

TUGAS AKHIR - TM184835

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI POSISI SUSPENSII
TERHADAP KINERJA *REGENERATIVE SWING ARM* PADA
*E-SCOOTER VOLTA 302***

SAVINTO ALIEF KHAIRANDY
02111740000152

Dosen Pembimbing
Prof. Dr. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng
NIP 197505111999031001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2022



TUGAS AKHIR - TM184835

**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI POSISI
SUSPENSI TERHADAP KINERJA *REGENERATIVE SWING*
ARM PADA *E-SCOOTER VOLTA 302***

Savinto Alief Khairandy
NRP 02111740000152

Dosen Pembimbing
Prof. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng., Dr. Eng.
NIP 197505111999031001

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022



FINAL PROJECT - TM184835

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF VARIATION
OF SUSPENSION POSITION ON REGENERATIVE SWING
ARM PERFORMANCE ON E-SCOOTER VOLTA 302**

Savinto Alief Khairandy
NRP 02111740000152

Academic Advisor
Prof. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng., Dr. Eng.
NIP 197505111999031001

DEPARTMENT OF MECHANICAL ENGINEERING
Faculty of Industrial and Systems Engineering
Sepuluh Nopember Institute of Technology
Surabaya
2022

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI POSISI SUSPENSI TERHADAP KINERJA *REGENERATIVE SWING ARM* PADA *E-SCOOTER VOLTA 302*

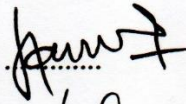



TUGAS AKHIR

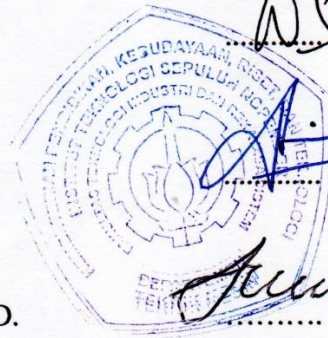
Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada
Program Studi S-1 Teknik Mesin
Departemen Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Savinto Alief Khairandy
NRP. 02111740000152

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

- | | | |
|--|---|------------|
| 1. Prof. Dr. Eng. Harus Laksana Guntur S.T., M. Eng. |  | Pembimbing |
| 2. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T. |  | Penguji |
| 3. Aida Annisa Amin Daman, S.T., M.T. |  | Penguji |
| 4. Prof. Ir. Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D. |  | Penguji |



SURABAYA
Juli, 2022

APPROVAL SHEET

EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF VARIATION OF SUSPENSION POSITION ON REGENERATIVE SWING ARM PERFORMANCE ON E-SCOOTER VOLTA 302

FINAL PROJECT

Submitted to fulfill one of the requirements for obtaining
a degree Bachelor of Engineering at Undergraduate
Study Program of Mechanical Engineering
Department of Mechanical Engineering
Faculty of Industrial Technology and Systems
Engineering Sepuluh Nopember Institute of Technology

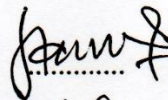
By :

Savinto Alief Khairandy

NRP. 02111740000152

Approved by Final Project Examiner Team :

1. Prof. Dr. Eng. Harus Laksana Guntur S.T., M. Eng.



Advisor

2. Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T.



Examiner

3. Aida Annisa Amin Daman, S.T., M.T.



Examiner

4. Prof. Ir. Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D.



Examiner

SURABAYA

July

PERNYATAAN ORISINALITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama mahasiswa / NRP : Savinto Alief Khairandy / 02111740000152
Departemen : Teknik Mesin
Dosen Pembimbing / NIP : Prof. Dr. Harus Laksana Guntur S.T., M. Eng./
197505111999031001

dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “**STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI POSISI SUSPENSI TERHADAP KINERJA *REGENERATIVE SWING ARM* PADA *E-SCOOTER VOLTA 302*” adalah hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan ditulis dengan mengikuti kaidah penulisan ilmiah.**

Bilamana di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan yang berlaku di Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Mengetahui
Dosen Pembimbing



(Prof. Dr. Harus Laksana Guntur S.T., M. Eng.)
NIP. 197505111999031001

Surabaya, 29 Juli 2022

Mahasiswa,



(Savinto Alief Khairandy)
NRP. 02111740000152

STATEMENT OF ORIGINALITY

The undersigned below:

Name of student / NRP : Savinto Alief Khairandy / 02111740000152
Department : Mechanical Engineering
Advisor / NIP : Prof. Dr. Harus Laksana Guntur S.T., M. Eng./
197505111999031001

hereby declare that the Final Project with the title of **“EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF VARIATION OF SUSPENSION POSITION ON REGENERATIVE SWING ARM PERFORMANCE ON E-SCOOTER VOLTA 302”** is the result of my own work, is original, and is written by following the rules of scientific writing.

If in the future there is a discrepancy with this statement, then I am willing to accept sanctions in accordance with the provisions that apply at Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Surabaya, July 29th 2022

Acknowledged
Advisor



(Prof. Dr. Harus Laksana Guntur S.T., M. Eng.)
NIP. 197505111999031001

Student

(Savinto Alief Khairandy)
NRP. 02111740000152

STUDI EKSPERIMEN PENGARUH VARIASI POSISI SUSPENSİ TERHADAP KINERJA REGENERATIVE SWING ARM PADA E-SCOOTER VOLTA 302

Nama Mahasiswa / NRP : Savinto Alief Khairandy / 02111740000152
Departemen : Teknik Mesin FTIRS – ITS
Dosen Pembimbing : Prof. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng., Dr. Eng.

ABSTRAK

Regenerative Swing Arm (RSA) merupakan sistem suspensi regeneratif yang ditujukan untuk kendaraan listrik roda dua (*e-scooter*) yang memanfaatkan energi buangan dari getaran lengan ayun. Perlu diketahui bagaimana hubungan antara parameter rancang bangun pemasangan RSA terhadap kinerjanya.

Pada penelitian ini, dilakukan eksperimen untuk mengetahui pengaruh variasi posisi suspensi dari RSA pada pemasangan di skuter listrik VOLTA 302 terhadap energi bangkitan yang dihasilkan dan kenyamanan berkendara. Penelitian diawali dengan menambahkan 3 buah bantalan bawah peredam kejut pada RSA sebagai variasi posisi suspensi dengan jarak antar pusat bantalan sebesar 5 cm. Kemudian dilakukan pemasangan RSA pada *e-scooter* VOLTA 302. Dilakukan uji jalan melewati polisi tidur pada jalan paving blok dengan kecepatan 25 km/h dan dikendarai oleh 1 orang dengan massa 80 kg. Selama uji jalan, dilakukan pengukuran tegangan bangkitan RSA dan juga pengukuran percepatan vertikal pada bagian bawah jok pada posisi di bawah tulang duduk pengendara menggunakan akselerometer untuk mengetahui tingkat kenyamanan berkendara. Analisis kenyamanan dilakukan berdasarkan nilai akar-akar kuadrat (*Root Mean Square/RMS*) dari percepatan vertikal hasil pengukuran menggunakan standar kenyamanan ISO 2631.

Telah dilakukan rancang bangun pemasangan *Regenerative Swing Arm* (RSA) pada *e-scooter* VOLTA 302 yang dapat menyerap energi saat siklus kompresi maupun ekspansi sehingga dapat menghasilkan energi bangkitan yang lebih berkelanjutan. *Regenerative Swing Arm* (RSA) pada skuter listrik VOLTA 302 mampu menghasilkan tegangan maksimum pada variasi posisi suspensi A saat melalui polisi tidur pada kecepatan 25 km/h sebesar 57,589 mV dengan daya bangkitan maksimum sebesar 551,9 μ W. Lalu untuk nilai tegangan pada posisi suspensi B sebesar 53,797 mV dengan daya bangkitan sebesar 285,7 μ W dan untuk nilai tegangan pada posisi suspensi C sebesar 32,75 mV dengan daya bangkitan sebesar 152,1 μ W. Berdasarkan respon percepatan vertikal, semakin kecil sudut suspensi RSA, maka semakin baik

tingkat kenyamanan berkendara karena percepatan vertikal kendaraan menjadi semakin kecil. Namun, pada semua variasi posisi suspensi yang diberikan yaitu posisi A dengan sudut 90° , posisi B dengan sudut $66,24^\circ$, dan posisi C dengan sudut $61,8^\circ$, tidak ada keluhan kenyamanan karena nilai RMS percepatan vertikalnya jauh di bawah $0,315 \text{ m/s}^2$ yang merupakan batas kategori “tidak ada keluhan” sehingga semua variasi posisi baik untuk digunakan menurut standar ISO 2631.

Kata kunci : *Regenerative swing arm*, suspensi regeneratif, *e-scooter*, posisi suspensi, energi, getaran, kenyamanan, ISO 2631

**EXPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF VARIATION OF SUSPENSION
POSITION ON REGENERATIVE SWING ARM PERFORMANCE ON E-SCOOTER
VOLTA 302**

Student name / NRP : Savinto Alief Khairandy / 02111740000152
Department : Mechanical Engineering FTIRS – ITS
Advisor : Prof. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng., Dr. Eng.

ABSTRACT

Regenerative Swing Arm (RSA) is a regenerative suspension system intended for two-wheeled electric vehicles (e-scooters) that utilizes the energy released from the swing arm vibration. It is necessary to know how the relationship between the design parameters of the RSA installation and its performance.

In this study, an experiment was conducted to determine the effect of variations in the suspension position of the RSA on the installation of the VOLTA 302 electric scooter on the generated energy and driving comfort. The study began by adding 3 shock absorbers under the RSA as a variation of the suspension position with a distance between the centers of the bearings of 5 cm. Then the RSA was installed on the VOLTA 302 e-scooter. A road test was carried out through speed bumps on a paving block road at a speed of 25 km/h and driven by 1 person with a mass of 80 kg. During the road test, the RSA generation voltage was measured as well as the vertical acceleration measurement at the bottom of the seat at the position below the rider's spine using an accelerometer to determine the level of driving comfort. Comfort analysis was carried out based on the value of the square roots (Root Mean Square/RMS) of the vertical acceleration measured using the ISO 2631 comfort standard.

The design of the installation of the Regenerative Swing Arm (RSA) on the VOLTA 302 e-scooter has been carried out which can absorb energy during compression and expansion cycles so that it can produce more sustainable energy generation. The Regenerative Swing Arm (RSA) on the VOLTA 302 electric scooter is capable of producing a maximum voltage at the variation of the suspension position A when passing through speed bumps at 25 km/h of 57,589 mV with a maximum generation power of 551.9 μ W. Then for the value of the voltage at the suspension position B of 53.797 mV with a generation power of 285.7 μ W and for the value of the voltage at the suspension position C of 32.75 mV with a generation power of 152.1 μ W.

Based on the vertical acceleration response, the smaller the RSA suspension angle, the better the level of driving comfort because the vertical acceleration of the vehicle becomes smaller. However, in all variations of the suspension position given, namely position A with an angle of 90°, position B with an angle of 66.24°, and position C with an angle of 61.8°, there are no comfort complaints because the RMS value of vertical acceleration is far below the 0.315 m/s² which is the limit of the “no complaints” category so that all position variations are good to use according to the ISO 2631 standard.

Keywords : *Regenerative swing arm, regenerative suspension, e-scooter, suspension position, energy, vibration, comfort, ISO 2631*

KATA PENGANTAR

Puji syukur dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang senantiasa melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Posisi Suspensi Terhadap Kinerja Regenerative Swing Arm Pada E-Scooter Volta 302**”. Tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah memenuhi syarat kelulusan Program Studi Sarjana pada Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis banyak memperoleh bantuan dan kerjasama dari berbagai pihak sehingga tugas akhir ini dapat terlaksana dengan baik. Untuk itu dalam kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terimakasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada :

1. Allah SWT., yang selalu hadir dalam memberikan petunjuk, kelancaran, kemudahan, kekuatan, kesehatan, dan segala karunia-Nya kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik dan berkah.
2. H. Sulistyio Utomo dan Hj. Noorvina Indriani, selaku orang tua penulis yang selalu memberikan doa, restu, nasihat, motivasi, dan segala yang terbaik untuk putranya, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan baik.
3. Ananta Dwika Rahmandy, yaitu adik kandung penulis yang selalu memberikan dukungan, doa, dan menghibur penulis, sehingga penulis dapat semangat dan terhibur selama mengerjakan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Prof. Dr. Harus Laksana Guntur, S.T., M.Eng., selaku dosen pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan waktu, tenaga, pikiran, dan tempat agar dapat memberikan bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Ibu Dr. Wiwiek Hendrowati, S.T., M.T., Ibu Aida Annisa Amin Daman, S.T., M.T., dan Bapak Prof. Ir. I Nyoman Sutantra, M.Sc., Ph.D., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik dan sarannya untuk tugas akhir ini.
6. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin FTI-RS Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang telah memberikan banyak ilmu yang berkaitan dengan laporan Tugas Akhir ini, sehingga ilmu dan pengetahuan yang diberikan ibu dan bapak dosen sangat bermanfaat dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.
7. Firyal Faadhila Herdiansyah, selaku orang yang selalu memberikan dukungan, menemani penulis, memberikan pendapat, bantuan, selalu mendengarkan keluh kesah yang penulis rasakan dan memberikan saran yang terbaik kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
8. Kavin Biridho, Bernardus Herdian Arveliko, M. Haekal Shafi, Wafi Dwiyo, Emir Reza, Daffa Rafsanjani, Faishal Daffa Prayudha, Haryo TAP, Gianardo Satria P., M. Ikbar Rizkianto, Aqlyfine Arif, Arvian Risyady, dan Brilliant Naufal, selaku teman-teman penulis yang telah memberikan semangat, saran, bantuan, dukungan, dan doa kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.
9. Semua warga Laboratorium Rekayasa Vibrasi dan Sistem Otomotif : Kibar, Gracia, Alfien, Farrel, dan Probo yang telah membantu proses pengerjaan Tugas Akhir ini.
10. Operator workshop bubut Bapak Hari yang telah membantu dalam Fabrikasi *Redesign Swing arm* dan *frame* Skuter listrik Volta 302.
11. Kepada seluruh pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, namun telah memberikan dukungan, semangat, dan doa kepada penulis, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik.

Penulis menyadari dan meminta maaf apabila dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna dan membutuhkan penyempurnaan. Oleh sebab itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari semua pihak agar dapat menjadi lebih baik lagi kedepannya. Penulis berharap, semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat dan menjadi inspirasi bagi para pembaca.

Surabaya, Juli 2022

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	iv
KATA PENGANTAR.....	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xiv
DAFTAR GRAFIK.....	xv
BAB I.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	2
BAB II.....	3
2.1 Penelitian Terdahulu.....	3
2.1.1 Pengujian <i>Regenerative Swing Arm</i> pada <i>Table Shaker</i>	3
2.1.2 Uji Jalan <i>Ball Screw Regenerative Shock Absorber</i> pada <i>Pick-Up</i>	5
2.1.3 Pengaruh Sudut Suspensi Sepeda Motor terhadap Respon Getaran.....	7
2.2 Suspensi Kendaraan.....	8
2.2.1 Peredam kejut.....	8
2.2.2 Lengan Ayun.....	10
2.2.3 Mekanika Getaran.....	11
2.3 Kenyamanan Berkendara.....	15
2.3.1 Pengaruh Getaran Terhadap Tubuh Manusia.....	15
2.3.2 Standar Internasional ISO 2631.....	17
BAB III.....	19
3.1 Diagram Alir Penelitian.....	19
3.2 Penjelasan Tahap Penelitian.....	20
3.2.1 Studi Literatur.....	20
3.2.2 Identifikasi Masalah.....	20
3.2.3 Penentuan Parameter.....	21
3.2.4 <i>Redesign</i> RSA dan Pemasangan pada Kendaraan Uji.....	24
3.2.5 Pengukuran Variasi Sudut Suspensi.....	24
3.2.6 Model Dinamis.....	25
3.2.7 Eksperimen dan Pengambilan Data.....	30
3.2.8 Analisis Data dan Pembahasan.....	31
3.2.9 Penarikan Kesimpulan dan Pemberian Saran.....	31
3.3 Instalasi Peralatan Pengambilan Data.....	32
3.4 Instalasi Peralatan Pengambilan Data.....	35
BAB IV.....	36
4.1 Rancang Bangun dan Pemasangan <i>Redesign Regenerative Swing Arm</i>	36
4.1.1 Pengujian <i>E-Scooter</i> VOLTA 302.....	37
4.1.2 Pemasangan <i>Regenerative Swing Arm</i> pada <i>E-Scooter</i> VOLTA 302.....	38
4.2 Sudut Suspensi.....	41
4.3 Instalasi Peralatan Pengambilan Data.....	41

4.4 Eksperimen	44
4.5 Analisis Hasil Pengambilan Data	44
4.5.1 Analisis Tegangan Bangkitan dan Daya Bangkitan <i>Regenerative Swing Arm</i>	45
4.5.2 Analisis Respon Percepatan Vertikal Skuter Listrik VOLTA 302 pada polisi tidur	46
4.6 <i>Root Mean Square</i>	47
4.7 Kenyamanan	50
BAB V	51
5.1 Kesimpulan	51
5.2 Saran	51
DAFTAR PUSTAKA	52

