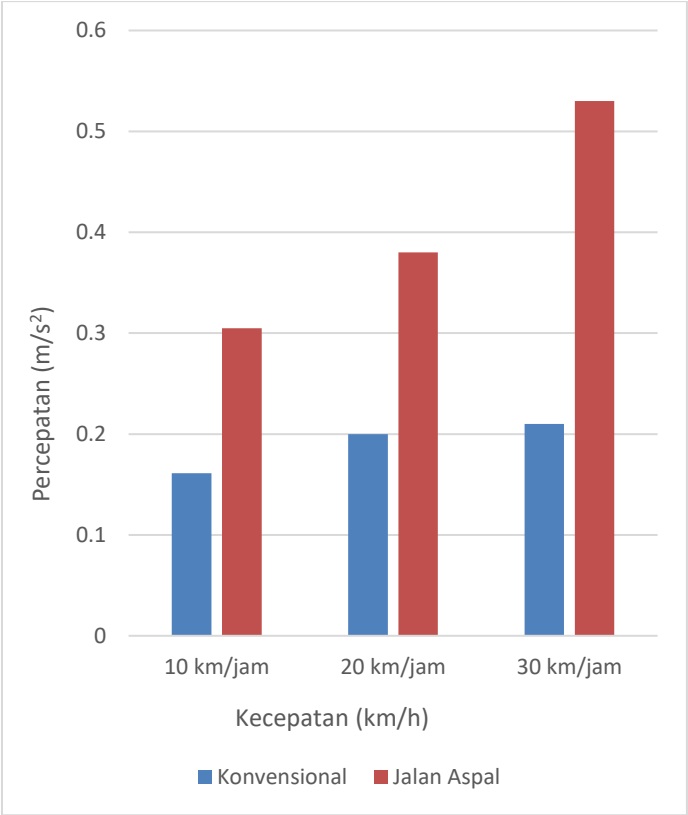
(a)


0.8
0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
Percepatan (m/s²)
5 km/jam
10 km/jam
15 km/jam
Kecepatan (km/h)
Konvensional
Polisi Tidur

(b)

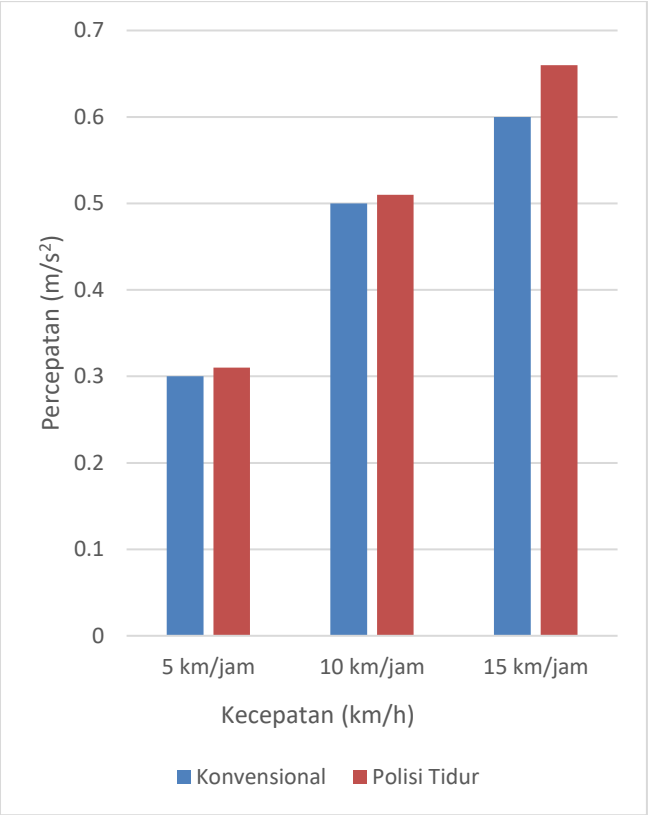

0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
Percepatan (m/s²)
10 km/jam
20 km/jam
30 km/jam
Kecepatan (km/h)
Konvensional
Jalan Paving

(c)

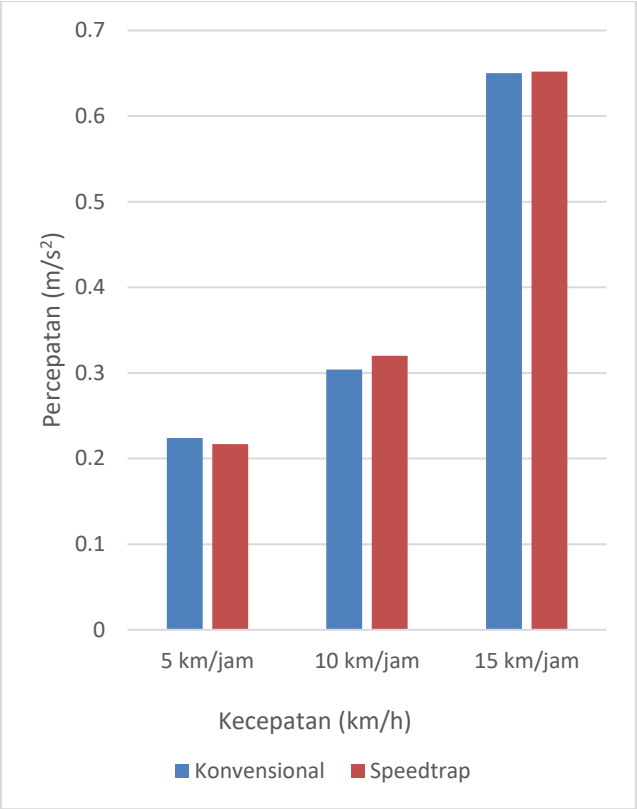


(d)

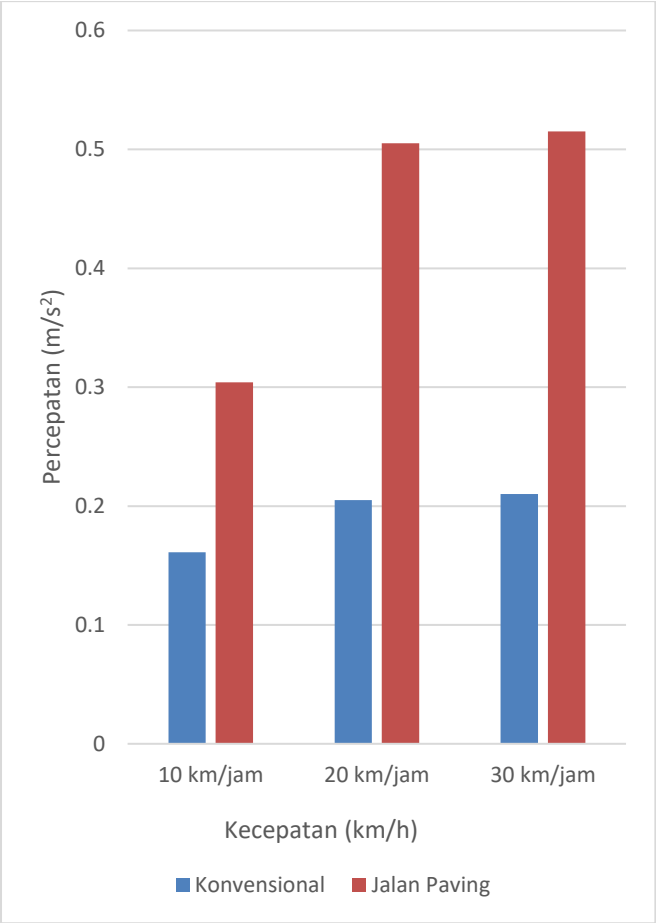
Gambar 4.35 Diagram Batang RMS (a) Percepatan melewati *Speedbump*, (b) Percepatan melewati *Speedtrap*, (c) Percepatan melewati *Paving road*, dan (d) Percepatan melewati Jalan *Asphalt road* dengan hambatan 15 Ohm


0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
Percepatan (m/s²)
5 km/jam
10 km/jam
15 km/jam
Kecepatan (km/h)
Konvensional
Polisi Tidur

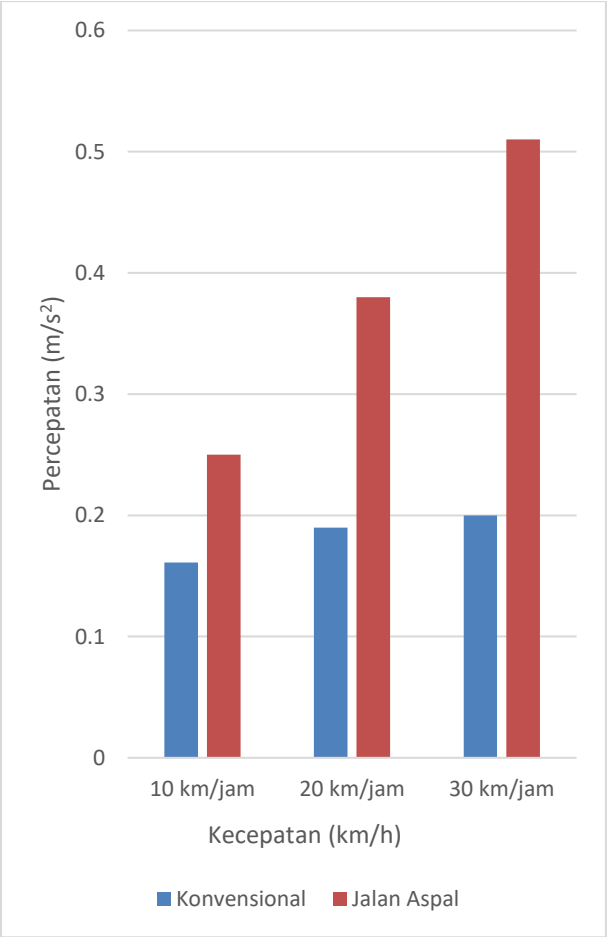
(a)


0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
Percepatan (m/s²)
5 km/jam
10 km/jam
15 km/jam
Kecepatan (km/h)
Konvensional
Speedtrap

(b)

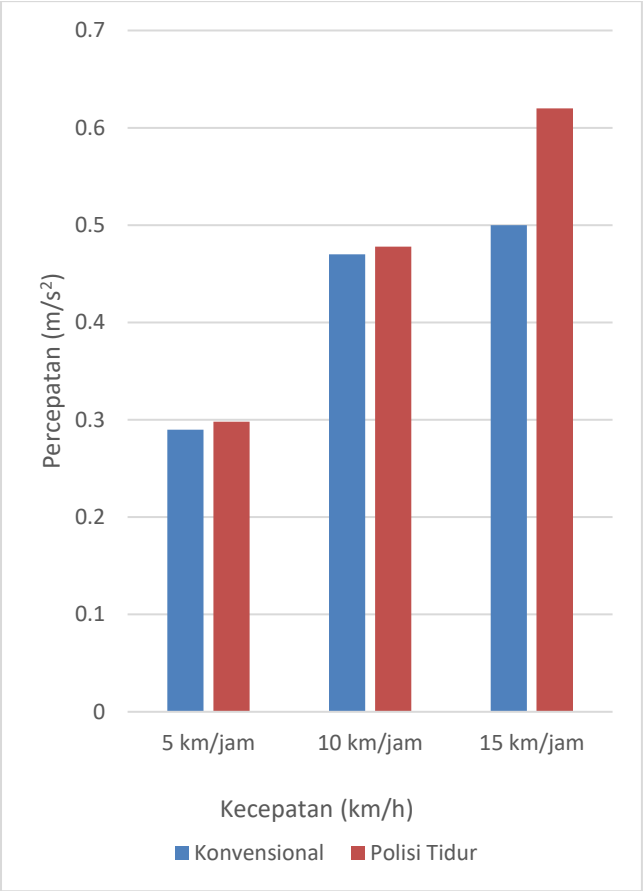

0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
Percepatan (m/s2)
10 km/jam
20 km/jam
30 km/jam
Kecepatan (km/h)
Konvensional
Jalan Paving

(c)

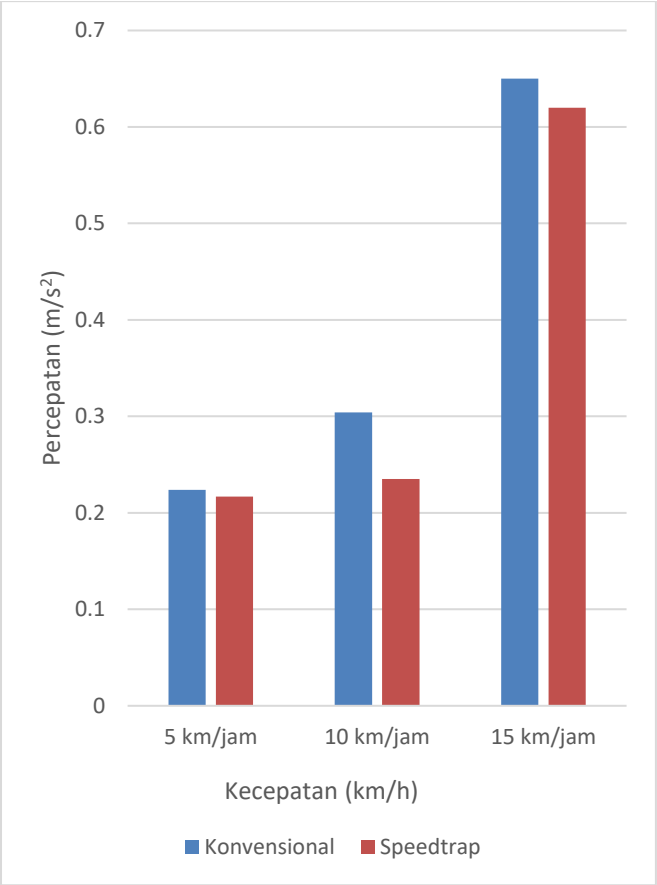


(d)