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Desain 3D RSA	3
Gambar 2.2 Mekanisme transmisi RSA	3
Gambar 2.3 Pengujian RSA pada <i>table shaker</i>	4
Gambar 2.4 Skema Eksperimen RSA pada <i>table shaker</i>	4
Gambar 2.5 Model 3D <i>Regenerative Shock Absorber Ball Screw</i> dengan <i>Spur Gear</i>	5
Gambar 2.6 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan <i>Regenerative Shock Absorber Ball Screw</i> melalui Polisi Tidur dengan Kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam	6
Gambar 2.7 Model sepeda motor dengan variasi sudut suspensi	7
Gambar 2.8 Peredam teleskopis (a) <i>through-rod</i> ; (b) <i>double-tube</i> ; (c) <i>single-tube</i> (dengan <i>floating piston</i>)	9
Gambar 2.9 Bentuk umum peredam teleskopis	9
Gambar 2.10 Suspensi pegas dan peredam pada sepeda motor	10
Gambar 2.11 Lengan ayun	10
Gambar 2.12 Lengan ayun pada sepeda motor	11
Gambar 2.13 Model dinamis <i>shock absorber</i> pada sepeda motor	11
Gambar 2.14 Ilustrasi 6-dof dari kapal	12
Gambar 2.15 Model <i>heave</i>	13
Gambar 2.16 Model <i>heave-and-pitch</i>	14
Gambar 2.17 Klasifikasi gerak osilasi	15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian	20
Gambar 3.2 Kendaraan uji	22
Gambar 3.3 Posisi tulang duduk	22
Gambar 3.4 Skema <i>clearance</i>	23
Gambar 3.5 Polisi tidur pengujian	23
Gambar 3.6 Skema polisi tidur pengujian	23
Gambar 3.7 Skema <i>redesign</i> RSA	24
Gambar 3.8 Skema pengukuran sudut suspensi	25
Gambar 3.9 Model Dinamis RSA Relatif Terhadap Porosnya	26
Gambar 3.10 Model Dinamis Kendaraan Uji	26
Gambar 3.11 <i>Pitching</i> Model Dinamis Kendaraan Uji	27
Gambar 3.12 <i>Free Body Diagram</i> Massa Kendaraan	27
Gambar 3.13 <i>Free Body Diagram</i> Massa Roda Depan Kendaraan	28
Gambar 3.14 <i>Free Body Diagram</i> Massa Roda Belakang Kendaraan	28
Gambar 3.15 Diagram Alir Eksperimen	30
Gambar 3.16 <i>Accelerometer</i> Omega ACC103	32
Gambar 3.17 <i>Oscilloscope</i> Tektronix TBS1104	32
Gambar 3.18 <i>Power Supply</i>	33
Gambar 3.19 <i>Inverter</i> Tegangan DC ke AC	33
Gambar 3.20 Penggaris <i>Spirit Level</i>	33
Gambar 3.21 <i>Probe</i> Tegangan	34
Gambar 3.22 <i>Resistor</i> tipe <i>wirewound</i>	34
Gambar 3.23 Dioda 3 Fasa	34
Gambar 3.24 Skema instalasi peralatan pengambilan data	35
Gambar 4.1 Hasil <i>Redesign</i> lebar <i>Swing Arm</i>	36

Gambar 4.2 Hasil <i>Redesign</i> untuk Variasi Posisi <i>bracket Shock Absorber</i>	37
Gambar 4.3 Dudukan Transmisi <i>Regenerative Swing Arm</i>	37
Gambar 4.4 Pemasangan <i>Swing Arm</i> dan <i>Shock Absorber</i> pada frame VOLTA 302	38
Gambar 4.5 Pemasangan Transmisi <i>Regenerative Swing Arm</i> pada <i>frame</i> VOLTA 302.....	39
Gambar 4.6 Posisi <i>Shock Absorber</i> RSA pada Variasi Posisi Dudukan Suspensi A.....	39
Gambar 4.7 Posisi <i>Shock Absorber</i> RSA pada Variasi Posisi Dudukan Suspensi B.....	40
Gambar 4.8 Posisi <i>Shock Absorber</i> RSA pada Variasi Posisi Dudukan Suspensi C.....	40
Gambar 4.9 Lokasi penempatan <i>oscilloscope</i>	42
Gambar 4.10 Posisi penempatan <i>inverter</i> dan <i>power supply</i>	42
Gambar 4.11 Lokasi penempatan <i>accelerometer</i>	43
Gambar 4.12 Pengukuran Hambatan	44

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Penentu pada Eksperimen Getaran Tubuh	16
Tabel 2.2 Kriteria Kenyamanan Menurut ISO 2631	18
Tabel 3.1 Parameter Dimensi Awal RSA	21
Tabel 3.2 Parameter <i>Redesign</i> RSA.....	21
Tabel 3.3 Parameter Uji Jalan.....	21
Tabel 3.4 Parameter Generator	22
Tabel 4.1 RMS Tegangan Bangkitan dan Daya Bangkitan <i>E-Scooter</i> VOLTA 302 pada Polisi Tidur dengan Kecepatan 25 km/h.....	47
Tabel 4.2 RMS Respon Percepatan Vertikal <i>E-Scooter</i> VOLTA 302 pada Polisi Tidur dengan Kecepatan 25 km/h	48
Tabel 4.3 Hasil Analisis Kenyamanan.....	50

DAFTAR GRAFIK

Grafik 2.1 Pengaruh sudut suspensi terhadap amplitudo <i>displacement</i> vertikal <i>sprungmass</i> pada kecepatan 30 km/h dan amplitudo jalan 0.02 m.....	7
Grafik 2.2 Nomograf getaran dan kriteria getaran	18
Grafik 4.1 Grafik (a) Tegangan, (b) Daya Bangkitan melewati Polisi Tidur.....	45
Grafik 4.2 Grafik Perbandingan Respon Percepatan Vertikal <i>E-Scooter</i> VOLTA 302 antara sistem suspensi konvensional, RSA posisi A, RSA posisi B, dan RSA posisi C pada polisi tidur dengan kecepatan 25 km/h	47
Grafik 4.3 RMS Tegangan Bangkitan <i>E-Scooter</i> VOLTA 302 pada Polisi Tidur dengan Kecepatan 25 km/h	48
Grafik 4.4 RMS Daya Bangkitan <i>E-Scooter</i> VOLTA 302 pada Polisi Tidur dengan Kecepatan 25 km/h.....	48
Grafik 4.5 RMS Respon Percepatan Vertikal <i>E-Scooter</i> VOLTA 302 pada Polisi Tidur dengan Kecepatan 25 km/h	49

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki jumlah sepeda motor yang mendominasi jenis kendaraan lainnya. Per tahun 2020, sebanyak 84,49% dari total jumlah kendaraan di Indonesia merupakan sepeda motor [1]. Bahan bakar fosil merupakan sumber energi yang tidak dapat diperbarui dan memiliki pengaruh yang buruk terhadap lingkungan akibat emisi gas buang yang dihasilkan [2]. Skuter listrik (*e-scooter*) merupakan kendaraan roda dua ramah lingkungan yang rendah emisi dan dapat menjadi solusi energi terbarukan pengganti sepeda motor berbahan bakar fosil [3]. Selain dari rendahnya emisi, kelebihan lain yang dimiliki kendaraan listrik adalah kemudahan dalam kontrol energi [4] sehingga mendorong munculnya berbagai inovasi teknologi berbasis *energy harvesting*. Salah satunya yaitu sistem suspensi regeneratif yang memanfaatkan energi mekanis dari suspensi untuk dikonversi menjadi energi listrik [5].

Pada penelitian Tugas Akhir "*Pemodelan dan Analisis Karakteristik Dinamis Regenerative Swing Arm pada Scooter*" oleh Pradhana Rizki Wibowo pada tahun 2021, dirancang suatu inovasi teknologi suspensi regeneratif untuk kendaraan listrik roda dua yang disebut *Regenerative Swing Arm* (RSA). RSA terdiri dari lengan ayun (*swing arm*) dimana porosnya dihubungkan dengan rangkaian roda gigi yang berfungsi mentransmisikan energi mekanis dari gerakan naik-turun lengan ayun menuju sebuah generator listrik. Penelitian tersebut dilanjutkan pada Tugas Akhir "*Rancang Bangun Prototipe Regenerative Swing Arm pada Scooter*" oleh Bayu Mega Suryana pada tahun 2022 yang melakukan pembuatan RSA dan analisis daya bangkitan dengan eksperimen berupa simulasi pada *table shaker* dimana RSA tidak dipasangkan pada kendaraan, melainkan hanya pada sebuah roda dan *shock absorber*.

Dalam melakukan rancang bangun pemasangan RSA pada suatu skuter listrik, perlu diketahui bagaimana penentuan parameter rancang bangun mempengaruhi kinerja RSA. Berdasarkan penelitian "*Analisa Respon Dinamik Sepeda Motor terhadap Posisi Sudut Suspensi*" oleh Benjamin G. Tentua, salah satu parameter rancang bangun yang secara signifikan mempengaruhi respon getaran kendaraan dan perilaku suspensi adalah sudut suspensi. Dalam memasang RSA ke skuter listrik, bagian bawah dari *shock absorber* dipasangkan ke bantalan/*bracket* yang ada pada lengan RSA. Penentuan posisi *bracket* tersebut sangatlah penting karena menentukan kemiringan suspensi dan besar momen yang dialami RSA sehingga mempengaruhi besar energi listrik bangkitan yang dihasilkan RSA.

Berdasarkan uraian permasalahan di atas, penulis melihat pentingnya dilakukan pemasangan RSA pada suatu skuter listrik dan mengetahui bagaimana penentuan posisi *bracket* dari RSA mempengaruhi kinerja RSA dalam menghasilkan energi bangkitan melalui suatu eksperimen. Selain energi bangkitan, perlu juga diketahui bagaimana penentuan posisi *bracket* RSA mempengaruhi kenyamanan berkendara sebagaimana kenyamanan merupakan fungsi utama dari suspensi [6]. Sehingga, dilakukanlah penelitian untuk melakukan pemasangan RSA pada skuter listrik serta mengidentifikasi pengaruh posisi *bracket* RSA terhadap energi bangkitan yang dihasilkan dan kenyamanan berkendara melalui uji jalan (*road test*).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagaimana pemasangan RSA pada sepeda motor listrik ?
2. Bagaimana pengaruh posisi *bracket* RSA terhadap tegangan dan daya bangkitan ?
3. Bagaimana pengaruh posisi *bracket* RSA terhadap kenyamanan berkendara ?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini antara lain :

1. Prototipe RSA yang digunakan beserta data parameternya adalah dari penelitian Tugas Akhir "Rancang Bangun Prototipe Regenerative Swing Arm pada Scooter" oleh Bayu Mega Suryana pada tahun 2022.
2. Sepeda motor listrik yang digunakan adalah *e-scooter* VOLTA 302.
3. Respon getaran yang dianalisis adalah percepatan vertikal.
4. Kekakuan dan redaman jok diabaikan (benda kaku).
5. Kekakuan dan redaman tubuh pengendara diabaikan (benda kaku).
6. Analisis kenyamanan dilakukan menurut standar ISO 2631.

1.4 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memasang RSA pada sepeda motor listrik.
2. Mengidentifikasi pengaruh posisi *bracket* RSA terhadap tegangan dan daya bangkitan.
3. Mengidentifikasi pengaruh posisi *bracket* RSA terhadap kenyamanan berkendara.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

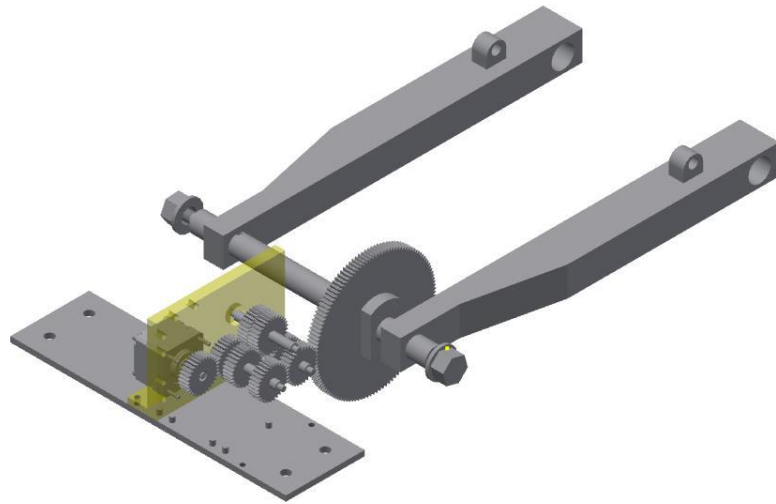
1. Ikut serta memajukan teknologi kendaraan listrik yang ramah lingkungan dan terbarukan.
2. Meningkatkan kemajuan dan penggunaan teknologi regenerasi energi (*energy recovery*) agar konsumsi energi menjadi semakin hemat dan efisien.
3. Sebagai suatu bentuk pengembangan dari desain *Regenerative Swing Arm* (RSA) yang sebelumnya belum banyak dilakukan dan memiliki banyak kekurangan.
4. Meningkatkan kualitas desain *Regenerative Swing Arm* (RSA) dengan aspek kenyamanan berkendara dalam implementasinya pada *e-scooter* VOLTA 302.
5. Menyediakan informasi dan data yang berkaitan dengan rancang bangun dan implementasi *Regenerative Swing Arm* (RSA) berdasarkan hasil eksperimen uji jalan pada lingkungan nyata, bukan berdasarkan hasil simulasi yang tidak sama persis dengan keadaan riilnya.
6. Dapat menjadi parameter acuan dalam menerapkan maupun melakukan penelitian lanjutan di masa yang akan datang.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

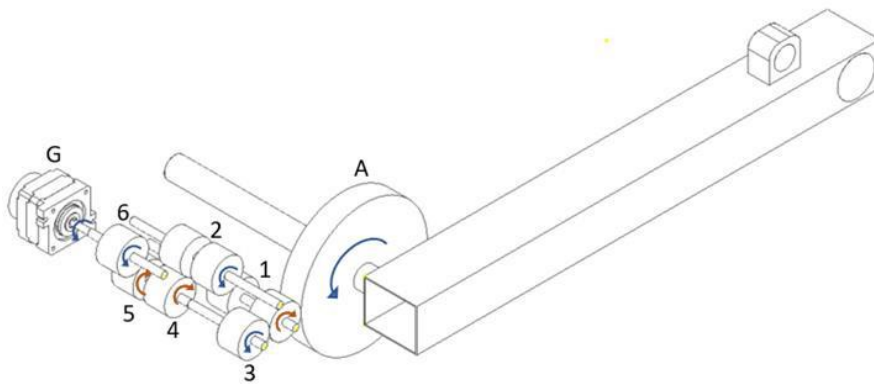
2.1 Penelitian Terdahulu

2.1.1 Pengujian *Regenerative Swing Arm* pada *Table Shaker*

Pada penelitian sebelumnya, telah dilakukan pengujian pada tugas akhir dengan judul “*Rancang Bangun Prototipe Regenerative Swing Arm pada Scooter*” oleh Bayu Mega Suryana pada tahun 2022. Pada penelitian tersebut, dilakukan pembuatan dan eksperimen RSA (*Regenerative Swing Arm*) menggunakan *table shaker*. Penelitian oleh Bayu Mega Suryana merupakan penelitian lanjutan dari Tugas Akhir “*Pemodelan dan Analisis Karakteristik Dinamis Regenerative Swing Arm pada Scooter*” oleh Pradhana Rizki Wibowo pada tahun 2021 yang melakukan perancangan RSA. Rancangan RSA dapat dilihat pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Desain 3D RSA [9]



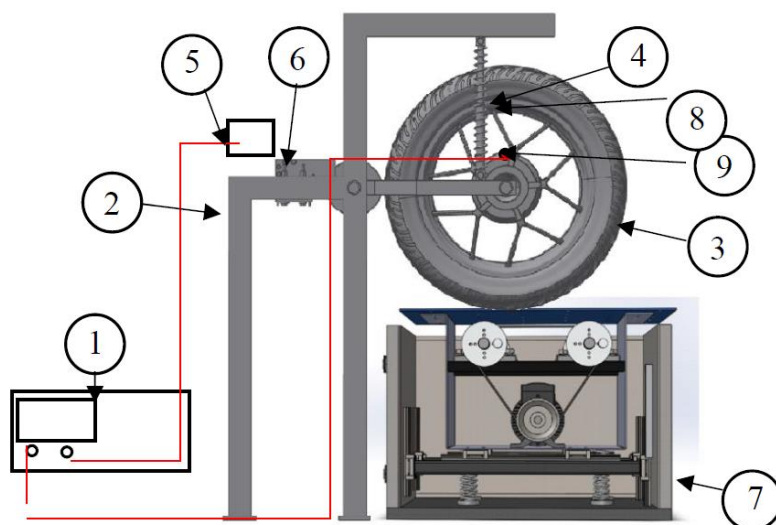
Gambar 2.2 Mekanisme transmisi RSA [9]

RSA menerapkan mekanisme rangkaian roda gigi lurus (*spur gear*) sebagai transmisi daya menuju generator. Pada gambar 2.2, ditunjukkan mekanisme transmisi RSA. RSA memanfaatkan energi terbuang pada suspensi dengan cara memanfaatkan gerak naik-turun dari ujung *swing arm* yang dihasilkan dari perubahan panjang *shock absorber* akibat adanya hentakan atau getaran yang dialami roda saat kendaraan berjalan di atas jalan yang tidak rata. Gerakan naik turun ini memutar *gear A* dengan daya dan putaran tertentu yang kemudian ditransmisikan oleh roda gigi 1 hingga roda gigi 6 menuju generator listrik G.

Eksperimen dilakukan menggunakan *Dual Translational Shaking Table* (DTST) seperti pada gambar 2.3. RSA dipasang dengan roda tipe IRC 34P dan *shock absorber* dari sepeda motor Honda Beat serta tidak dipasangkan pada suatu kendaraan. Pengukuran menggunakan *probe accelerometer* dilakukan pada titik di ujung *swing arm* bukan pada badan kendaraan. Profil jalan diasumsikan sebagai getaran harmonis. Eksperimen dilakukan untuk mendapatkan data daya bangkitan dan respon dinamis berupa percepatan vertikal dari ujung *swing arm* dengan 2 variasi massa unbalan yakni 800 gr dan 1200 gr, dengan variasi frekuensi 9 Hz, 12 Hz dan 15 Hz, serta dengan variasi hambatan 15 ohm, 20 ohm, dan 25 ohm. Pengujian juga dilakukan terhadap sistem suspensi konvensional untuk dibandingkan respon dinamisnya.



Gambar 2.3 Pengujian RSA pada *table shaker* [9]



Keterangan:

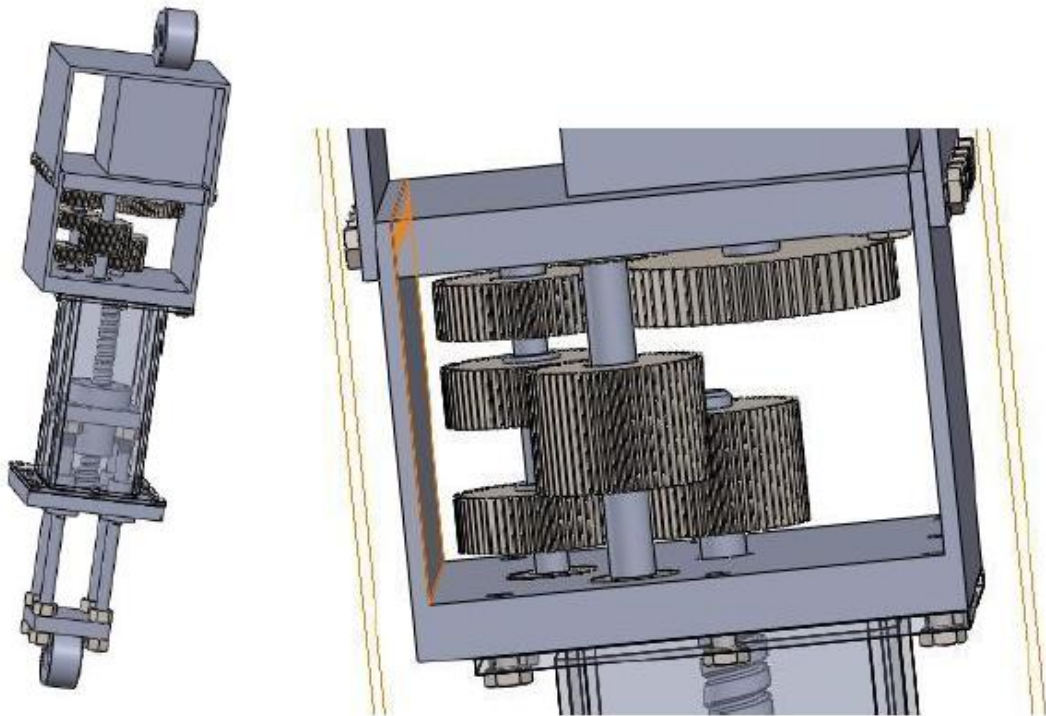
1. Oscilloscope
2. Test bench
3. Roda
4. Shock Absorber
5. Dioda
6. Generator RSA
7. DTST
8. Spring
9. accelerometer

Gambar 2.4 Skema Eksperimen RSA pada *table shaker*

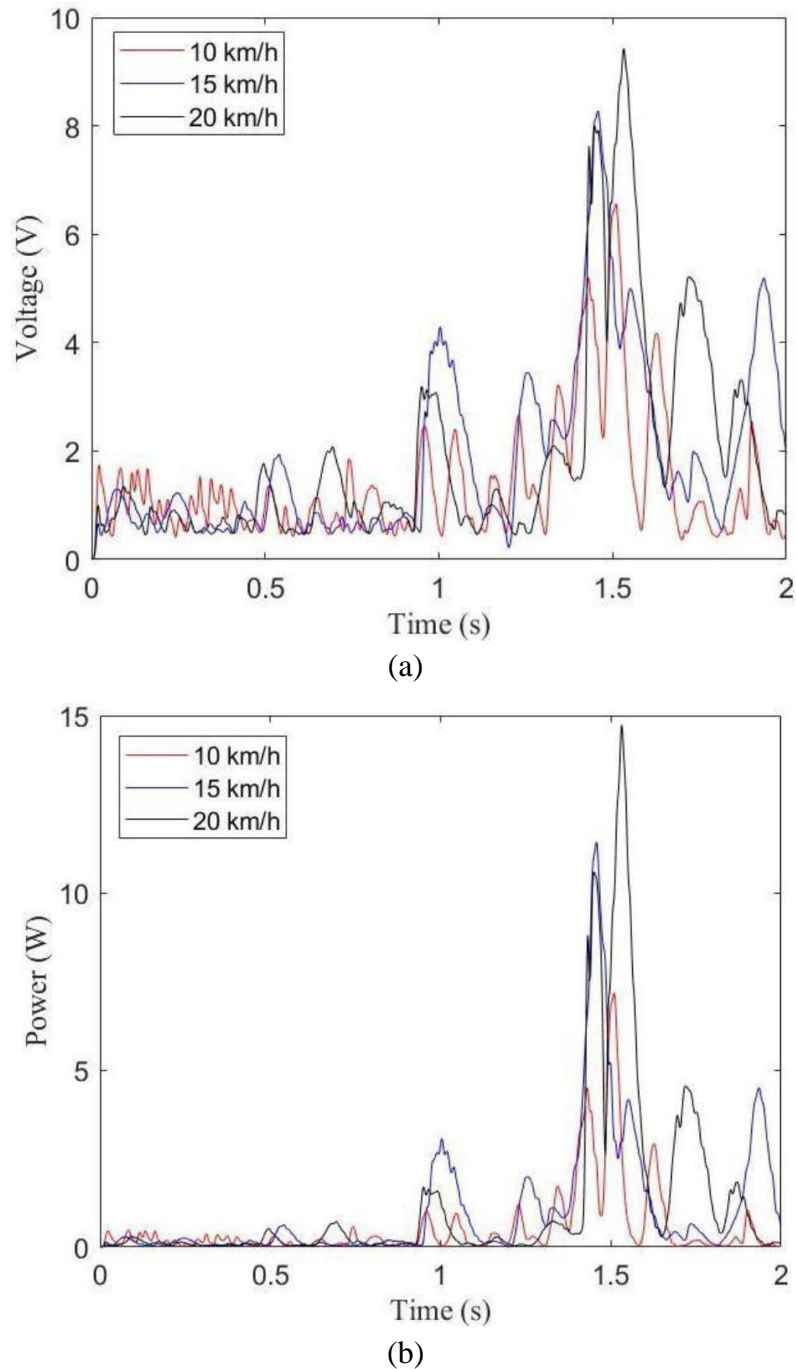
Hasil penelitian tersebut menunjukkan tegangan bangkitan dan daya bangkitan maksimum yang dapat dihasilkan sebesar 0,00121 V saat masa unbalans 800 gr dengan frekuensi 15 Hz 15 ohm dan untuk daya bangkitan terbesar ketika massa unbalans 800 dengan frekuensi 15 Hz pada hambatan 15 ohm sebesar 7×10^{-8} W. Pada tegangan bangkitan dan daya bangkitan terkecil terjadi pada masa unbalans 800 gr frekuensi 9 Hz dengan hambatan 15 ohm sebesar 0,00043 W dan pada masa unbalans 800 gr frekuensi 9 Hz dengan hambatan 20 ohm sebesar 1.1×10^{-8} W. Kemudian untuk RMS tegangan dan daya bangkitan paling besar terjadi pada 15 Hz 15 ohm dengan massa *unbalance* 1200 gr sebesar 0,00042 V dan $1,82 \times 10^{-8}$ W. Untuk RMS tegangan paling kecil dihasilkan pada pada 9 hertz 20 ohm dengan massa *unbalance* 800 gr 0,000165 Volt dan $2,66 \times 10^{-9}$ W.

2.1.2 Uji Jalan *Ball Screw Regenerative Shock Absorber* pada *Pick-Up*

Pada penelitian dengan judul “*Rancang Bangun Sistem Suspensi Model Ball Screw Dengan Spur Gear Pada Regenerative Shock Absorber (RSA) Kendaraan Pick Up*” oleh Sakti Priyanto pada tahun 2020, dilakukan perancangan, pembuatan, dan eksperimen sebuah RSA model *ball-screw* dengan *spur gear* pada suspensi kendaraan *pick-up* untuk memanfaatkan energi terbuang pada bagian suspensi dengan cara memanfaatkan gerak translasi naik-turun pada suspensi lalu dikonversi menjadi gerak rotasi satu arah melalui roda gigi *spur gear* yang dilengkapi dengan *one-way clutch* untuk menggerakkan generator sehingga generator menghasilkan listrik yang kemudian dapat disimpan untuk keperluan kendaraan. Sistem ini nantinya dilakukan pengujian pada kendaraan *pick-up* untuk mengetahui lebih jauh bagaimana pengaruh penggunaan RSA terhadap respon badan kendaraan *pick-up*. Dengan variasi kecepatan yaitu 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam pada saat melewati polisi tidur dan *speedtrap*. Kemudian dengan variasi kecepatan 10 km/jam, 20 km/jam, dan 30 km/jam pada saat melewati jalan paving dan jalan aspal. Kemudian didapatkan grafik respon dinamis kendaraan dan grafik daya bangkitan RSA.



Gambar 2.5 Model 3D *Regenerative Shock Absorber Ball Screw* dengan *Spur Gear*

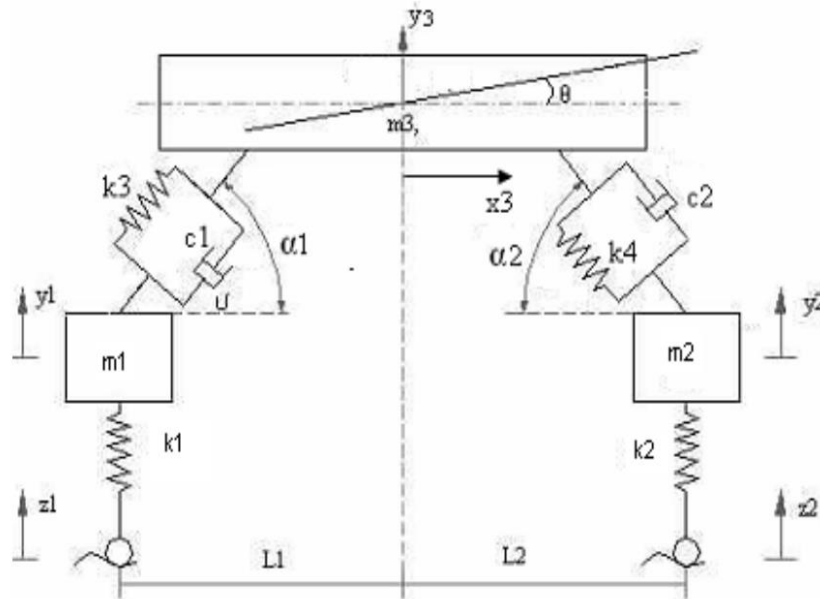


Gambar 2.6 Grafik (a) Tegangan dan (b) Daya Bangkitan *Regenerative Shock Absorber Ball Screw* melalui Polisi Tidur dengan Kecepatan 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam

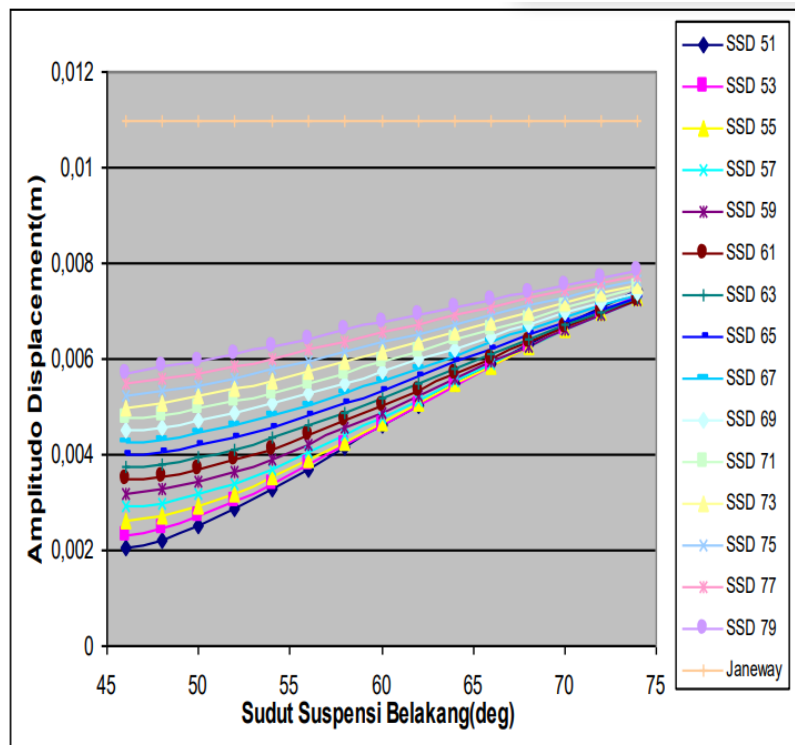
Pada Gambar 2.6 (a) dan (b) dapat dilihat hasil dari penelitian tersebut dimana tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 10 km/jam adalah sebesar 6.94 V dengan daya maksimum sebesar 7.12 W. Lonjakan yang tinggi meunjukkan pada saat roda menghentak polisi tidur sehingga membuat BSRSA bergerak. Kemudian pada tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 15 km/jam adalah sebesar 8.19 V dengan daya maksimum sebesar 11.13 W. Pada grafik tersebut dapat dilihat adanya tegangan bangkitan yang relative kecil rata-rata 0.98 V sebelum melewati polisi tidur, hal tersebut diakibatkan kontur jalan yang tidak rata. Selanjutnya tegangan maksimum yang didapatkan pada kecepatan 20 km/jam adalah sebesar 9.11 V dengan daya maksimum sebesar 13.4 W.

2.1.3 Pengaruh Sudut Suspensi Sepeda Motor terhadap Respon Getaran

Pada penelitian "Analisa Respon Dinamik Sepeda Motor Terhadap Posisi Sudut Suspensi" oleh Benjamin G. Tentua, dilakukan analisis pengaruh sudut suspensi sepeda motor terhadap kenyamanan berkendara menggunakan permodelan Matlab. Variasi sudut suspensi dilakukan terhadap suspensi depan dan belakang. Analisis kenyamanan dilakukan dengan kriteria kenyamanan *Janeway* dan juga kriteria kenyamanan menurut ISO 2631. Permodelan dinamis dilakukan seperti pada gambar 2.7. Data hasil simulasi ditunjukkan dalam grafik 2.1.



Gambar 2.7 Model sepeda motor dengan variasi sudut suspensi [8]



Grafik 2.1 Pengaruh sudut suspensi terhadap amplitudo *displacement* vertikal *sprungmass* pada kecepatan 30 km/h dan amplitudo jalan 0.02 m [8]

Diberikan *input* amplitudo jalan 0,02 m. Pengaruh sudut suspensi terhadap amplitudo respon displacement (arah x) didapatkan, dengan memvariasikan $51^\circ - 79^\circ$ untuk suspensi depan dengan interval 2° , sedang untuk suspensi belakang divariasikan $46^\circ - 74^\circ$ dengan interval 2° . Grafik 2.1 merupakan salah satu hasil. Dianalisis bahwa dengan bertambahnya sudut suspensi belakang pada sudut suspensi depan yang tetap maka amplitudo respon vertikal *sprungmass* menjadi semakin meningkat, dengan peningkatan amplitudo ini maka kenyamanan semakin meningkat. Pada sudut suspensi belakang yang sama dengan semakin bertambahnya sudut suspensi depan, terlihat bahwa amplitudo respon vertikal *sprungmass* semakin meningkat sehingga menyebabkan tingkat kenyamanan semakin berkurang. Hal ini dikarenakan dengan meningkatnya sudut suspensi maka gaya suspensi yang bekerja pada *sprungmass* ke arah vertikal semakin meningkat sehingga *displacement* juga semakin meningkat.

Dari hasil perbandingan antara amplitudo respon dan amplitudo izin *Janeway*, didapatkan kondisi nyaman dan tidak nyaman untuk kecepatan 50 km/jam memiliki amplitudo izin yaitu 0,0023699 m sedangkan untuk kecepatan 80 km/jam adalah 0,0005786 m. Untuk kecepatan 80 km/h dan 50 km/h tidak pada kondisi yang nyaman. Dari hasil yang diperoleh dari simulasi, didapatkan sudut suspensi efektif menurut standart ISO 2631 adalah :

Pada kecepatan 30km/jam : Belakang = $70 - 74$ deg.
 Depan = $51 - 79$ deg.
 Pada kecepatan 50 km/jam : Belakang = $52 - 58$ deg.
 Depan = $51 - 79$ deg.
 Pada kecepatan 80 km/jam : Belakang = $46 - 52$ deg.
 Depan = $51 - 79$ deg.

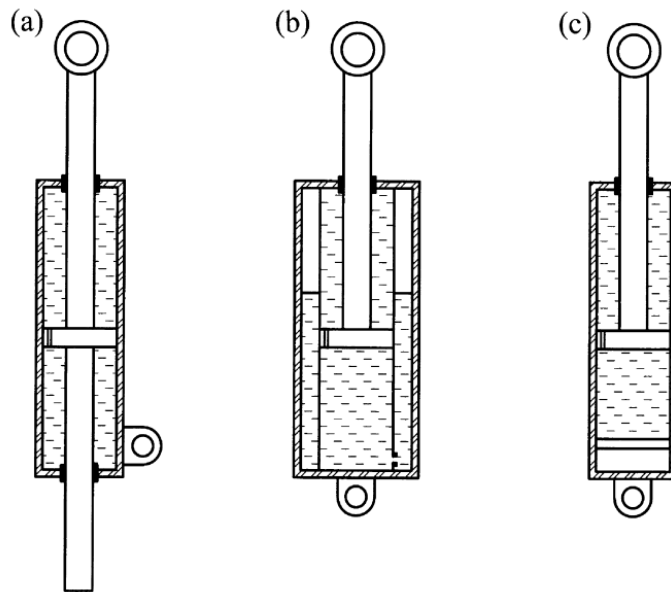
Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan, letak sudut efektif semakin kecil. Selain itu, juga bisa dilihat bahwa pengaruh dari sudut suspensi belakang lebih besar dari pada sudut suspensi depan. Ini disebabkan karena propertis dari sudut belakang sendiri yang besar sehingga memiliki pengaruh yang besar terhadap kenyamanan.

2.2 Suspensi Kendaraan

2.2.1 Peredam kejut

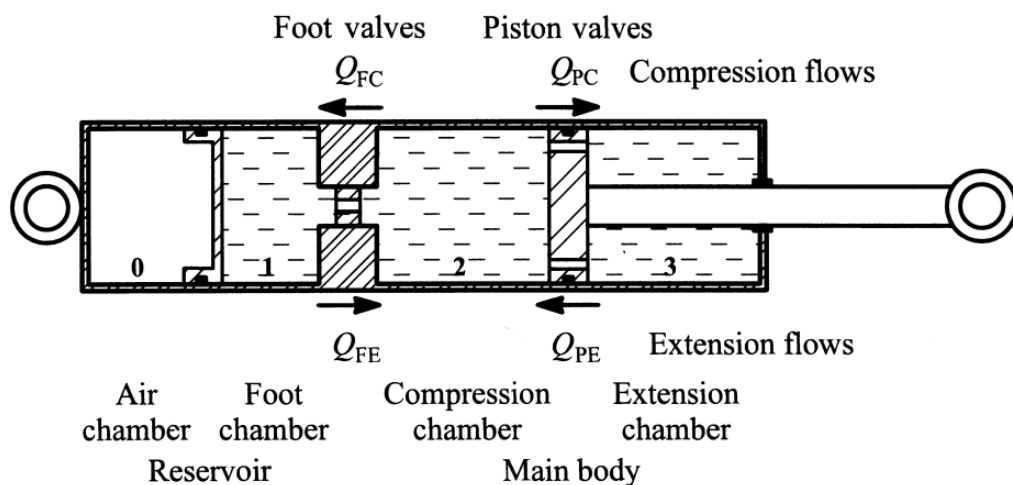
Peredam (*damper*) pada kendaraan umumnya dikenal sebagai peredam kejut (*shock absorber*), meskipun implikasi bahwa guncangan diserap oleh *shock absorber* sebenarnya kurang tepat [11]. Bagian yang menyerap guncangan sebenarnya adalah ban (oleh defleksi) dan pegas. Tujuan peredam adalah untuk mendisipasi energi pada gerakan vertikal dari badan atau roda kendaraan. Gerakan tersebut muncul dari kontrol *input* atau dari gangguan oleh jalan kasar atau angin yang memberikan *forced vibration* pada kendaraan. Macam gerakan yang dihasilkan dari gangguan tersebut antara lain *body heave* (badan kendaraan terangkat), *pitch and roll* (rotasi dan guling badan kendaraan), dan *wheel hop* (lompatan roda).