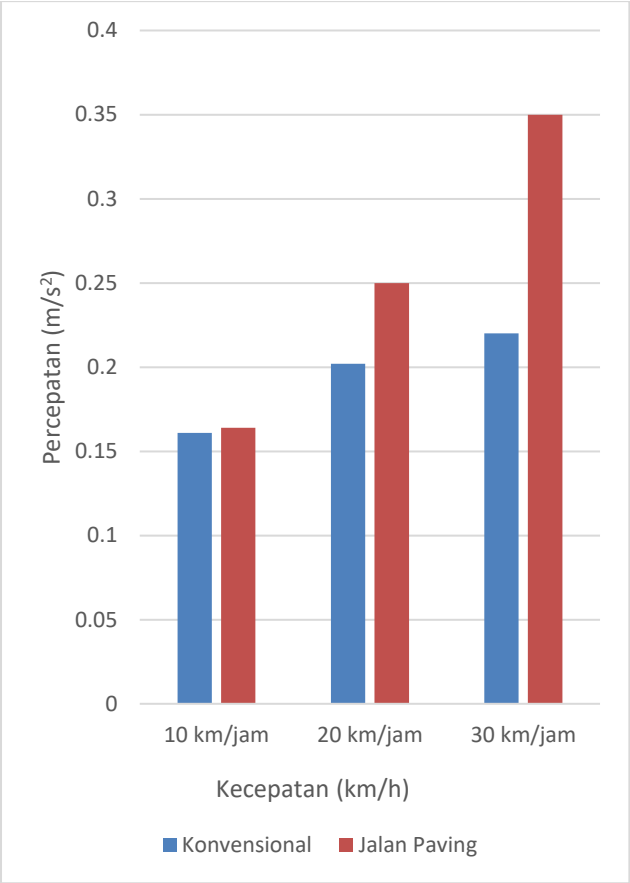
Gambar 4.36 Diagram Batang RMS (a) Percepatan melewati *Speedbump*, (b) Percepatan melewati *Speedtrap*, (c) Percepatan melewati *Paving road*, dan (d) Percepatan melewati Jalan *Asphalt road* dengan hambatan 20 Ohm


0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
Percepatan (m/s2)
5 km/jam
10 km/jam
15 km/jam
Kecepatan (km/h)
Konvensional
Polisi Tidur

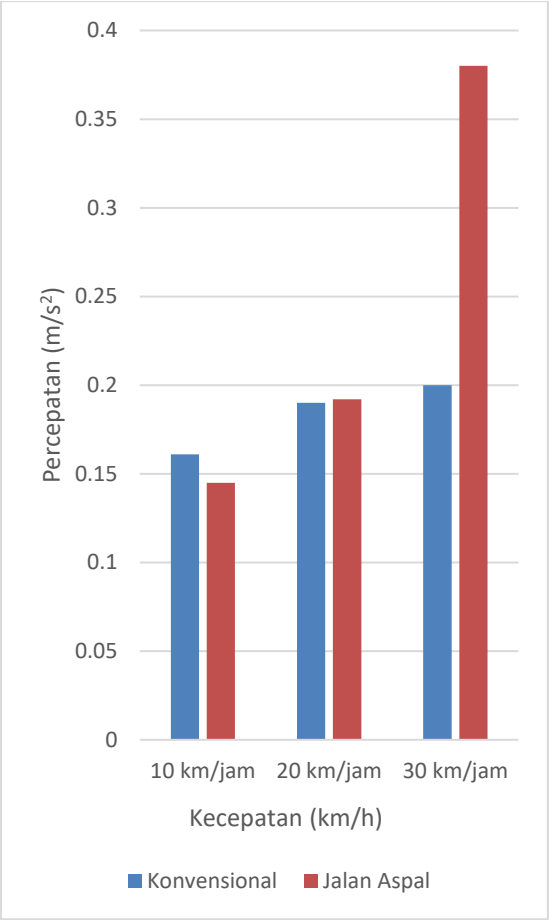
(a)


0.7
0.6
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
Percepatan (m/s²)
5 km/jam
10 km/jam
15 km/jam
Kecepatan (km/h)
Konvensional
Speedtrap

(b)


0.4
0.35
0.3
0.25
0.2
0.15
0.1
0.05
0
Percepatan (m/s²)
10 km/jam
20 km/jam
30 km/jam
Kecepatan (km/h)
Konvensional
Jalan Paving

(c)



(d)

Gambar 4.37 Diagram Batang RMS (a) Percepatan melewati *Speedbump*, (b) Percepatan melewati *Speedtrap*, (c) Percepatan melewati *Paving road*, dan (d) Percepatan melewati Jalan *Asphalt road* dengan hambatan 25 Ohm

Dari Table 4.7 dan 4.8 diatas, RMS respon percepatan terbesar RESA terjadi pada saat melewati *Speedbump* dengan kecepatan 15 km/h dengan hambatan 20 Ohm yaitu sebesar 0.637 m/s^2, sama halnya dengan *convensional shock absorber* yaitu sebesar 0.675 m/s^2 ketika melewati *Speedtrap* pada kecepatan 15 km/h.RMS percepatan pada RESA terjadi pada *Speedbump*, hal tersebut diakibatkan tingginya *bump* pada *Speedbump* yang mengakibatkan hentakan yang cukup besar pada kendaraan. Kemudian RMS respon percepatan terkecil pada RESA terjadi pada saat melewati *asphalt road* pada kecepatan 10 km/h dengan hambatan 25 Ohm yaitu sebesar 0.137 m/s^2, sama halnya dengan *convensional shock absorber* yaitu sebesar 0.160 m/s^2. Hal ini terjadi karena profil yang halus sehinga tidak terjadi getaran yang begitu berarti.

Dari Tabel 4.7, pada pengujian melalui *Speedtrap* besar percepatan RMS yang dihasilkan pada saat menggunakan RESA rata-rata memiliki percepatan yang relatif sama besar dibandingkan dengan *convensional shock absorber*. Kemudian pada pengujian melewati *Speedbump*, RESA menghasilkan RMS percepatan vertikal lebih besar dibandingkan dengan *convensional shock absorber*. RMS Percepatan RESA pada *Speedbump* dan *Speedtrap* dengan kecepatan 15 km/h pada ketiga variasi berkisar antar 0.6 m/s^2. Hal ini dikarenakan profil *paving road* dan *Speedtrap* dengan variasi kecepatan 15 km/h, sehingga RMS percepatan yang paling tinggi diantara keempat variasi jalan. Kemudian pada pengujian melewati *Speedtrap*, RMS percepatan vertical pada RESA lebih kecil daripada *convensional shock absorber*, akan tetapi selisih antara RMS percepatan RESA dengan konvensional tidak signifikan, atau dapat dikatakan relatif kecil pada variasi hambatan 25 Ohm.

Sedangkan pada Tabel 4.8, saat melewati *paving road* dan *asphalt road*, *convensional shock absorber* menghasilkan RMS percepatan vertikal yang relatif kecil. RESA menghasilkan percepatan vertikal sekitar 2 kali lebih besar dibandingkan dengan *convensional shock absorber.* Dari keempat variasi jalan tersebut, dapat dilihat bahwa kecepatan mempengaruhi besar kecilnya percepatan vertikal kendaraan, dimana semakin besar kecepatan maka percepatan vertikal kendaraan meningkat. RMS percepatan pada *paving road* kecepatan 30 km/h variasi hambatan 15 Ohm sebesar 0.526 m/s^2, jika dibandingkan dengan RMS percepatan konvensional pada *paving road* kecepatan 30 km/h sebesar 0.224 m/s^2. Jika dibandingkan RMS percepatan RESA 2 kali lebih besar, hal ini menunjukkan *convensional shock absorber* lebih nyaman dibandingkan RESA. Akan tetapi RMS percepatan RESA masih batas agak tidak nyaman (Rao, 2011). Hal tersebut sesuai dengan teori, dimana diketahui $f = v/\lambda$, 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.