Sebagai kumpulan massa dan pegas, kendaraan dengan rodanya merupakan sistem getaran yang membutuhkan peredam untuk mengoptimalkan perilaku kontrol dengan mencegah *overshoot* respon dan meminimalkan pengaruh resonansi yang tidak dapat dihindari. Teori matematis sistem getaran sebagian besar menggunakan konsep peredam linier dengan gaya sebanding dengan kecepatan ekstensi. Terutama karena hal ini mampu memberikan persamaan yang solusinya dapat dipahami dan didokumentasikan dengan baik. Selain itu juga biasanya cukup realistis. Jenis-jenis peredam kendaraan antara lain *dry friction* dengan elemen-elemen solid dan *hydraulic* dengan elemen-elemen fluida. Peredam hidrolis sendiri dibagi menjadi dua jenis yaitu *telescopic* dan *level-arm*. Peredam hidrolis teleskopik, dapat dilihat di gambar 2.8, merupakan jenis yang sering dipakai secara luas untuk mobil dan sepeda motor.



Gambar 2.8 Peredam teleskopik (a) *through-rod*; (b) *double-tube*; (c) *single-tube* (dengan *floating piston*) [11]

Bentuk umum peredam teleskopik ditunjukkan pada Gambar 2.9, di mana terdapat *reservoir* terpisah (bilik 0 dan 1). Ruang 0 berisi udara, diberi tekanan, dipisahkan oleh piston mengambang dari ruang 1. Ruang 2 disebut ruang kompresi yang bertekanan tinggi selama kompresi, dan ruang 3 disebut ruang ekstensi, ekspansi atau *rebound*, yang bertekanan tinggi selama ekstensi. Selama kompresi, fluida dipindahkan dari silinder utama (ruang 2 dan 3) ke dalam *reservoir*, melalui pembatasan karakteristik yang diberikan yaitu katup kaki kompresi. Dengan Prinsip Kontinuitas Fluida, dalam operasi normal tanpa kavitasi dan mengabaikan kompresibilitas, jumlah fluida yang dipindahkan melalui katup kaki sama dengan volume batang piston yang masuk ke silinder utama. Selama kompresi, fluida juga melewati piston dari ruang 2 ke ruang 3, melalui katup kompresi piston. Selama perpanjangan peredam, pelepasan batang piston dari silinder utama membutuhkan aliran dari *reservoir* ke silinder utama melalui katup ekstensi kaki. Cairan melewati katup ekstensi piston, katup 4, dari ruang 3 ke ruang 2.



Gambar 2.9 Bentuk umum peredam teleskopik [11]

Peredam teleskopis pada sepeda motor biasanya dilengkapi dengan pegas, seperti pada gambar 2.10. Pegas berfungsi untuk menyerap guncangan. Sedangkan peredam kejut sebenarnya berfungsi untuk memberikan gesekan dalam bentuk terkontrol yang mencegah gerakan memantul atau melempar yang berkepanjangan dengan cara menyerap energi [11].



Gambar 2.10 Suspensi pegas dan peredam pada sepeda motor (suzuki.co.id)

2.2.2 Lengan Ayun

Lengan ayun atau *swingarm* adalah bagian mekanis dari kendaraan roda dua yang menghubungkan roda belakang dengan rangkanya. Lengan ayun biasanya terbuat dari baja, tapi untuk sepeda mahal, bisa terbuat dari aluminium atau serat karbon. Fungsi utama dari *swingarm* adalah untuk menghubungkan roda belakang ke rangka sepeda dan menopang roda belakang. Fungsi lainnya adalah untuk membuat sistem suspensi belakang lebih efisien [12].



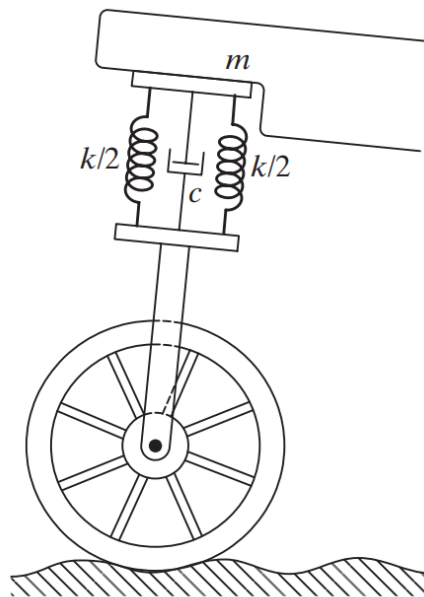
Gambar 2.11 Lengan ayun (webike.id)

Satu ujung dari lengan ayun (bagian kiri di gambar 2.11) disambungkan dengan poros pada rangka kendaraan sebagai sumbu putar gerakan berayun naik-turun. Sedangkan ujung lainnya (bagian kanan di gambar 2.11) dihubungkan ke poros roda belakang. Ujung *shock absorber* atas dihubungkan ke rangka kendaraan dan ujung *shock absorber* bawah dihubungkan ke lengan ayun, seperti pada gambar 2.12. Dengan rancangan seperti ini, kinerja *shock absorber* belakang ditingkatkan karena *swingarm* mampu bergerak vertikal [12].



Gambar 2.12 Lengan ayun pada sepeda motor (motorplus-online.com)

2.2.3 Mekanika Getaran



Gambar 2.13 Model dinamis *shock absorber* pada sepeda motor [13]

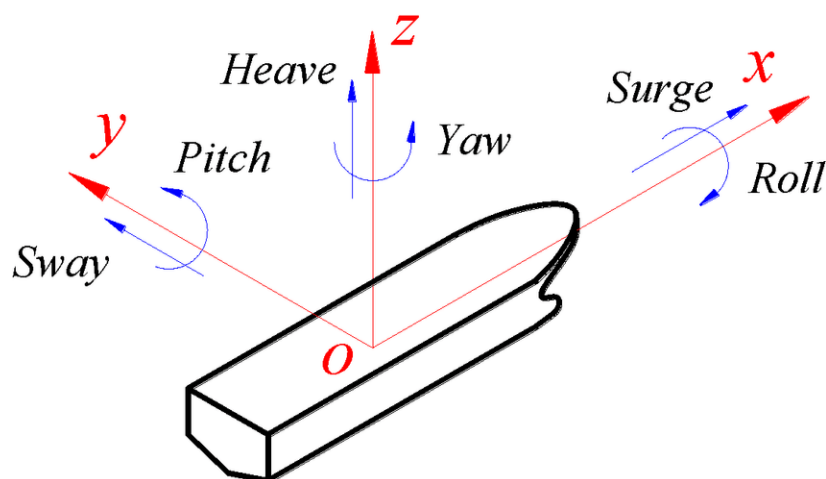
Gambar 2.13 merupakan contoh permodelan dinamis dari *shock absorber* pada sepeda motor dengan 1-dof gerak vertikal. *Shock absorber* dapat dikategorikan sebagai *viscous damping* karena memanfaatkan fluida dalam mekanisme redamannya. Pada model tersebut, ditinjau satu buah roda dan massa m di atasnya dimana terdapat struktur pegas-peredam yang menghubungkan keduanya. Struktur pegas-peredam tersebut merupakan suspensi kendaraan dengan kekakuan pegas bernilai $k/2$ sebanyak 2 buah dan konstanta redaman bernilai c .

Gerakan kendaraan yang melewati profil jalan yang tidak rata dapat ditinjau dari 3 macam gerakan yaitu gerak naik-turun (*heaving*), gerak rotasi (*pitching*), dan guling (*rolling*) dalam melakukan tinjauan atau analisis terhadap kinerja suspensi. Gerakan-gerakan tersebut diakibatkan oleh adanya *forced vibration* yang dihasilkan dari kekasaran jalan. Tujuan dari suspensi adalah untuk meminimalkan ketidaknyamanan penumpang yang tentunya dilakukan dengan minimalisasi ukuran gerakan-gerakan tersebut dengan pemilihan atau penentuan parameter perancangan pegas dan peredam tertentu.

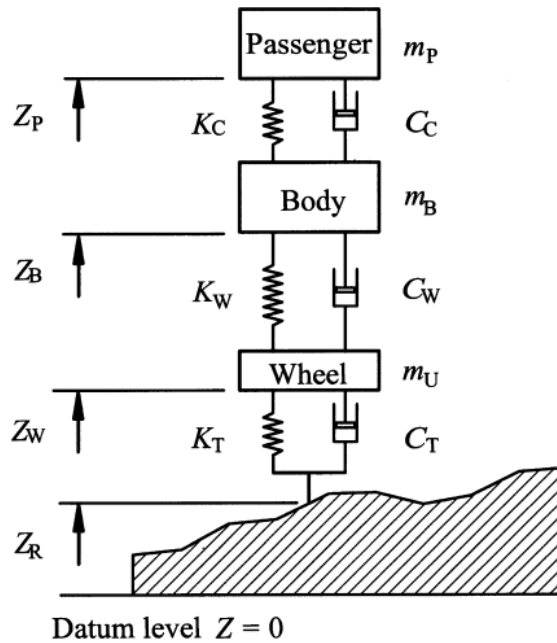
Perilaku berkendara dapat dianalisis dalam domain waktu atau dalam domain frekuensi. Analisis domain waktu memprediksi posisi, kecepatan, dan percepatan sebagai fungsi waktu, dengan hasil yang sering ditampilkan sebagai grafik respon dinamis. Untuk analisis pengendalian, model yang cukup kompleks memiliki banyak derajat kebebasan. Contohnya mobil dengan 8-dof (ketinggian kursi, ketinggian bodi, *pitch and roll*, ketinggian empat roda). Model yang lebih sederhana contohnya mobil dengan 4-dof (ketinggian dan kemiringan bodi ditambah ketinggian roda depan dan belakang).

Model dinamis yang walaupun sangat sederhana dapat mengungkapkan banyak hal tentang perilaku berkendara dan telah dipelajari secara luas dalam literatur penelitian. Model sederhana dapat diselesaikan secara analitik dan memberikan wawasan yang berguna tentang tren. Sedangkan pada model yang lebih kompleks, secara prinsip dapat lebih akurat. Tetapi memerlukan solusi numerik. Model dinamis yang paling sederhana adalah model *heave* dengan 1-dof gerak vertikal. Model *heave* hanya terdiri dari massa badan kendaraan dan massa roda dengan suspensi terkait dan kekakuan serta redaman ban dimana hanya gerakan angkat (*heave*) yang diperbolehkan. Gerak *heave* adalah perpindahan vertikal (naik-turun) dari pusat massa kendaraan (*Center of Gravity/CoG*). Untuk mengilustrasikan prinsip tersebut, gambar 2.15 menunjukkan model *heave* dari suatu kendaraan.

Ilustrasi macam gerak kendaraan dapat dilihat di gambar 2.14 dan 2.15 dimana terdapat 6 jenis gerakan yaitu *roll*, *pitch*, *yaw*, *sway*, *heave*, dan *surge*. 6 gerakan tersebut juga disebut sebagai 6 derajat kebebasan (6-dof). Jumlah dof yang digunakan dalam suatu analisis mengartikan jumlah gerakan yang diperbolehkan dari model suatu objek. Dalam analisis kinerja suspensi, biasanya cukup dilakukan tinjauan gerak *roll*, *pitch*, dan *heave* atau bahkan hanya *heave* dan *pitch* sebagaimana kontur jalan pada umumnya memberikan 2 gerakan tersebut.



Gambar 2.14 Ilustrasi 6-dof dari kapal [14]



Gambar 2.15 Model *heave* [11]

Model pada gambar 2.15 meninjau kendaraan dengan 1-dof gerak vertikal (*heave*), dimana :

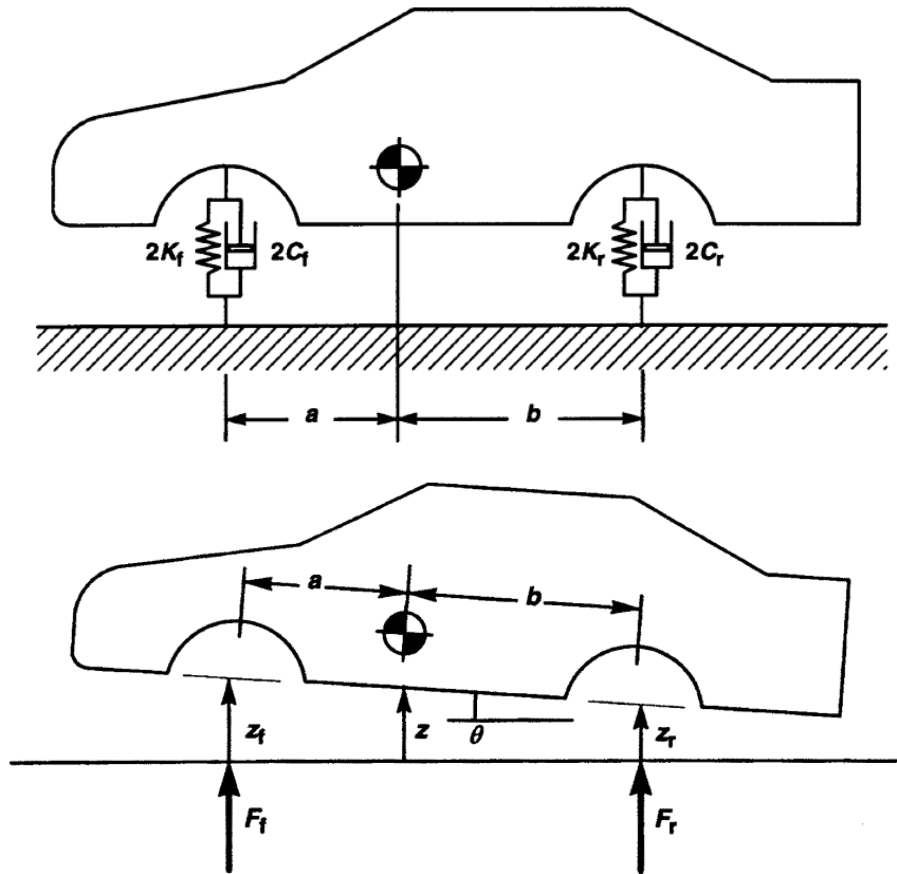
- m_p = Massa pengemudi atau penumpang atau beban (*load*), biasanya satu kesatuan massa
- K_C = Kekakuan vertikal jok (*cushion/seat*)
- C_C = Koefisien redaman vertikal jok (*cushion/seat*)
- m_B = Massa total badan kendaraan (*sprung mass*)
- K_W = Kekakuan vertikal suspensi (*wheel rate*)
- C_W = Koefisien redaman vertikal roda
- m_U = Massa total semua roda (*unsprung mass*)
- K_T = Kekakuan vertikal dari semua ban
- C_T = Koefisien redaman vertikal dari semua ban (biasanya kecil)

Redaman ban seringkali diabaikan. Redaman kursi/jok dalam banyak kasus bergantung pada gesekan struktur internal. Namun dalam beberapa kasus, terutama pada kendaraan komersial besar, kursi dapat memiliki mekanisme pegas peredam hidrolik. Di atas tingkat datum di $Z = 0$ terdapat posisi-posisi vertikal dari titik-titik signifikan pada massa antara lain :

- Z_R = Ketinggian jalan (dari kekasaran/ketidakrataan)
- Z_W = Ketinggian pusat roda
- Z_B = Ketinggian badan kendaraan
- Z_P = Ketinggian pengemudi

Perbedaan nilai dari 4 poin di atas dengan *static values*-nya merupakan perpindahan pengemudi (*ride displacement*) atau juga defleksi, dinotakan dengan huruf kecil :

- z_p = Perpindahan pengemudi (*passenger ride displacement*) = $Z_P - Z_{P0}$
- z_B = Perpindahan badan kendaraan (*body ride displacement*) = $Z_B - Z_{B0}$
- z_W = Perpindahan roda (*wheel ride displacement*) = $Z_W - Z_{W0}$
- z_T = Defleksi ban (*tyre ride deflection*) = $Z_R - Z_W$
- z_S = Defleksi suspensi (*suspension ride deflection/bump*) = $Z_W - Z_B$
- z_C = Defleksi jok (*cushion/seat ride deflection*) = $Z_B - Z_P$



Gambar 2.16 Model *heave-and-pitch* [11]

Model pada gambar 2.15 hanya mempertimbangkan gerak *heave* (angkat). Sedangkan model pada gambar 2.16 mempertimbangkan gerak *heave* dan juga gerak *pitch* (rotasi) sehingga lebih realistis. Tinjauan berikut adalah dengan sistem getaran *damped* dan 2 derajat kebebasan (2-dof) : Gerak *heave*, z bernilai positif pada gerak ke atas dan sudut *pitch*, θ bernilai positif pada gerak hidung/depan ke atas (searah jarum jam). Posisi badan kendaraan bagian depan (z_f) dan bagian belakang (z_r) serta kecepatan vertikal dan percepatan vertikalnya dirumuskan :

$$\begin{aligned} z_f &= z + a\theta \\ z_r &= z - b\theta \\ \dot{z}_f &= \dot{z} + a\dot{\theta} \\ \dot{z}_r &= \dot{z} - b\dot{\theta} \\ \ddot{z}_f &= \ddot{z} + a\ddot{\theta} \\ \ddot{z}_r &= \ddot{z} - b\ddot{\theta} \end{aligned}$$

Gaya-gaya yang bekerja pada suspensi depan (F_f) dan suspensi belakang (F_r) dengan tanda positif untuk arah gaya ke atas, dirumuskan :

$$\begin{aligned} F_f &= -2K_f z_f - 2C_f \dot{z}_f = -2K_f(z + a\theta) - 2C_f(\dot{z} + a\dot{\theta}) \\ F_r &= -2K_r z_r - 2C_r \dot{z}_r = -2K_r(z - b\theta) - 2C_r(\dot{z} - b\dot{\theta}) \end{aligned}$$

Persamaan gerak (*equations of motion*), dituliskan :

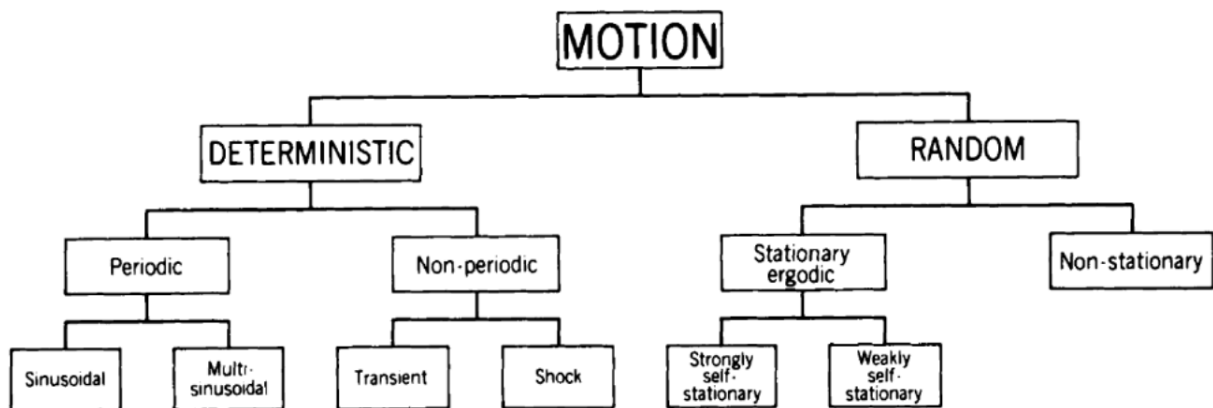
$$\begin{aligned} \ddot{m}z &= F_f + F_r = -2K_f(z + a\theta) - 2C_f(\dot{z} + a\dot{\theta}) - 2K_r(z - b\theta) - 2C_r(\dot{z} - b\dot{\theta}) \\ I\ddot{\theta} &= aF_f - bF_r = -2aK_f(z + a\theta) - 2aC_f(\dot{z} + a\dot{\theta}) + 2bK_r(z - b\theta) + 2bC_r(\dot{z} - b\dot{\theta}) \end{aligned}$$

2.3 Kenyamanan Berkendara

2.3.1 Pengaruh Getaran Terhadap Tubuh Manusia

Whole-body vibration atau getaran seluruh tubuh disebabkan oleh adanya getaran dari permukaan yang menopang tubuh dan dapat terjadi di hampir semua lingkungan. Eksposur getaran dapat diukur pada antarmuka/*interfaces* antara tubuh dan sumber getaran. *Whole-body vibration* umumnya dianggap penting untuk diperhatikan jika memiliki frekuensi antara sekitar 0,5 hingga 100 Hz dan percepatan antara sekitar 0,01 hingga 10 m/s² (*peak*). *Root mean square* (r.m.s.) dari magnitudo getaran dapat menjadi indikator untuk mengidentifikasi tingkat keparahan kondisi getaran. Di Amerika Serikat, diperkirakan 8 juta pekerja terpapar getaran seluruh tubuh (*whole-body vibration*) atau getaran tersegmentasi ke bagian tubuh tertentu. Getaran seluruh tubuh dapat disebabkan oleh transmisi melalui struktur pendukung, contohnya yaitu kursi helikopter. Getaran ke bagian tubuh tertentu dapat disebabkan karena proses kerja seperti pemadatan (*compacting*), pengeboran (*drilling*), dan operasi gergaji mesin.

Getaran adalah gerak osilasi. Menurut definisi, gerakan osilasi tidak konstan tetapi bergantian lebih besar dan lebih kecil dari suatu nilai rata-rata. Tingkat osilasi menentukan besarnya getaran dan tingkat pengulangan siklus osilasi menentukan frekuensi getaran. Sifat osilasi dapat diprediksi dari pengetahuan osilasi sebelumnya (yaitu gerak deterministik) atau dapat dicirikan hanya memiliki beberapa sifat statistik (gerak stokastik, biasa disebut gerak acak). Getaran deterministik dan stokastik dapat dibagi lagi seperti pada gambar 2.17.



Gambar 2.17 Klasifikasi gerak osilasi

Hanya dengan getaran sinusoidal, sudah cukup dimungkinkan untuk mempelajari respons terhadap satu frekuensi gerakan. Oleh karena itu, banyak penelitian eksperimental laboratorium tentang respons manusia terhadap getaran mencoba menyelidiki reaksi terhadap getaran sinusoidal murni. Dalam praktiknya, ketidaksempurnaan dari penghasil getaran biasanya menghasilkan penyajian sinusoid yang terdistorsi (gerakan periodik kompleks atau multi-sinusoidal) yang mengandung campuran frekuensi yang berhubungan secara harmonis. Terdapat beberapa studi eksperimental tentang respons terhadap gerakan non-periodik deterministik (gerak transien/*transient* dan kejutan/*shock*).

Eksposur getaran yang ditemui selama bekerja, bepergian dan bersantai sering digambarkan sebagai acak. Untuk getaran acak 'stasioner', sampel yang dirata-ratakan selama periode yang cukup lama tidak tergantung pada periode saat sampel diambil. Beberapa studi eksperimental dengan getaran acak sinusoidal dan stasioner telah menyelidiki apakah respons manusia terhadap getaran acak dapat diprediksi dari pengetahuan tentang respons terhadap gerakan sinusoidal. Pengetahuan tentang hasil studi tersebut diperlukan sebelum hasil studi sinusoidal dapat diterapkan pada lingkungan getaran acak.

Tabel 2.1 Faktor Penentu pada Eksperimen Getaran Tubuh

Variabel	Macam	Contoh
Karakteristik getaran	Tipe	Sinus, acak/ <i>random</i> , nyata
	Magnitudo	Root mean square (r.m.s), <i>peak</i> , VDV, distribusi amplitudo
	Frekuensi	<i>Range, spectra</i>
	Arah	<i>x, y, z, roll, pitch, yaw</i>
	Posisi <i>input</i>	Ischial tuberosities, punggung, kaki
	Durasi	Tiap <i>motion</i> , total, <i>rest periods</i>
	Distorsi	<i>Acceleration waveform, background, cross-axis motions</i>
	Sumber pengukuran	Hidrolik, jenis kendaraan, posisi kursi, kondisi operasi
Kondisi lingkungan	Noise	<i>Level, spectra</i> , korelasi dengan getaran
	Cahaya	Tingkat iluminasi, <i>adaptation, viewing distance</i>
	Thermal	Temperatur, kelembaban, <i>airflow</i>
Kursi	Jenis	Nyata, simulasi, experimental di lab
	Komponen	<i>Squab</i> , sandaran punggung/kepala, posisi & orientasi kaki
	Dinamika	
	Posisi	Di atas vibrator, dalam ruang vibrator, di kendaraan
Kondisi tubuh	<i>Harness</i>	<i>Type, tension</i>
	Orentasi	Duduk, berdiri, berbaring, dll.
	Postur	Tegak, membungkuk, tidak terkendali, dll
Aktivitas	Deskripsi	Objektif (tujuan), <i>principles</i>
	Karakteristik informasi <i>input</i>	Ukuran <i>display</i> , posisi
	Karakteristik informasi <i>output</i>	Posisi kendali, <i>gain</i> kendali, dinamika kendali
	Perfromansi	Akurasi dan kecepatan
	<i>Training</i>	Pengalaman terdahulu, pengaruh pembelajaran
Penilaian subjektif	Metode	Peringkat (<i>rating</i>), perbandingan
	Instruksi	Persyaratan subjek, setelan (<i>set</i>)
	<i>Subject training</i>	
Karakteristik subjek	Jumlah	Jumlah orang : 1,2,3 dst.
	Jenis	Pilot, pengemudi truk, siswa, mahasiswa, peneliti
	Jenis kelamin	Pria, wanita
	Usia	
	Dimensi	Tinggi badan, panjang kaki, lingkaran pinggul
	Massa	Berat badan, momen inersia
	Postur	
	Pengalaman	Pengalaman akan getaran, akan kegiatan eksperimen
	Ekspektasi	
	Fisik	Kebugaran, kesehatan
Kepribadian	Tertutup (<i>introvert</i>), ekstrovert	

Tabel 2.1 menunjukkan faktor-faktor penting yang mempengaruhi saat melakukan studi eksperimen akan getaran tubuh (*body vibration*). Ketidaknyamanan yang ditimbulkan oleh getaran tubuh tergantung pada besar, frekuensi, arah, posisi kontak dengan tubuh dan durasi getaran. Selain itu, juga tergantung pada postur dan orientasi tubuh. Hal ini bervariasi antara individu yang berbeda (*inter-subject*) dan antara kondisi yang berbeda dari satu individu yang sama (*intra-subject*). Transmisi getaran ke orang yang duduk sangat dipengaruhi oleh kursi sehingga metode penilaian eksposur getaran biasanya dengan mengukur getaran pada antarmuka kursi-tubuh. Postur tubuh saat duduk dipengaruhi oleh desain kursi.

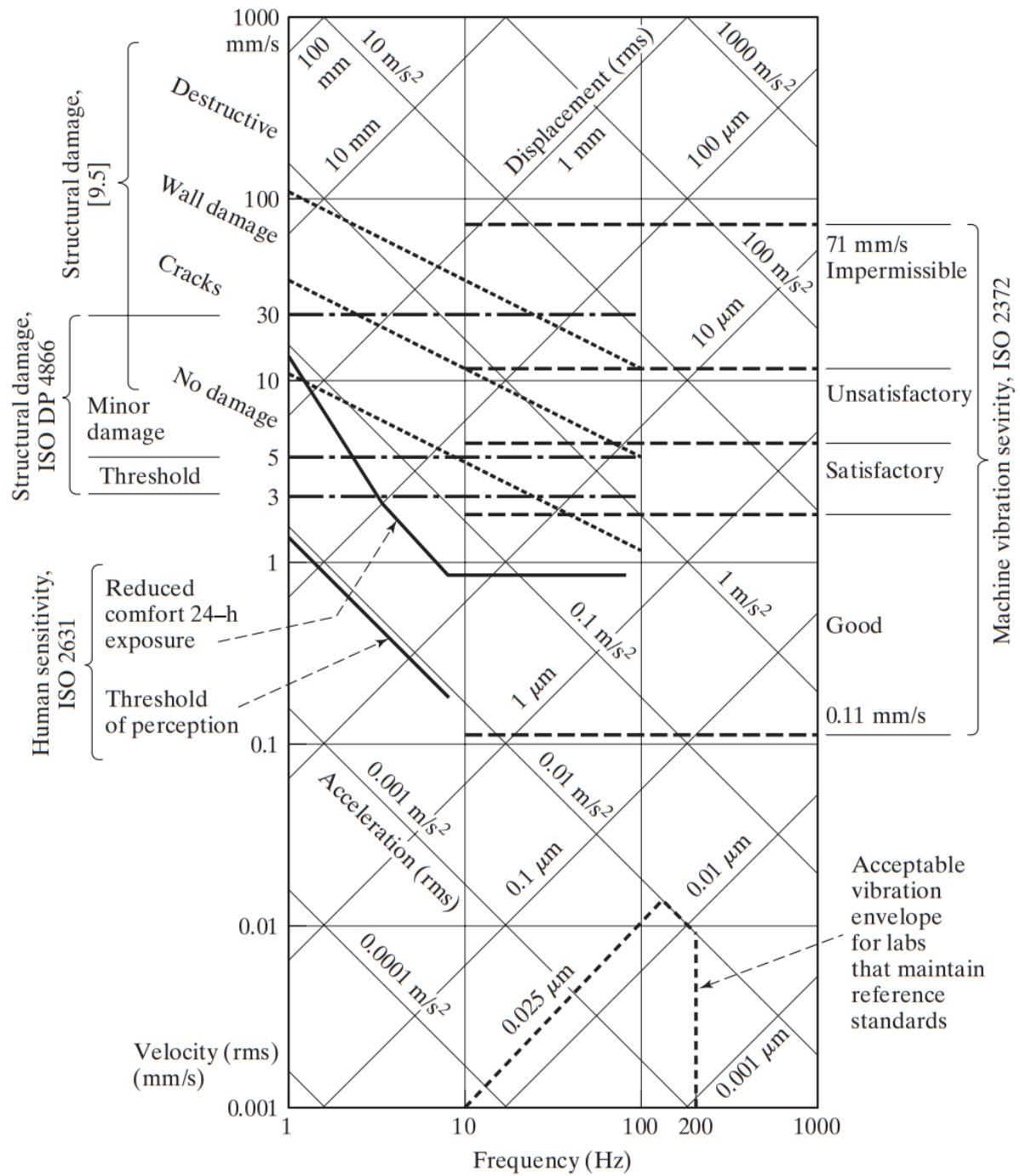
Kontur kenyamanan ekuivalen yang diperoleh dari subjek pada kursi yang tidak *rigid* (*compliant seat*) dapat diturunkan dari pengukuran getaran yang diperoleh di bawah kursi. Dengan cara ini, tidak dimungkinkan adanya variasi dinamika kursi dan peningkatan kenyamanan dengan mengoptimalkan transmisi kursi. Beberapa penelitian yang menyelidiki masalah ini telah menyarankan bahwa jika variabel lain tidak berubah, kontur yang diperoleh pada kursi datar yang kaku (*rigid*) serupa dengan yang diperoleh pada kursi *compliant*. Metode yang diusulkan untuk evaluasi eksposur getaran manusia biasanya mengasumsikan bahwa gerakannya stasioner dan bahwa nilai rata-rata yang representatif dapat digunakan untuk menunjukkan tingkat keparahan gerakan selama periode eksposur penuh. Dalam praktiknya, tentu saja kondisi getaran sering berubah dari waktu ke waktu. Sebuah benda tegar dapat berosilasi sehingga semua bagiannya mengalami gerak yang sama. Hal tersebut terjadi jika geraknya translasi. Jika benda tegar berotasi, tidak semua bagiannya mengalami gerak yang sama. Baik getaran translasi dan rotasi mempengaruhi respons manusia.

Tidak ada metode tunggal yang secara pasti bisa memprediksi ketidaknyamanan yang dihasilkan oleh *whole-body vibration*. Namun, dimungkinkan untuk menggunakan prosedur yang didasarkan pada hasil eksperimen yang dapat diulang dan memiliki keterbatasan yang lebih sedikit daripada metode sebelumnya. Metode-metode ini telah didefinisikan sedemikian rupa sehingga dapat diterapkan pada frekuensi tunggal atau frekuensi ganda atau acak, sumbu ganda, masukan ganda, translasi atau rotasi, terus menerus atau terputus-putus, getaran atau guncangan. Mayoritas studi lapangan tentang ketidaknyamanan getaran telah dilakukan di kendaraan jalan (*on road*). Metode pengukuran dan evaluasi getaran telah bervariasi dan berbagai macam teknik subjektif telah digunakan.

2.3.2 Standar Internasional ISO 2631

Standar Internasional ISO 2631 (*International Organization of Standardization*), “*Guide for the evaluation of human exposure to whole-body vibration*”, yang diterbitkan pada tahun 1974 dan diterbitkan ulang dengan koreksi editorial pada tahun 1978 dan 1985, menawarkan panduan tentang evaluasi ketidaknyamanan yang dihasilkan oleh getaran seluruh tubuh (*whole-body vibration*). Standar Internasional ISO 2631 dirancang untuk proses evaluasi gerakan dalam transportasi dan dekat mesin industri. Standar ini adalah salah satu yang sering dipakai.

Tingkat getaran yang dapat diterima tubuh seringkali ditentukan berdasarkan respons dari sistem *undamped single-degree-of-freedom* yang mengalami getaran harmonis. Batas-batas getaran tersebut ditunjukkan dalam grafik 2.2 yang disebut *vibration nomograph* yang menampilkan variasi perpindahan, kecepatan, dan amplitudo percepatan dan hubungannya terhadap frekuensi getaran. Dalam grafik tersebut juga ditunjukkan batas-batas yang direkomendasikan di ISO 2631 berkaitan dengan sensitifitas manusia terhadap getaran. Secara lebih mudah, pengaruh getaran tubuh terhadap kenyamanan menurut ISO 2631, dituliskan dalam tabel 2.2, dimana besaran yang ditinjau adalah percepatan dalam m/s^2 . Kriteria kenyamanan dibagi menjadi 6 bagian antara lain : Tidak ada keluhan, sedikit tidak nyaman, agak tidak nyaman, tidak nyaman, sangat tidak nyaman, dan amat sangat tidak nyaman.