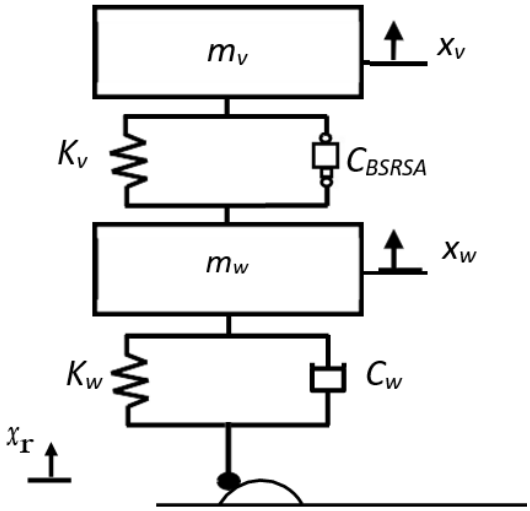
Kemudian berdasarkan Tabel 2.1 pada saat melewati *Speedtrap* untuk *convensional shock absorber* dengen kecepatan 5 km/h dan 10 km/h tidak ada keluhan sedangkan pada kecepatan 15 km/h sedikit tidak nyaman. Untuk RESA pada ketiga variasi hambatan pada kecepatan 5 km/h tidak ada keluhan. Sedangkan untuk kecepatan 10 km/h pada *Speedbump* dari ketiga variasi hambatan masuk dalam kategori sedikit tidak nyaman. Untuk *Speedtrap* pada kecepatan 5 km/h dan 10 km/h pada ketiga variasi hambatan tidak ada keluhan. Sedangkan untuk 15 km/h pada ketiga variasi hambatan agak tidak nyaman. Pada saat melewati

Speedbump untuk *conventional shock absorber* pada seluruh variasi kecepatan 5 km/h, 10 km/h, dan 15 km/h sedikit tidak nyaman, sedangkan untuk RESA kondisi kendaraan sangat tidak nyaman. Selanjutnya saat melewati *paving road* untuk *conventional shock absorber* pada seluruh kecepatan pada seluruh variasi hambatan tidak ada keluhan. Untuk RESA pada seluruh kecepatan 10 km/h dan 20 km/h kondisi kendaraan sedikit tidak nyaman. Kemudian saat melewati *asphalt road* untuk *conventional shock absorber* untuk seluruh variasi kecepatan kondisi kendaraan tidak ada keluhan sama halnya degan RESA pada seluruh variasi kecepatan.

Pada penelitian ini, sistem dinamis yang digunakan adalah seperempat kendaraan 2 DOF dengan ban. Profil jalan digambarkan sebagai setengah gelombang sinus. Profil jalan ini merepresentasikan variasi jalan pada penelitian ini. Gambar 4.38 menunjukkan pemodelan seperempat kendaraan 2 DOF yang ditunjukkan dengan persamaan 4.1. Dengan menggunakan parameter kendaraan uji pada Tabel 3.3 dimana m_1 adalah massa kendaraan, m_2 adalah massa ban, k_1 adalah koefisien pegas kendaraan, k_2 adalah koefisien kekakuan ban, dan c_2 adalah koefisien redaman ban kemudian dengan persamaan 4.2 diperoleh nilai X_1 dan X_2 sehingga didapatkan plot respon dinamis seperti pada gambar 4.38. Persamaan 4.2 menunjukkan bahwa nilai amplitudo vibrasi dari massa utama merupakan fungsi dari μ, f, g, dan ζ. Berdasarkan respon gerak pada persamaan diatas dapat dibentuk grafik hubungan antara rasio amplitudo respon terhadap defleksi statis sistem utama dengan rasio frekuensi operasional terhadap frekuensi natural sistem. (Rao, 2011)

Berdasarkan Gambar 4.39 terlihat hubungan antara variasi kecepatan dengan respon percepatan vertikal. Pada grafik terlihat bahwa ketika kecepatan meningkat hingga 80 km/h. Pada

kecepatan 80 km/h amplitude sama dengan frekuensi natural dimana hal tersebut adalah titik dimana percepatan vertikal akan terus bertambah seiring pertambahan kecepatan. Kemudian, ketika kecepatan telah melewati amplitudo, percepatan vertikal mulai menurun seiring pertambahan kecepatan sehingga kendaraan semakin nyaman, hal itu disebabkan karena telah melewati frekuensi natural. Dalam pengujian variasi yang digunakan adalah kecepatan 5 km/h, 10 km/h, 15 km/h, 20 km/h, dan 30 km/h, pada kecepatan tersebut nilai percepatan vertikal akan semakin tinggi seiring pertambahan kecepatan, hal itu sesuai dengan pengujian pada variasi jalan dan variasi kecepatan, dimana baik RESA maupun *convensional shock absorber*, nilai percepatan vertikal pada Toyota Avanza meningkat seiring pertambahan kecepatan pada setiap variasi medan pengujian.

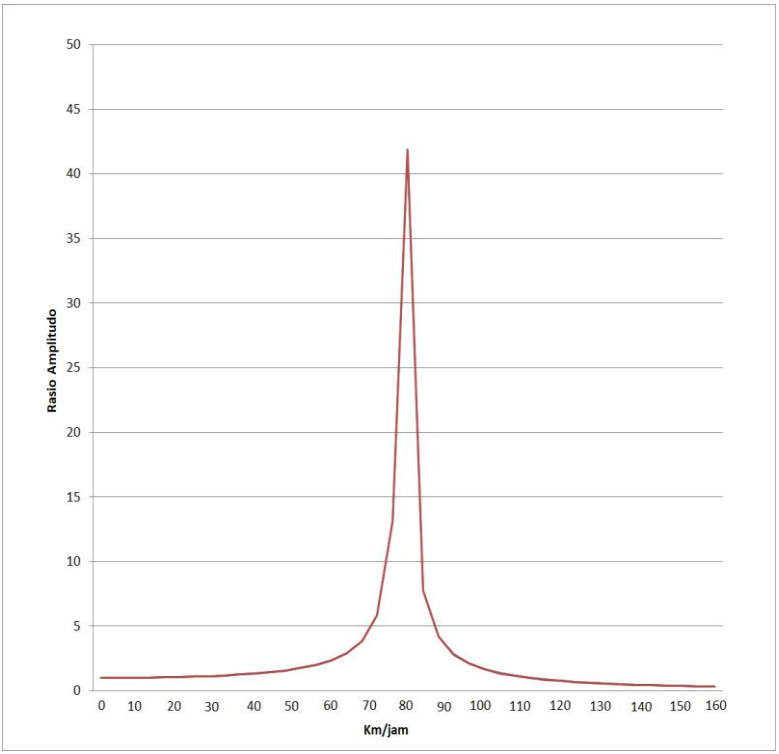


Gambar 4.38 Model Seperempat Kendaraan 2 DOF

$$m_1\ddot{x}_1+k_1x_1+k_2(x_1-x_2)+c_2(\dot{x}_1-\dot{x}_2) = F_0 sin\omega t \qquad (1)$$
$$m_2\ddot{x}_2+k_2(x_2-x_1)+c_2(\dot{x}_2-\dot{x}_1) = 0$$