Grafik 2.2 Nomograf getaran dan kriteria getaran

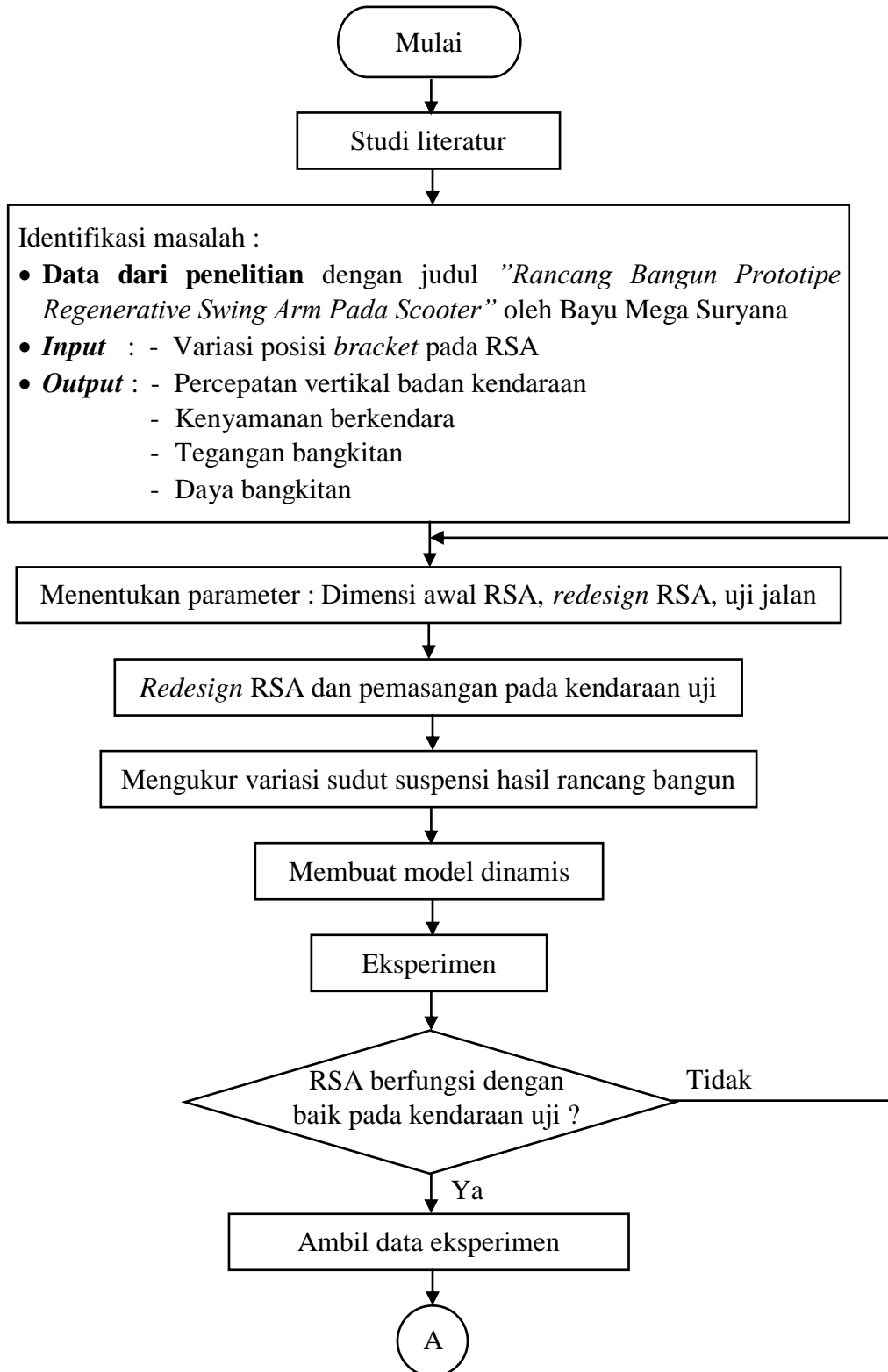
Tabel 2.2 Kriteria Kenyamanan Menurut ISO 2631 [13]

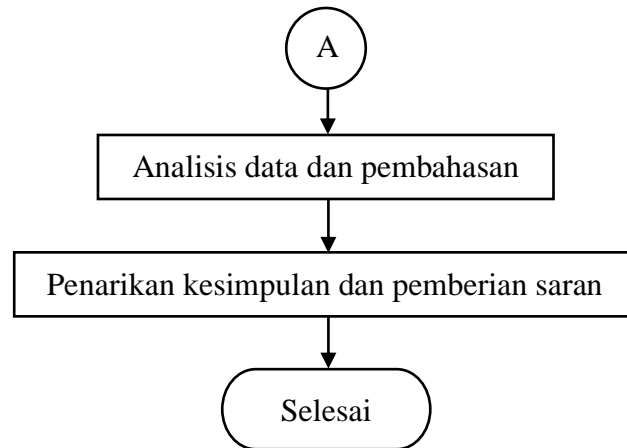
Getaran (a)	Keterangan
$a < 0,315 \text{ m/s}^2$	Tidak ada keluhan
$0,315 \text{ m/s}^2 < a < 0,63 \text{ m/s}^2$	Sedikit tidak nyaman
$0,5 \text{ m/s}^2 < a < 0,1 \text{ m/s}^2$	Agak tidak nyaman
$0,8 \text{ m/s}^2 < a < 1,6 \text{ m/s}^2$	Tidak nyaman
$1,25 \text{ m/s}^2 < a < 2,5 \text{ m/s}^2$	Sangat tidak nyaman
$a > 2 \text{ m/s}^2$	Amat sangat tidak nyaman

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Tahapan kegiatan pada penelitian ini digambarkan dalam diagram alir penelitian pada gambar 3.1 di bawah ini.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Penjelasan Tahap Penelitian

Berikut merupakan penjelasan dari diagram alir penelitian pada gambar 3.1.

3.2.1 Studi Literatur

Pada penulisan tugas akhir ini, diperlukan beberapa referensi untuk menunjang penelitian yang dilakukan. Untuk menambah pengetahuan, wawasan, serta landasan mengenai permasalahan yang dibahas, diperlukan studi literatur pada proses awal penelitian. Studi literatur yang dilakukan utamanya tentang *Regenerative Swing Arm* (RSA), getaran pada sepeda motor, suspensi, posisi suspensi, serta kenyamanan berkendara. Referensi untuk studi literatur didapat dari buku, jurnal ilmiah, dan penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan. Penelitian ini merupakan penelitian lanjutan dari penelitian Tugas Akhir "*Rancang Bangun Prototipe Regenerative Swing Arm Pada Scooter*" oleh Bayu Mega Suryana pada tahun 2022 sehingga studi literatur terhadap penelitian tersebut dilakukan sebagai langkah awal identifikasi masalah.

3.2.2 Identifikasi Masalah

Pada penelitian ini, dilakukan eksperimen terhadap benda uji yaitu *Regenerative Swing Arm* (RSA) pada sepeda motor listrik (*e-scooter*) melalui uji jalan (*road test*). Eksperimen dilakukan dengan tujuan mengetahui pengaruh posisi suspensi terhadap energi listrik bangkitan dari RSA dan kenyamanan berkendara. RSA yang digunakan pada penelitian ini adalah RSA yang sama dengan yang digunakan pada penelitian "*Rancang Bangun Prototipe Regenerative Swing Arm Pada Scooter*" oleh Bayu Mega Suryana pada tahun 2022, sehingga data awal RSA diambil dari penelitian tersebut dan digunakan sebagai parameter penelitian.

Parameter masukan (*input*) yang ditentukan dari penelitian ini yaitu 3 buah *bracket* pada RSA sebagai variasi posisi suspensi, uji jalan melewati polisi tidur pada jalan paving blok dengan kecepatan 25 km/h dan dikendarai 1 orang yaitu penulis sendiri dengan massa badan sebesar 80 kg. Digunakan kecepatan yang cukup besar yaitu 25 km/h dan jalan yang memberikan amplitudo posisi yang juga cukup besar yaitu polisi tidur agar dapat dengan mudah diperoleh data yang secara jelas menunjukkan perbedaan hasil antar variasi.

Parameter luaran (*output*) dari penelitian ini antara lain respon dinamis pada badan kendaraan yaitu percepatan vertikal dan tegangan bangkitan RSA yang didapat dari pengukuran. Luaran lain yaitu tingkat kenyamanan berkendara dan daya bangkitan yang didapatkan dari pengolahan data hasil pengukuran.

3.2.3 Penentuan Parameter

Parameter dimensi awal RSA yang didapat dari penelitian [9] dituliskan di tabel 3.1 dan merujuk pada skema di gambar 2.2. Pada penelitian ini, dilakukan *redesign* RSA untuk memberikan variasi posisi suspensi serta untuk menyesuaikan geometri dan dimensinya dengan rangka VOLTA 302 agar bisa dilakukan pemasangan. Variasi posisi diberikan dengan membuat 3 buah bantalan bawah (*bracket*) peredam kejut (*shock absorber*). Parameter *redesign* RSA dituliskan di tabel 3.2 dan merujuk pada skema di gambar 3.7. Dipastikan *clearance* (gambar 3.4) pada semua variasi suspensi bernilai aman, tidak lebih kecil dari tinggi polisi tidur.

Parameter uji jalan dituliskan di tabel 3.3. Digunakan *e-scooter* VOLTA 302 sebagai kendaraan uji (gambar 3.2). Skuter tersebut didapatkan dari bekas penelitian terdahulu di laboratorium RVSO di Teknik Mesin ITS. Uji jalan dilakukan (dikendarai) oleh penulis dengan massa 80 kg. Digunakan *shock absorber* orisinil dari VOLTA 302. Uji jalan dilakukan dengan mengendarai kendaraan uji dengan kecepatan 25 km/h melewati polisi tidur pada jalan paving blok (gambar 3.5) di depan PUI-SKO ITS.

Tabel 3.1 Parameter Dimensi Awal RSA

Parameter	Nilai	Satuan
Panjang poros	240	mm
Panjang <i>swing arm</i>	410	mm

Tabel 3.2 Parameter *Redesign* RSA

Parameter	Nilai	Satuan
Panjang poros	180	mm
Diameter lubang ketiga <i>bracket</i>	10	mm
Jarak pusat <i>bracket</i> C terhadap pusat poros roda	80	mm
Jarak pusat <i>bracket</i> B terhadap pusat <i>bracket</i> C	50	mm
Jarak pusat <i>bracket</i> A terhadap pusat <i>bracket</i> B	50	mm
<i>Clearance</i> roda dengan kendaraan pada suspensi posisi A	200	mm
<i>Clearance</i> roda dengan kendaraan pada suspensi posisi B	175	mm
<i>Clearance</i> roda dengan kendaraan pada suspensi posisi C	130	mm

Tabel 3.3 Parameter Uji Jalan

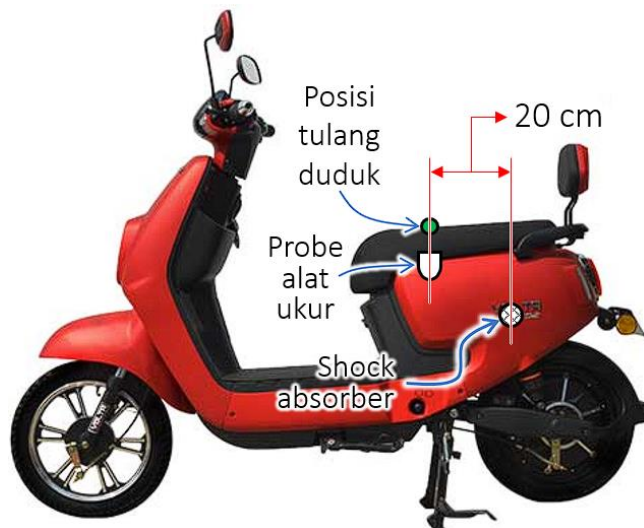
Parameter	Keterangan	Nilai	Satuan
Model	Tipe/model kendaraan uji	VOLTA 302	-
P_m	Daya motor kendaraan (<i>brushless</i> DC)	650	watt
V_{maks}	Kecepatan maksimal kendaraan	40	km/h
m_{maks}	Kapasitas beban kendaraan	150	kg
N_p	Jumlah pengendara	1	-
m_p	Massa pengendara	80	kg
l_{rest}	Panjang <i>shock absorber</i> (antar pusat lubang)	300	mm
t_b	Tinggi polisi tidur (<i>speed bump</i>)	100	mm
a	Posisi pengukuran (tempat duduk) terhadap suspensi belakang	200	mm

Tabel 3.4 Parameter Generator

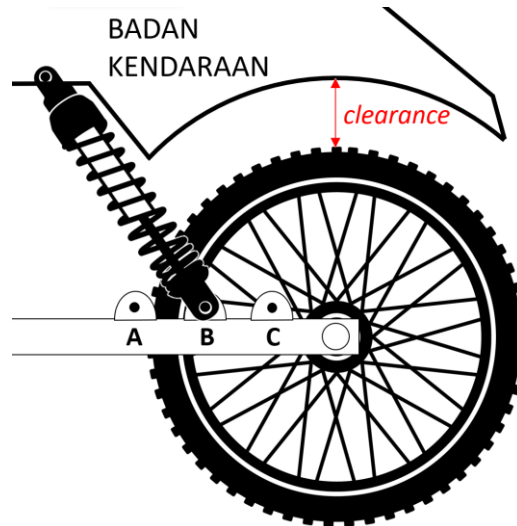
Parameter	Nilai
Tipe	Generator Listrik AC
Voltase	200 V
Daya Maksimal	100 Watt
Rpm Maksimal	5000 Rpm
Torsi	0,64 Nm



Gambar 3.2 Kendaraan uji (dinomarket.com)



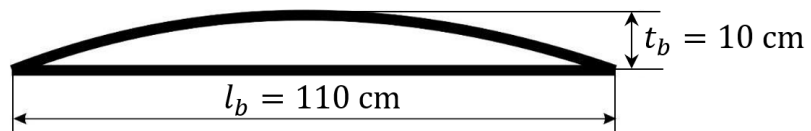
Gambar 3.3 Posisi tulang duduk
(sumber gambar skuter : produk.radityabali.com)



Gambar 3.4 Skema *clearance*

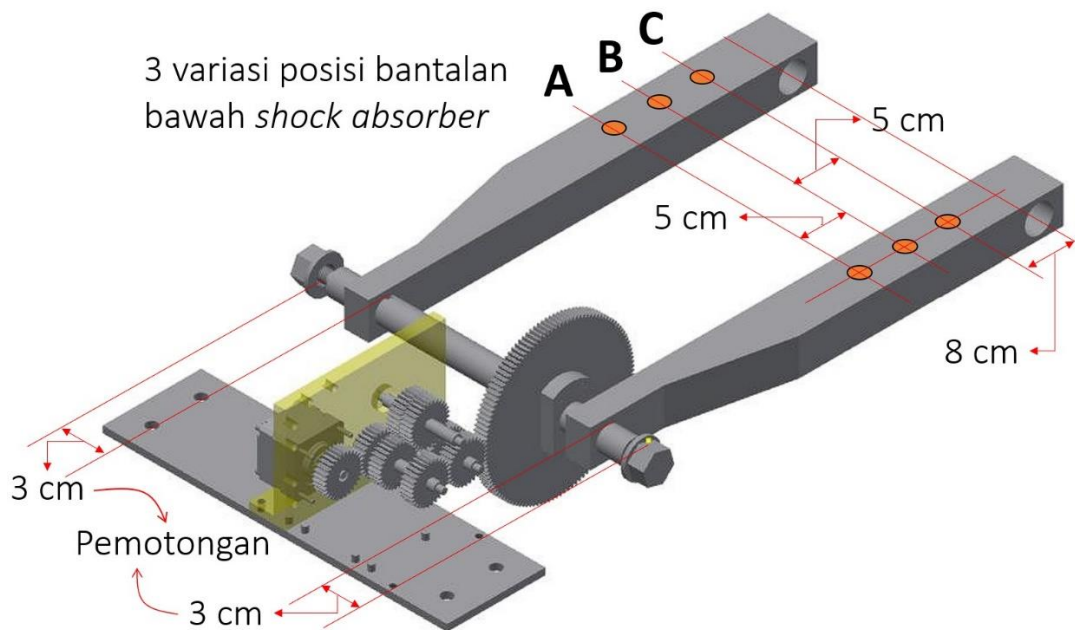


Gambar 3.5 Polisi tidur pengujian



Gambar 3.6 Skema polisi tidur pengujian

3.2.4 Redesign RSA dan Pemasangan pada Kendaraan Uji



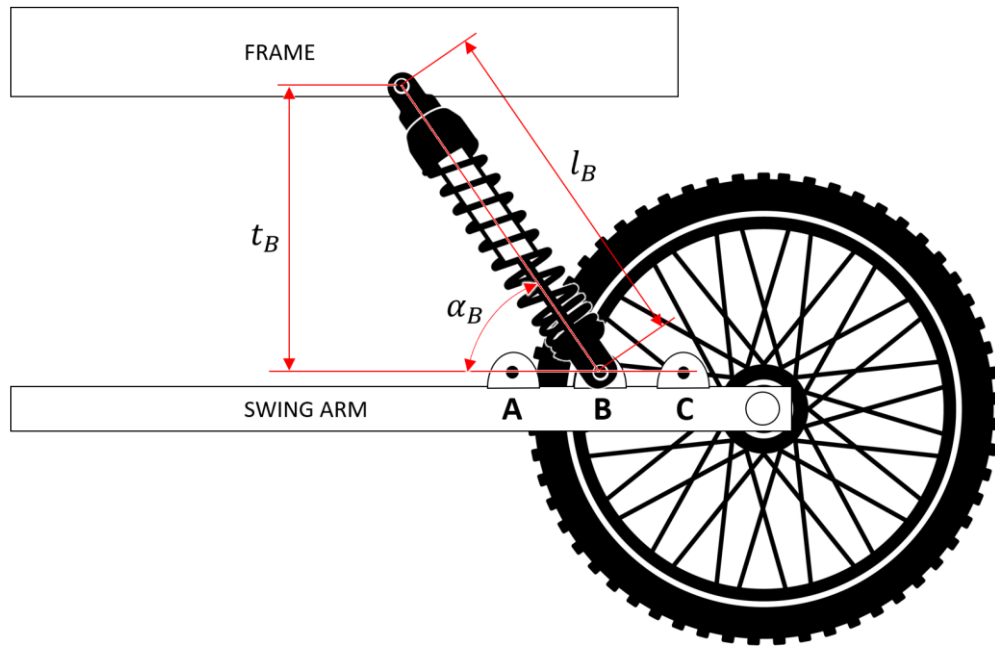
Gambar 3.7 Skema *redesign* RSA

Dilakukan rancang bangun *redesign* RSA sesuai dengan skema pada gambar 3.7. Poros RSA perlu dipendekkan dengan cara dipotong agar sesuai dengan rangka VOLTA 302. *Bracket* yang dibuat oleh Suryana [9] dilepas karena membuat *shock absorber* terlalu miring. Dirancang 3 buah *bracket* baru dengan jarak antar *bracket* seperti pada parameter di tabel 3.3. Pemasangan RSA pada VOLTA 302 dilakukan dengan memasang *shock absorber* ke *bracket* (bantalan) atas pada rangka dan bawah pada lengan ayun, poros RSA beserta transmisi dan generatornya ke rangka skuter, lubang RSA ke poros/*axle* roda belakang. Permesinan dilakukan di bengkel UPT Koperasi, Sidoarjo. Semua kebutuhan komponen dan pekerjaan disediakan bengkel tersebut.

3.2.5 Pengukuran Variasi Sudut Suspensi

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Benjamin G. Tentua [8], diketahui bahwa sudut suspensi merupakan parameter posisi suspensi yang secara signifikan mempengaruhi kenyamanan. Dalam penelitian ini, variasi posisi suspensi diberikan dengan membuat 3 variasi posisi *bracket*/bantalan bawah *shock absorber*. Untuk dapat melakukan analisis yang lebih rinci dan menyeluruh, perlu juga diketahui berapa variasi sudut suspensi yang dihasilkan dari variasi posisi *bracket* tersebut.

Karena geometri *swing arm* dan rangka VOLTA 302 yang tidak beraturan, sulit diestimasi berapa nilai sudutnya. Maka untuk mengetahui sudut suspensi, dilakukan pengukuran setelah permesinan dan pemasangan selesai. Pengukuran sudut dilakukan dengan mengukur besaran panjang menggunakan mistar/penggaris kemudian dilakukan perhitungan trigonometri. Skema pengukuran dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Skema pengukuran sudut suspensi

Gambar 3.8 menunjukkan skema pengukuran sudut suspensi B dimana pengukuran dilakukan menggunakan mistar pada :

l_B = Panjang peredam/*shock absorber* (pusat bantalan bawah ke pusat bantalan atas)

t_B = Tinggi suspensi B (jarak vertikal antar pusat bantalan bawah dan atas).