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

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



Gambar 4.39 Grafik Frekuensi Natural Toyota Avanza

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

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

1. Dikembangkannya prototip RESA dengan mekanisme *Ball Screw* yang diaplikasikan di mobil berpenumpang, Toyota Avanza yang dapat menyerap energi geteran akibat profil jalan dirubah menjadi energi bangkitan berupa daya bangkitan
2. Tegangan bangkitan maksimum dihasilkan sebesar 18.56 V, pada saat melewati *Speedbump* dengan kecepatan 15 km/h hambatan 25 Ohm. RMS tegangan paling tinggi dihasilkan saat melalui *paving road* dengan kecepatan 30 km/h dengan hambatan 20 Ohm sebesar 10.33 V. Untuk RMS tegangan paling kecil dihasilkan pada saat melalui *asphalt road* dengan kecepatan 10 km/h hambatan 25 Ohm sebesar 0.778 V
3. Daya Bangkitan maksimum didapatkan sebesar 13.78 W pada saat melewati *Speedbump* dengan kecepatan 15 km/h hambatan 25 Ohm. RMS daya bangkitan paling tinggi dihasilkan saat melalui *paving road* dengan kecepatan 30 km/h dengan hambatan 20 Ohm sebesar 5.34 W. Untuk RMS daya paling kecil dihasilkan pada saat melalui *asphalt road* dengan kecepatan 10 km/h hambatan 25 Ohm sebesar 0.038 W
4. Percepatan vertikal untuk *convensional shock absorber* terjadi pada saat melalui *Speedtrap* dengan kecepatan 15 km/h yaitu sebesar 0.675 m/s^2, untuk RESA pada *Speedtrap* dengan kecepatan 15 km/h dengan hambatan 15

Ohm. RMS percepatan vertical sebesar 0.637 m/s^2 pada saat melalui *Speedbump* pada kecepatan 15 km/h dengan hambatan 20 ohm. Untuk RMS percepatan terkecil RESA terjadi pada saat melewati *asphalt road* dengan kecepatan 10 km/h dengan hambatan 25 Ohm yaitu sebesar 0.137 m/s^2 dan untuk *convensional shock absorber* sebesar 0.160 m/s^2 pada kecepatan 10 km/h di *asphalt road*.

5. Berdasarkan kategori kenyamanan kendaraan (Rao, 2011), RESA saat diaplikasikan pada Toyota Avanza, untuk profil jalan bergelombang dalam kategori ‘Agak Tidak Nyaman” dan untuk profil *asphalt road* “Sedikit tidak Nyaman”.

5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian RESA selanjutnya adalah

1. Melakukan pengukuran dan perhitungan dimensi ruang (space) yang tersedia pada tempat pengaplikasian RESA lebih akurat.
2. Melakukan pengukuran secara akurat setiap komponen yang digunakan dalam RESA
3. Proses fabrikasi yang lebih akurat dan presisi, disarankan menggunakan mesin CNC dalam proses fabrikasi.
4. Memperkecil dimensi RESA agar lebih mudah diaplikasikan, memperpanjang screw agar stroke yang dimiliki lebih Panjang

DAFTAR PUSTAKA

Baqarizky, Fridam Amruloh. (2017). Desain dan Analisa Sistem Suspensi Mobil Multiguna Pedesaan Menggunakan Peredam Magnetorheological Dengan Standar Kenyamanan ISO 2631. Surabaya: Teknik Mesin ITS

Gunawan, Firdaus. (2014). Analisa Sistem Kerusakan Sistem Suspensi Depan pada Kendaraan Niaga Chevrolet Lova. Surakarta: Teknik Mesin UNS

Hendrowati, W & Laksana Guntur, H. (2012). Analisa Energi Terdisipasi Pada Shock Absorber Mobil Perkotaan Akibat Beban Harmonik. Seminar Nasional Teknik Mesin

Irvanda, Oktavian. (2019). Analisa dan Development Kestabilan Kemampuan Sistem Suspensi pada Mitsubishi Lancer SL. Yogyakarta: Teknik Mesin UMY

Isuzu Training Centre. (2000). Modul Isuzu Training Centre. Bekasi: Astra International

Jin-qiu, Z., et al. (2013). *A review on energy-regenerative suspension systems for vehicles*. Proceedings of the World Congress on Engineering.

Kireev A.V., et al. (2017). *Regenerative Shock Absorber in the Vehicle Suspension System*. International Journal of Applied Engineering Volume 12 Number 22

Kireev, A.V., N.M. Kozhemyaka, A.S. Burdugov, S.V. Nazarenko and A.V. Klimov. (2016). *Review on electromagnetic energy-regenerative shock absorbers*. Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 11, pp: 2551-2556.

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

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

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

Majanasastra, R. Bagus Suyasa. 2014. Analisis Shock Absorber Roda Depan Kendaraan Roda Empat Jenis Suzuki Carry 1000. Jurnal Ilmiah Teknik Mesin, Vol. 2, No. 1, hal. 1-16.

Maravandi, Amir. (2015). *Design and Implementation of Regenerative Shock Absorber*. Canada: Simon Fraser University

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

Priyanto, Sakti. (2020). Rancang Bangun Sistem Suspensi Model Ball Screw dengan Spur Gear Pada Regenerative Shock Absorber (RSA) Kendaraan Pick Up. Surabaya: Teknik Mesin ITS

Putra, Angga Ramadana. (2016). Desain dan Analisa Sistem Suspensi Mobil Produksi Multiguna Pedesaan dengan Standar Kenyamanan ISO 2631. Surabaya: Teknik Mesin ITS

Putra, Ilham Ardiansyah & Laksana Guntur, H. (2014). Studi Eksperimen Karakteristik Suspensi dan Energi Bangkitan pada

HEMSA (*Hydraulic Electro Mechanic Shock Absorber*) Selang Ganda Rasio Diameter Silinder 40mm:40mm Dengan Varias Pembebanan Lampu. Surabaya: Teknik Mesin ITS

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

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

Satrio, Djoeli., Herbangun, Dwi & Cahyadi Ade. (2010). Pengembangan Simulasi Untuk Studi Awal Analisa Ride Pada Kendaraan Niaga Dengan Menggunakan Metode Elemen Hingga. Semarang: Teknik Mesin Universitas Diponegoro

Wang, R., et al. (2016). *Modelling, testing and analysis of a regenerative hydraulic shock absorber system.* Energies, 2016. 9(5): page 386

Wang, Ruichen., et al. (2014). *Modelling and Validation of a Regenerative Shock Absorber*. International Conference Automation and Computing Bedforshire UK