Sudut suspensi B, α_B , didapatkan dengan rumus :

$$\alpha_B = \sin^{-1} \frac{t_B}{l_B} \quad (3.1)$$

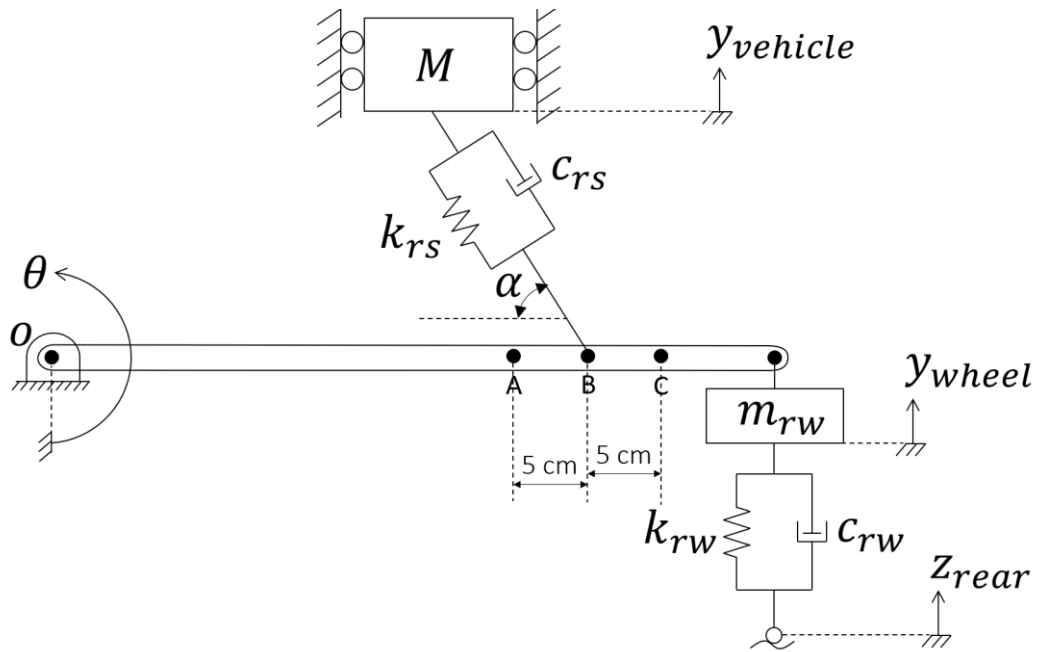
Jika posisi suspensi dirubah ke depan, posisi rangka terangkat dan jika ke belakang, posisi rangka turun. Karena proyeksi beban pada peredam berubah, panjang peredam juga berubah. Sehingga sudut suspensi A dan C dirumuskan :

$$\alpha_A = \sin^{-1} \frac{t_A}{l_A} \quad (3.2)$$

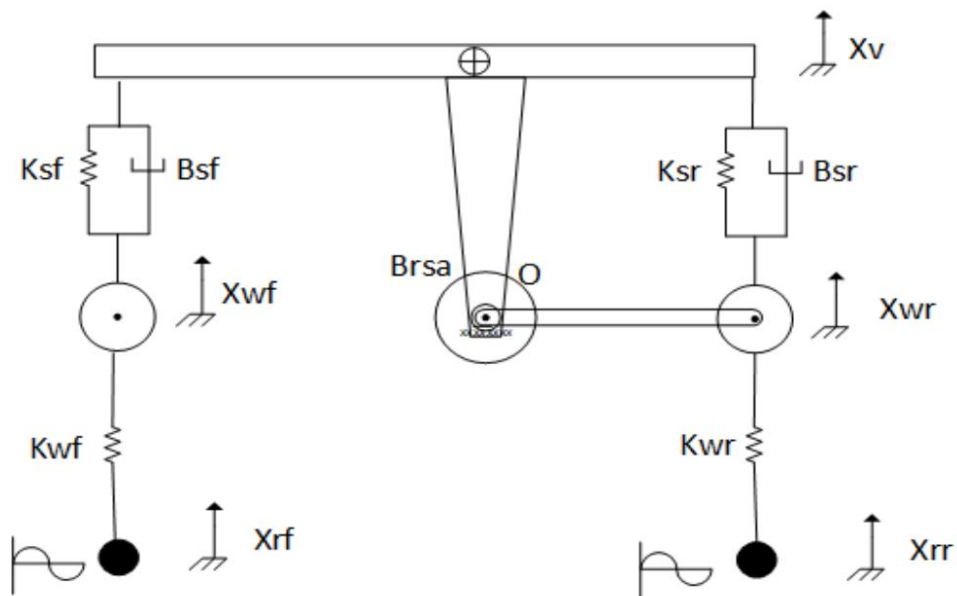
$$\alpha_C = \sin^{-1} \frac{t_C}{l_C} \quad (3.3)$$

3.2.6 Model Dinamis

Untuk memberikan pemahaman yang lebih baik akan fenomena fisik yang terjadi dan diteliti pada eksperimen di penelitian ini, dibuatlah model dinamis. Gambar 3.9 merupakan model dinamis RSA relatif terhadap porosnya. Gambar 3.10 merupakan model dinamis kendaraan uji dengan RSA yang diambil dari penelitian sebelumnya oleh Pradhana R. Wibowo.

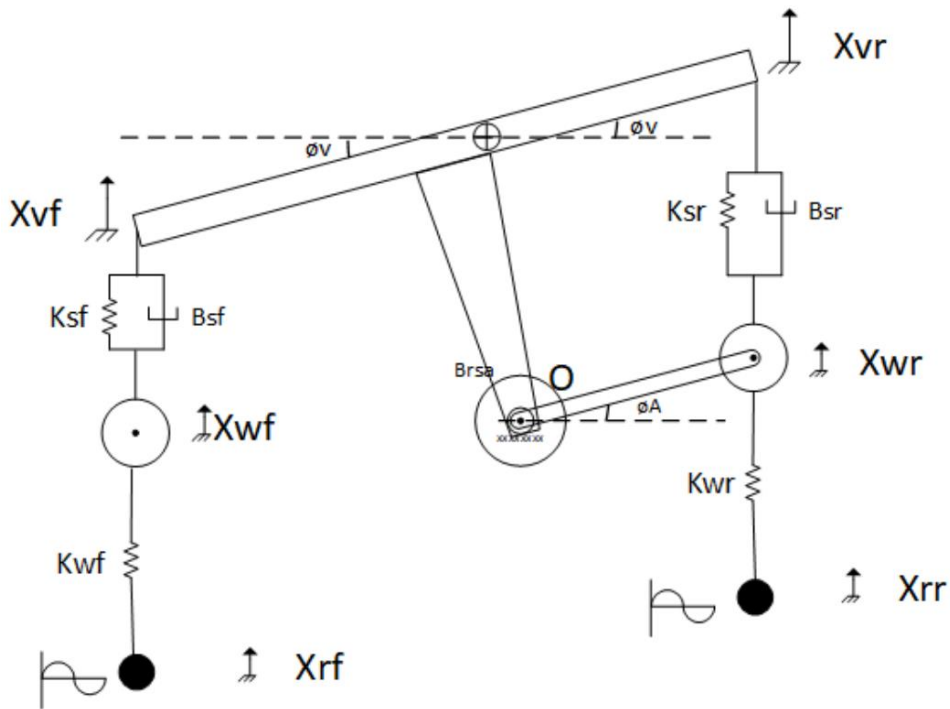


Gambar 3.9 Model Dinamis RSA Relatif Terhadap Porosnya



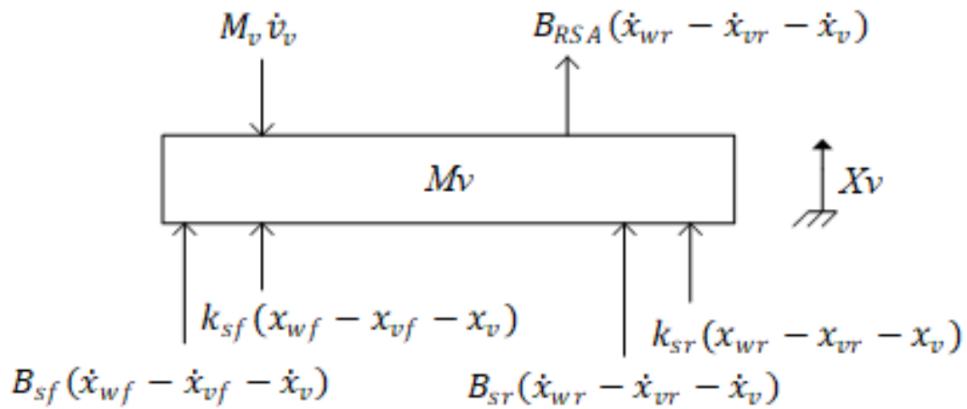
Gambar 3.10 Model Dinamis Kendaraan Uji [13]

Dari model dinamis tersebut kemudian dibagi menjadi dua persamaan gerak yaitu persamaan gerak dari massa kendaraan dan persamaan gerak dari sistem RSA yang meliputi *swing arm*, roda dan transmisi roda gigi. Pada pemodelan ini juga ditinjau gerak *pitch*, dimana terdapat momen putar dari bagian depan dan belakang kendaraan dengan sumbu putar pada titik pusat massa. Gerak *pitching* diilustrasikan pada gambar 3.11.



Gambar 3.11 *Pitching Model Dinamis Kendaraan Uji* [13]

Pemodelan sistem dinamis massa pada kendaraan sepeda motor melibatkan hal yang langsung berhubungan dengan massa kendaraan yaitu sistem suspensi standar/konvensional dari kendaraan yang tetap dipertahankan dalam sistem yaitu pada roda depan serta gaya redam dari RSA yaitu pada roda belakang.

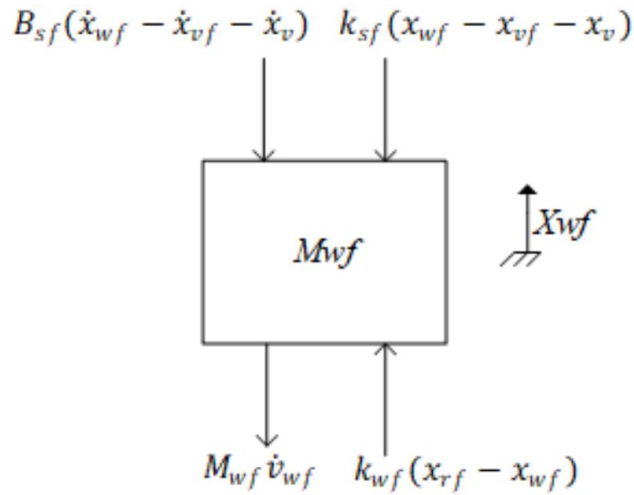


Gambar 3.12 *Free Body Diagram Massa Kendaraan* [13]

Dari *free body diagram* diatas, maka didapat persamaan dinamis sebagai berikut :

$$M_v \dot{v}_v - k_{sf}(x_{wf} - x_{vf} - x_v) - B_{sf}(\dot{x}_{wf} - \dot{x}_{vf} - \dot{x}_v) - k_{sr}(x_{wr} - x_{vr} - x_v) - B_{sr}(\dot{x}_{wr} - \dot{x}_{vr} - \dot{x}_v) = 0 \dots\dots\dots (3.4)$$

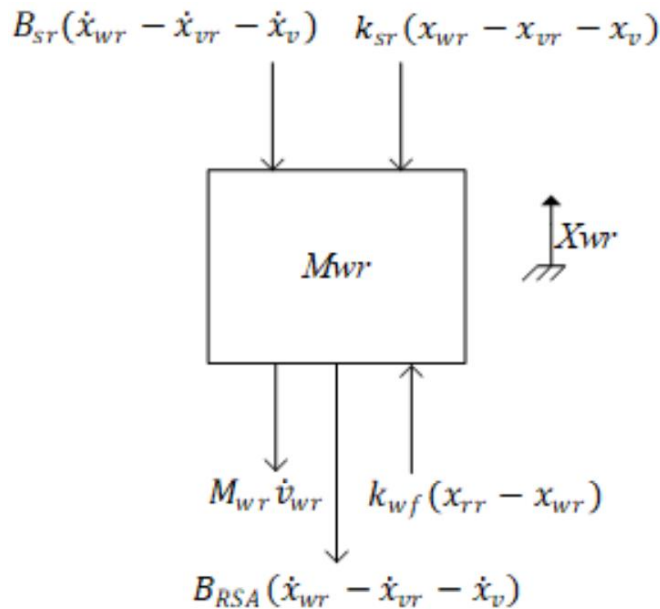
Kemudian pemodelan ditinjau dari masing-masing roda baik roda depan maupun belakang. Pemodelan yang ditinjau dari roda meliputi sistem suspensi kendaraan serta konstanta kekakuan dari ban. Koefisien redam dari ban diabaikan.



Gambar 3.13 Free Body Diagram Massa Roda Depan Kendaraan [13]

Persamaan massa roda depan kendaraan adalah sebagai berikut :

$$-M_{wf}\dot{v}_{wf} + k_{wf}(x_{rf} - x_{wf}) - k_{sf}(x_{wf} - x_{vf} - x_v) - B_{sf}(\dot{x}_{wf} - \dot{x}_{vf} - \dot{x}_v) = 0 \dots\dots(3.5)$$



Gambar 3.14 Free Body Diagram Massa Roda Belakang Kendaraan [13]

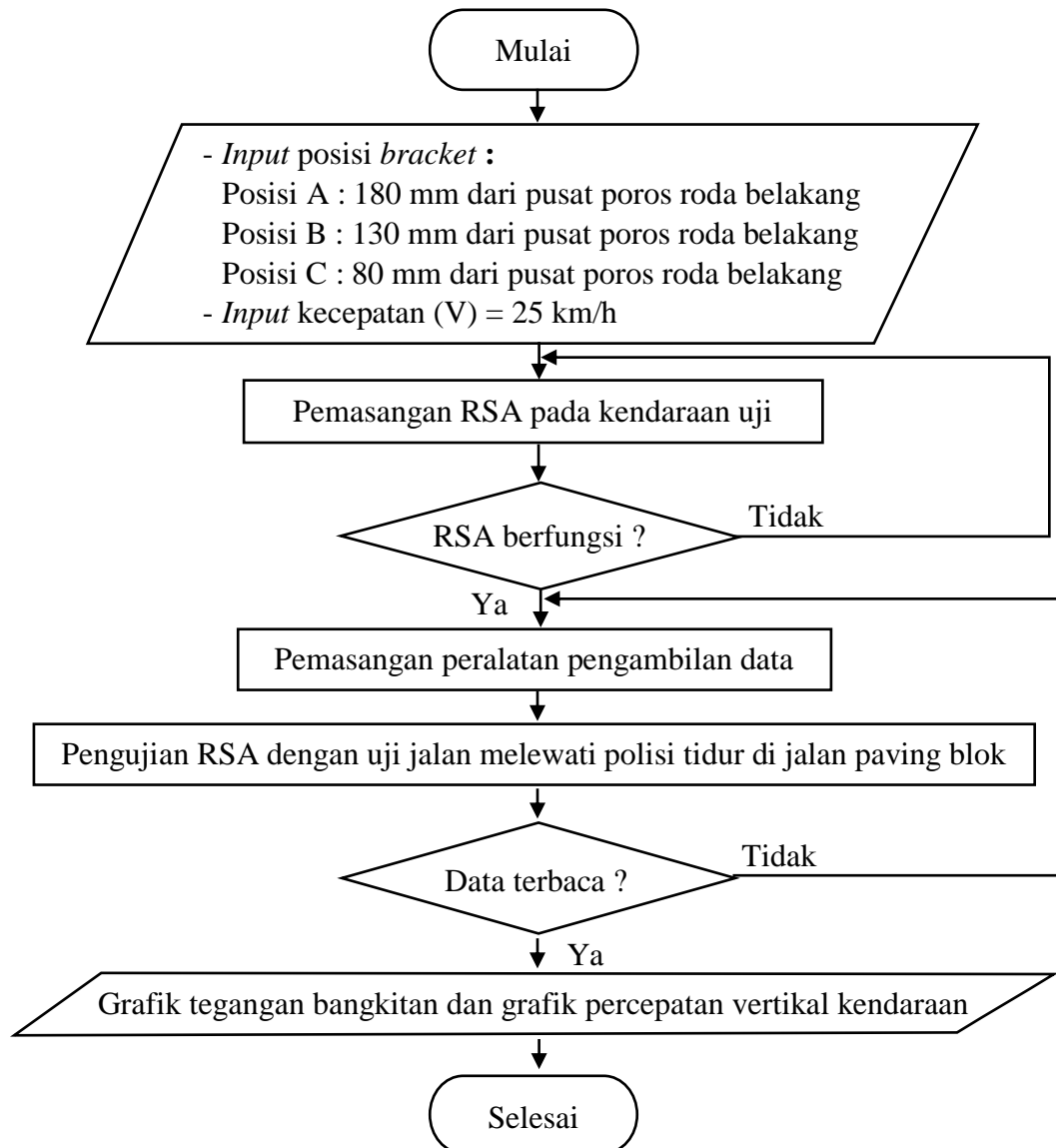
Persamaan massa roda kendaraan belakang adalah sebagai berikut :

$$-M_{wr}\dot{v}_{wr} + k_{wr}(x_{rr} - x_{wr}) - k_{sr}(x_{wr} - x_{vr} - x_v) - B_{sr}(\dot{x}_{wr} - \dot{x}_{vr} - \dot{x}_v) - B_{RSA}(\dot{x}_{wr} - \dot{x}_{vr} - \dot{x}_v) = 0 \dots\dots\dots(3.6)$$

Keterangan :

M_v	=	Massa Bodi Kendaraan
x_v	=	Perpindahan Bodi Kendaraan
x_{vf}	=	Perpindahan Bodi Kendaraan bagian Depan
x_{vr}	=	Perpindahan Bodi Kendaraan bagian Belakang
M_{wf}	=	Massa Roda Depan
M_{wr}	=	Massa Roda Belakang
k_{wf}	=	Konstanta kekakuan ban depan
k_{wr}	=	Konstanta kekakuan ban belakang
x_{wf}	=	Perpindahan ban depan
x_{wr}	=	Perpindahan ban belakang
k_{sf}	=	Konstanta kekakuan pegas suspensi depan
k_{sr}	=	Konstanta kekakuan pegas suspensi belakang
B_{sf}	=	Konstanta <i>damping</i> suspensi depan
B_{sr}	=	Konstanta <i>damping</i> suspensi belakang
x_{rf}	=	Input jalan ban depan
x_{rr}	=	Input jalan ban belakang

3.2.7 Eksperimen dan Pengambilan Data



Gambar 3.15 Diagram Alir Eksperimen

Gambar 3.15 merupakan diagram alir eksperimen dari penelitian ini. Eksperimen dilakukan dengan uji jalan menggunakan *e-scooter* VOLTA 302. Lokasi eksperimen adalah di jalan paving blok melewati polisi tidur (*speed bump*). Diberikan variasi posisi suspensi yaitu *bracket* A, B, dan C dengan jarak antar pusat yaitu 5 cm. Kecepatan yang digunakan yaitu 25 km/h. Setelah membuat 3 buah *bracket*, RSA dipasang pada kendaraan uji lalu dicoba apakah RSA berfungsi dengan baik. Jika RSA tidak berfungsi dengan baik, dilakukan kembali pemasangan RSA dengan cara yang berbeda hingga RSA berfungsi dengan baik. Jika RSA berfungsi dengan baik, dilakukan pemasangan peralatan pengambilan data pada kendaraan uji. Setelah itu dilakukan pengujian RSA dengan uji jalan (*road test*) melewati polisi tidur di jalan paving blok. Peralatan pengambilan data diperiksa apakah data terbaca. Jika data tidak terbaca, dilakukan pemasangan ulang peralatan pengambilan data dengan cara yang berbeda hingga data terbaca dengan baik. Jika data terbaca, didapatkan grafik tegangan bangkitan dan percepatan vertikal kendaraan sebagai data hasil eksperimen.