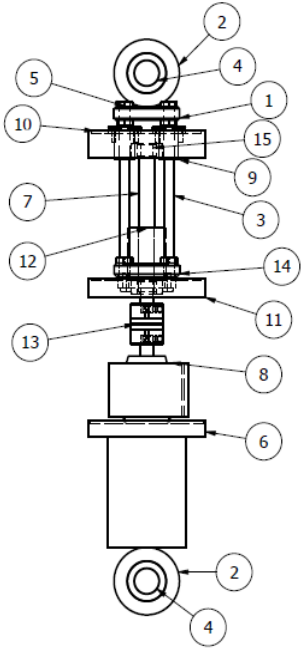
Wang, Zhanwen., et al. (2020) *A high-efficiency Regenerative Shock Absorber considering twin ball screws transmissions for application in range-extended electric vehicles*. Energy and Built Environment 1 2020 page 36-49

Wirabrata, Achmad. (2019). Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik di Indonesia. Jakarta: Pusat Penelitian Badan Keahlian DPR RI

Zhang, Ran., Wang, Xu & John, Sabu. (2018). *A Comprehensive Review of the Techniques on Regenerative Shock Absorber Systems*. Australia: School of Engineering RMIT University

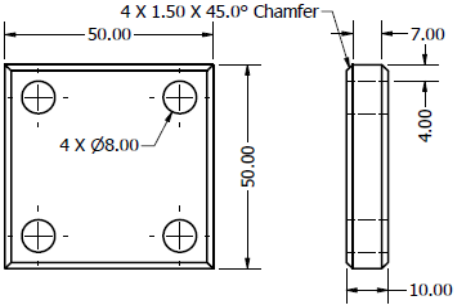
(Halaman ini sengaja dikosongkan)

LAMPIRAN 1

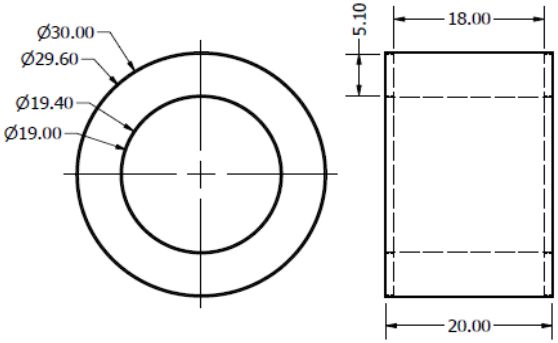


NO.	JUMLAH	NAMA	BAHAN	NORMALISASI	KETERANGAN
15	2	Thrust Bearing			
14	1	Ball Screw Nut Connector			
13	1	Flexible Coupling			
12	1	Ball Screw Nut			
11	1	Cover Plate middle			
10	1	Cover Plate atas			
9	1	Linear Bearing			
8	1	Generator 60 x 60 mm			
7	1	Screw			
6	1	Cover Plate bawah			
5	12	Nut M8			
4	2	Rubber Bushing			
3	4	Shaft			
2	2	Bushing Shock			
1	1	Shaft Connector			

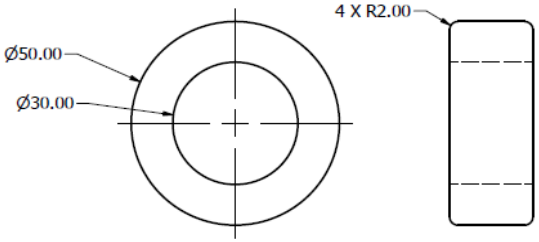
Kekasaran Permukaan dalam µm	Toleransi Ukuran dalam µm		
	Skala : 1 : 3	Digambar :	PERINGATAN :
	Satuan Ukuran : mm	Kelas :	
	Tanggal : 05 Maret	Dilihat :	
TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER		Assembly Shock Absorber	No. 1 A4



Detail Gambar 1

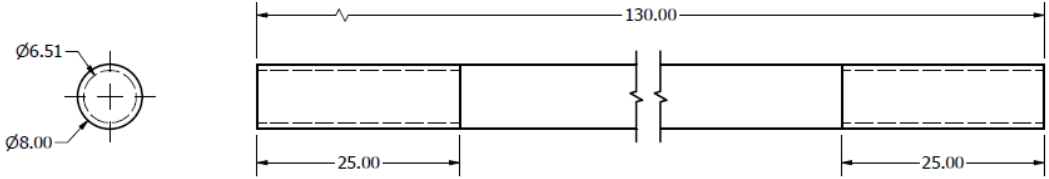


Detail Gambar 4

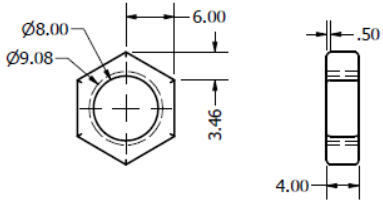


Detail Gambar 2

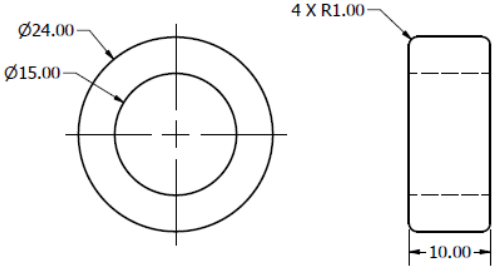
Skala : 1 : 1	Digambar :	Keterangan :	
Ukuran : mm	Kelas :		
Tanggal : 08 Maret	Dilihat :		
TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Detail Gambar 1,2,4	No. 2	A4



Detail Gambar 3

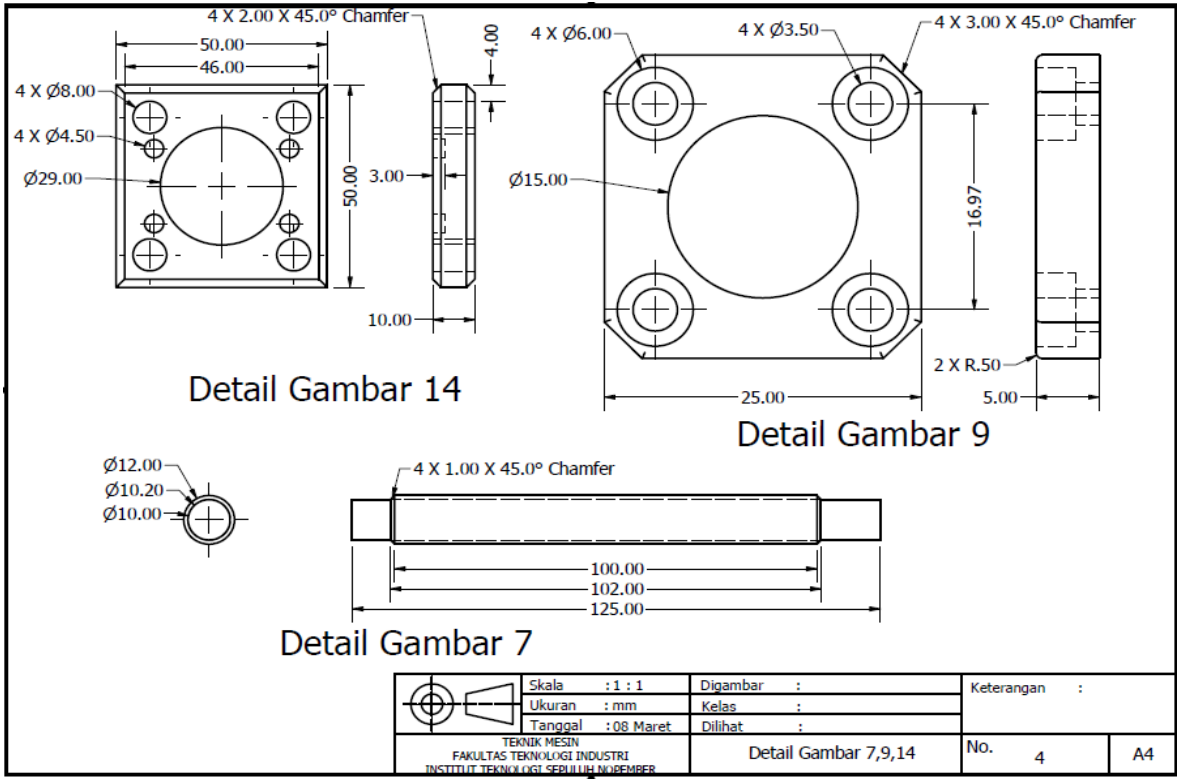


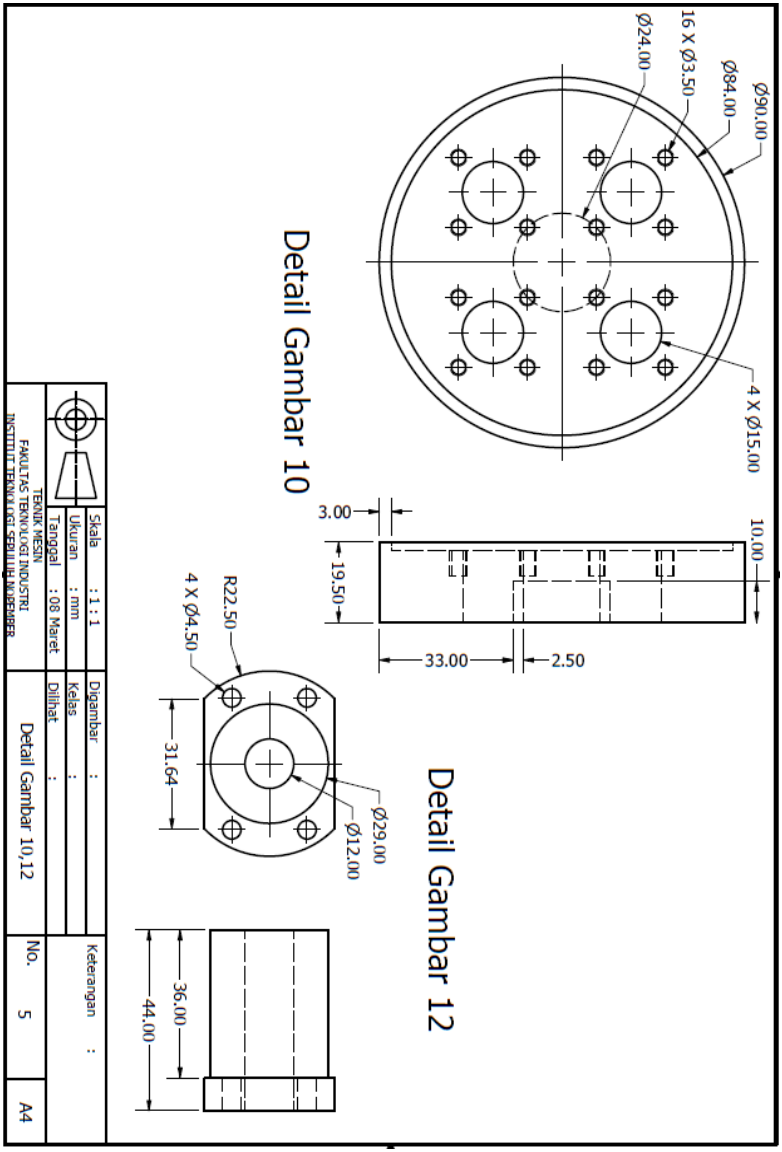
Detail Gambar 5

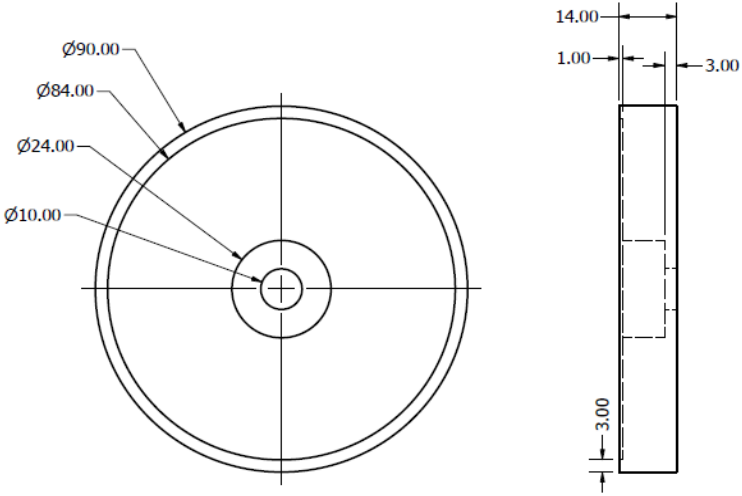


Detail Gambar 15

Skala : 2 : 1	Digambar :	Keterangan :	
Ukuran : mm	Kelas :		
Tanggal : 08 Maret	Dilihat :		
TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Detail Gambar 3,5,15	No. 3	A4

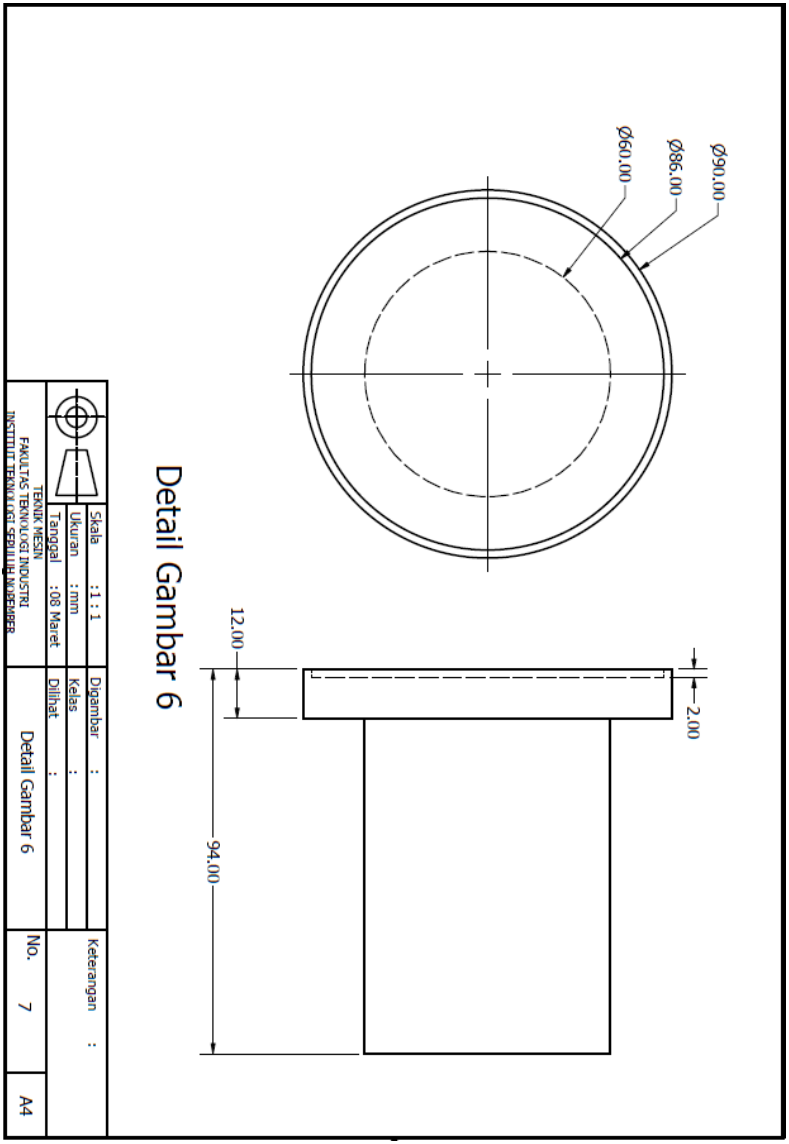

4 X 2.00 X 45.0° Chamfer
50.00
46.00
4 X Ø8.00
4 X Ø4.50
Ø29.00
50.00
3.00
4.00
10.00
Detail Gambar 14
4 X Ø6.00
4 X Ø3.50
4 X 3.00 X 45.0° Chamfer
Ø15.00
16.97
2 X R.50
25.00
5.00
Detail Gambar 9
Ø12.00
Ø10.20
Ø10.00
4 X 1.00 X 45.0° Chamfer
100.00
102.00
125.00
Detail Gambar 7
Skala : 1 : 1
Ukuran : mm
Tanggal : 08 Maret
Digambar :
Kelas :
Dilihat :
Keterangan :
TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Detail Gambar 7,9,14
No. 4
A4


Ø90.00
Ø84.00
16 X Ø3.50
Ø24.00
4 X Ø15.00
10.00
3.00
19.50
33.00
2.50
Detail Gambar 10
R22.50
4 X Ø4.50
31.64
Ø29.00
Ø12.00
36.00
44.00
Detail Gambar 12
Skala : 1 : 1
Ukuran : mm
Tanggal : 08 Maret
Digambar :
Kelas :
Dilihat :
Keterangan :
TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Detail Gambar 10,12
No. 5
A4

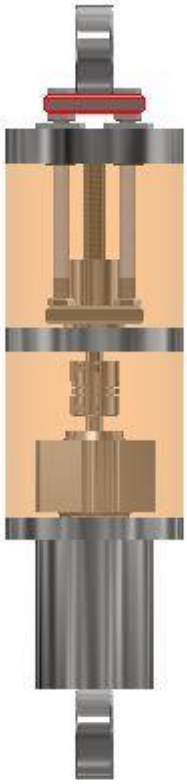


Detail Gambar 11

Skala : 1 : 1	Digambar :	Keterangan :	
Ukuran : mm	Kelas :		
Tanggal : 08 Maret	Dilihat :		
TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER	Detail Gambar 11	No. 6	A4


Ø90.00
Ø86.00
Ø60.00
2.00
12.00
94.00
Detail Gambar 6
Skala :1 : 1
Ukuran : mm
Tanggal :08 Maret
Digambar :
Kelas :
Dilihat :
Keterangan :
TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
Detail Gambar 6
No. 7
A4

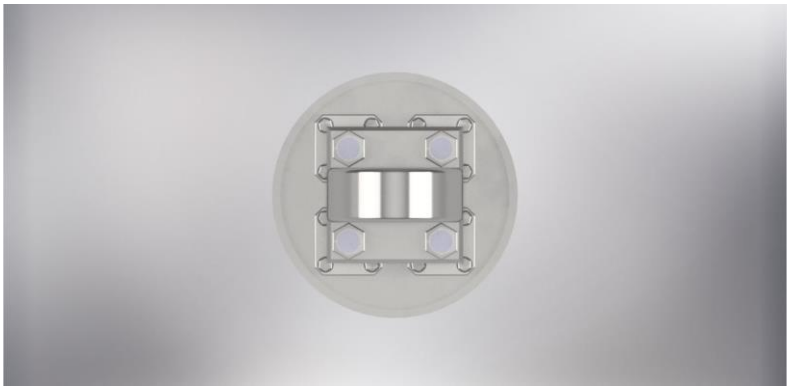
LAMPIRAN 2



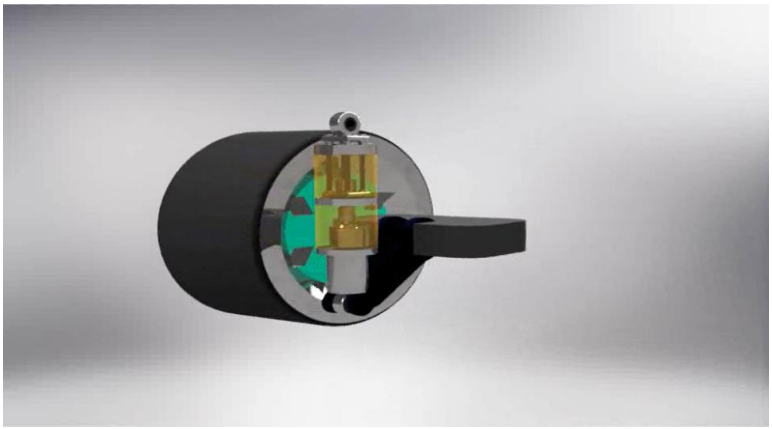
Gambar 1 Tampak 3D RESA Keseluruhan

Gambar 2 Tampak *Isometric* 3D RESA

Gambar 3 Tampak 3D Depan RESA



Gambar 4 Tampak 3D Atas RESA



Gambar 5 Tampak 3D RESA Terpasang

BIODATA PENULIS

Aldien Yogha Pratama atau biasa dipanggil Aldien atau Lek Ban, lahir di Malang, 1 Oktober 1996. Putra pertama dari Bapak Ir. Didik Oktariyanto dan Ibu Dra. Dwi Raya Prihastoeti. Penulis telah menempuh pendidikan formal di SDN Tisnonegaran I Kota Probolinggo pada tahun 2003-2009, SMP Negeri 1 Probolinggo pada tahun 2009-2012, SMA Negeri 3 Malang pada tahun 2012-2015. Setelah lulus dari SMA Negeri 3 Malang, penulis mengikuti SNMPTN dan diterima di Departemen Teknik Mesin FTI-ITS Surabaya pada tahun 2015 dan terdaftar dengan NRP 02111540000052.

Penulis aktif dalam kegiatan akademik maupun non akademik selama perkuliahan. Penulis pernah menjadi asisten praktikum Motor Pembakaran Dalam dan asisten praktikum Mekanika Getaran. Selain itu, untuk mengisi kegiatan non akademik pada tahun ke-2 perkuliahan, penulis aktif menjadi staf Divisi External INDOCOR SC ITS 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 *vendor clothing*. Semua informasi dan masukan terkait tugas akhir ini, dapat menghubungi penulis melalui email aldhien3@gmail.com