3.2.8 Analisis Data dan Pembahasan

Setelah tahap eksperimen, data hasil eksperimen diambil kemudian dianalisis dan dibahas sesuai dengan tujuan penelitian. Luaran dari penelitian ini antara lain pemasangan RSA, percepatan vertikal kendaraan, tegangan dan daya bangkitan, serta tingkat kenyamanan berkendara. Informasi daya bangkitan RSA didapatkan dari pengolahan data tegangan dan tingkat kenyamanan berkendara didapatkan dari pengolahan data percepatan vertikal. Kriteria kenyamanan ditentukan berdasarkan standar kenyamanan ISO 2631 sesuai tabel 2.4.

3.2.9 Penarikan Kesimpulan dan Pemberian Saran

Tahap ini menjelaskan ulang tentang hasil yang diperoleh dari penelitian ini dalam bentuk poin-poin ringkasan yang secara jelas menjawab rumusan masalah. Dalam tahap ini juga diberikan saran untuk membantu penelitian lebih lanjut di masa mendatang.

3.3 Instalasi Peralatan Pengambilan Data

Dalam pengambilan data, digunakan peralatan-peralatan sebagai berikut :

1. Akselerometer (*Accelerometer*)

Akselerometer mengukur respon dinamis getaran yaitu percepatan. Digunakan akselerometer Omega ACC103 dengan spesifikasi pada lampiran 1. Pada gambar 3.16, dapat dilihat akselerometer yang digunakan terdiri dari *probe* berwarna merah yang responsif terhadap getaran dan memiliki magnet untuk bisa ditempelkan ke benda uji. Akselerometer hanya mengukur percepatan dalam satu arah.



Gambar 3.16 *Accelerometer* Omega ACC103

2. Osiloskop (*Oscilloscope*)

Oscilloscope adalah pengukur tegangan. Digunakan Osiloskop Tektronix TBS1104 (lampiran 2). Akselerometer mengukur percepatan dengan menghasilkan perubahan tegangan bila ada gerakan dengan nilai percepatan tertentu. Besar tegangan ini dipengaruhi oleh besar percepatan yang dialami oleh akselerometer . Osiloskop membaca oslisasi tegangan dari akselerometer kemudian mengonversinya menjadi data percepatan.



Gambar 3.17 *Oscilloscope* Tektronix TBS1104

3. Power Supply

Memperkuat sinyal dari *accelerometer* ke *oscilloscope* agar data terbaca dengan baik.



Gambar 3.18 Power Supply

4. Inverter Tegangan DC ke AC

Mengubah tegangan listrik DC yang dihasilkan oleh aki *e-scooter* VOLTA 302 menjadi tegangan listrik AC untuk memberi daya pada *oscilloscope*.



Gambar 3.19 Inverter Tegangan DC ke AC

5. Penggaris Spirit Level

Mengukur atau menentukan sebuah benda atau garis dalam posisi rata baik pengukuran secara menegak atau mendatar.



Gambar 3.20 Penggaris Spirit Level

6. *Probe* Tegangan

Pada gambar 3.21 merupakan *Probe* tegangan berfungsi untuk mengetahui nilai tegangan yang dihasilkan generator RSA.



Gambar 3.21 *Probe* Tegangan

7. *Resistor*

Pada gambar 3.22 merupakan *Resistor* berfungsi sebagai pembeban elektrik atau sebagai hambatan elektrik. Pada penelitian ini digunakan resistor dengan tipe *wirewound*. *Resistor* tipe ini dapat diatur nilai hambatannya pada rentang 0 – 50 ohm dengan daya maksimal mencapai 60 W.



Gambar 3.22 *Resistor* tipe *wirewound*

8. Dioda 3 Fasa

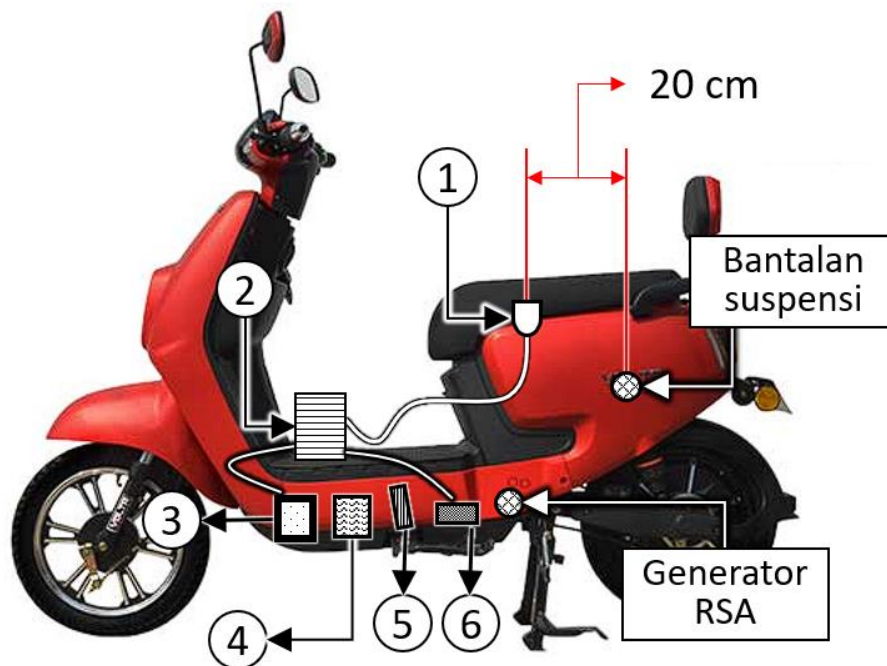
Dioda 3 fasa berfungsi untuk mengubah arus output 3 fasa AC dari generator menjadi arus 1 fasa DC yang langsung dapat dibaca oleh *osilloscope*. Untuk gambar dari dioda 3 fasa dapat dilihat pada gambar 3.23 di bawah.



Gambar 3.23 Dioda 3 Fasa

3.4 Instalasi Peralatan Pengambilan Data

Pada saat pengambilan data, semua peralatan diletakkan pada *footstep* depan skuter VOLTA 302. Urutan pemasangan peralatan yang pertama yaitu inverter dengan tegangan DC dari sumber daya pada baterai skuter elektrik menjadi AC melalui kabel. Setelah daya terhubung, arus AC dari inverter dapat dihubungkan dengan *oscilloscope*. Kemudian channel 3 pada *oscilloscope* dihubungkan pada probe tegangan yang telah tersambung dengan kabel dari generator *Swing arm* RSA. Pemasangan kabel dipastikan tidak terbalik antara arus positif dan negatif. Channel 2 *oscilloscope* dihubungkan dengan *power supply* dan *accelerometer*. *Accelerometer* sendiri dipasangkan pada bagian atas dari suspensi skuter elektrik. Akselerometer diletakkan di bawah jok pada titik di bawah tulang duduk pengendara. Penulis mencoba duduk dan mendapatkan posisi duduk 20 cm dari suspensi belakang.



Gambar 3.24 Skema instalasi peralatan pengambilan data

Keterangan :

1. Akselerometer
2. Osiloskopo
3. *Inverter* DC to AC
4. Generator
5. *Probe* tegangan
6. Dioda 3 fasa

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Rancang Bangun dan Pemasangan *Redesign Regenerative Swing Arm*

Prinsip kerja dari *regenerative swing arm* yaitu dengan mengubah gerakan naik turun dari *swing arm* menjadi gerakan rotasional yang ditransmisikan melalui transmisi *spur gear* dengan memanfaatkan *one way bearing* sehingga didapatkan gerakan rotasional yang searah. Hal pertama yang harus diperhatikan dalam *redesign swing arm* adalah dimensi lokasi pemasangan *regenerative swing arm* pada *e-scooter VOLTA 302*. Prototipe *regenerative swing arm* yang sebelumnya telah dibuat oleh Bayu Mega Suryana pada tahun 2022 memiliki dimensi yang berbeda dengan lokasi pemasangan pada *e-scooter VOLTA 302* sehingga perlu dilakukan *redesign*.

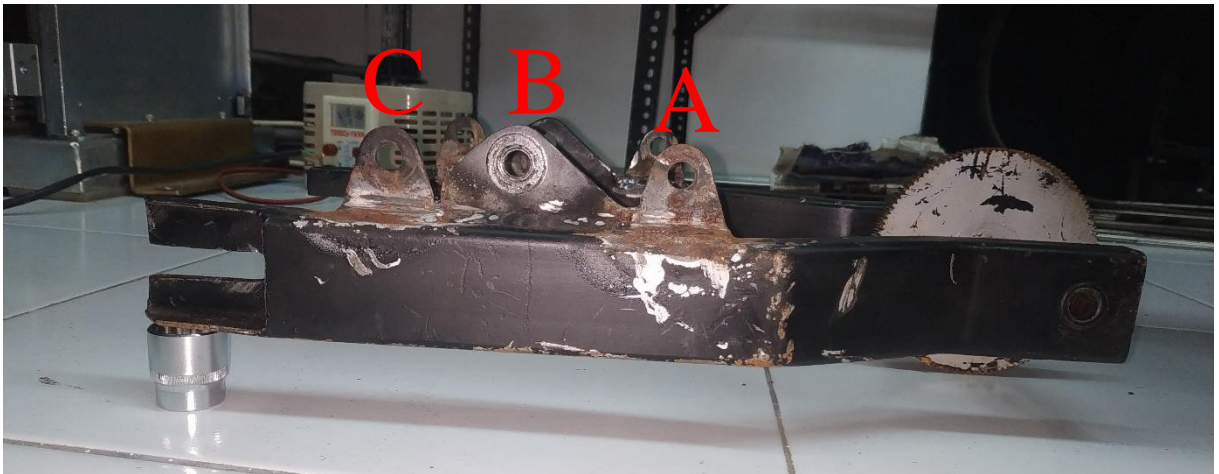
Tahapan pertama yaitu melakukan pengukuran dimensi pada lokasi pemasangan *swing arm*. Setelah dilakukan pengukuran dimensi, didapatkan lebar *swing arm* yang tidak sesuai dengan lebar dudukan *swing arm* pada skuter VOLTA 302. Dimensi lebar poros RSA perlu dipendekkan dengan cara dipotong agar sesuai dengan rangka VOLTA 302. Dimensi lebar poros *swing arm* yang awalnya 240 mm menjadi 180 mm sesuai dengan lebar dudukan pada *e-scooter VOLTA 302*. Setelah dimensi didapatkan, dilakukan *redesign* RSA dan dikerjakan oleh bengkel yang berlokasi di sekitar kawasan Keputih, Surabaya. Berikut gambar 4.1 merupakan *swing arm* hasil *redesign* yang telah dilakukan.



Gambar 4.1 Hasil *Redesign* lebar *Swing Arm*

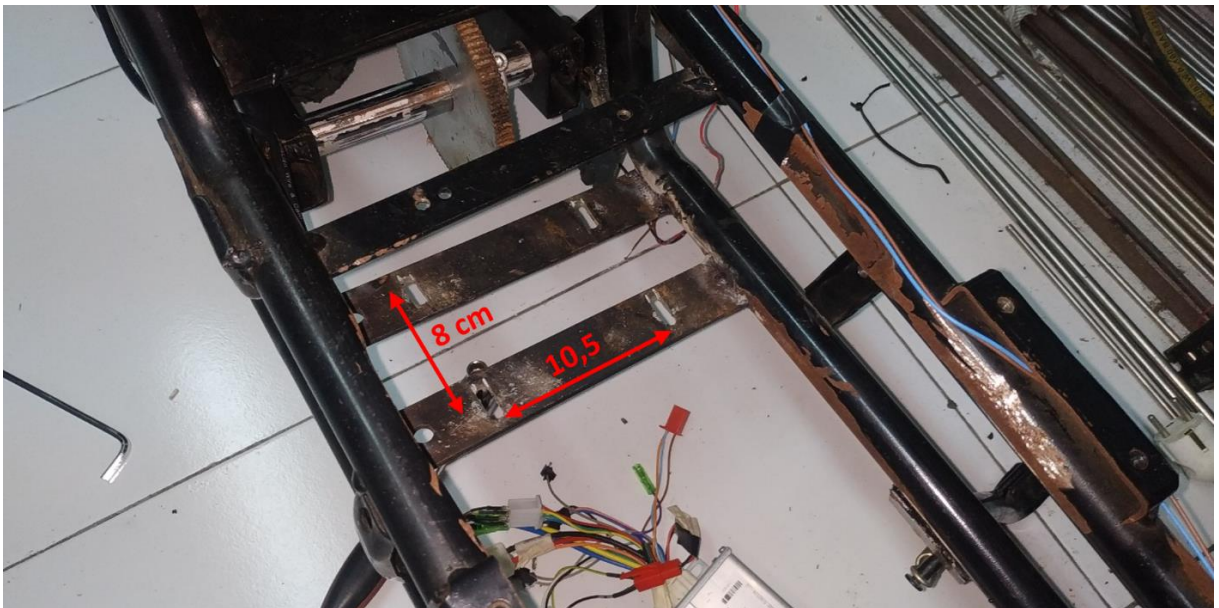
Tahapan selanjutnya yaitu merubah posisi *bracket shock absorber* yang dirancang oleh Suryana [9] karena jarak posisi *bracket* terlalu jauh dari poros *swing arm* sehingga membuat sudut suspensi menjadi terlalu miring yang mengakibatkan *ground clearance* kendaraan menjadi terlalu rendah. Jarak yang awalnya 290 mm menjadi 250 mm dan akan menjadi variasi posisi suspensi B pada gambar 4.2. Selanjutnya dilakukan penambahan dudukan baru masing-

masing berjarak 5 cm untuk menjadi variasi posisi *shock absorber* A dan C dalam penelitian ini. Berikut gambar 4.2 Hasil *redesign* untuk variasi posisi *bracket shock absorber*.



Gambar 4.2 Hasil *Redesign* untuk Variasi Posisi *bracket Shock Absorber*

Tahapan selanjutnya yaitu membuat *bracket* transmisi dari RSA pada *frame* skuter VOLTA 302. Lokasi penempatan *bracket* disesuaikan dengan pengukuran yang telah dilakukan dan dijelaskan pada bab 3. Berikut ini gambar 4.3 merupakan hasil fabrikasi dudukan transmisi *regenerative swing arm*.



Gambar 4.3 Dudukan Transmisi *Regenerative Swing Arm*

4.1.1 Pengujian *E-Scooter* VOLTA 302

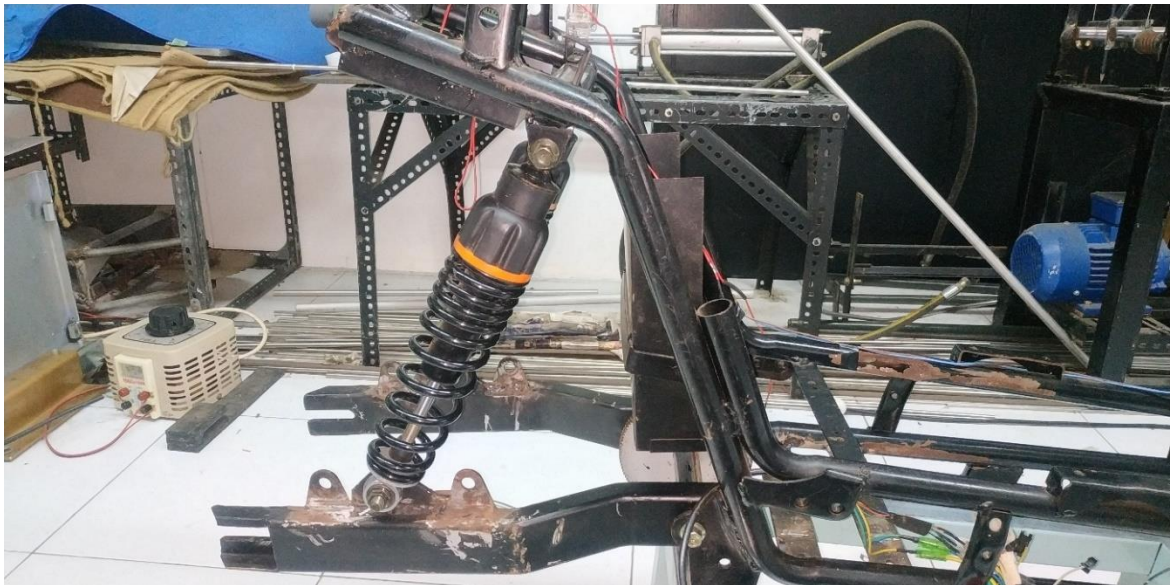
Sebelum dilakukan pengambilan data, perlu dilakukan pengecekan fungsi dari skuter VOLTA 302. Pengecekan yang perlu dilakukan yang pertama yaitu tekanan ban yang diatur sesuai dengan tekanan standar. Selanjutnya skuter VOLTA 302 dilakukan tes jalan untuk mengetahui bahwa seluruh komponen pada skuter berfungsi dengan baik. selain itu skuter VOLTA 302 harus dipastikan dapat menyuplai daya yang digunakan untuk menyuplai daya peralatan pengujian berupa *oscilloscope*. Setelah semua komponen pada skuter VOLTA 302

dipastikan berfungsi dengan baik, langkah selanjutnya yaitu memasang *regenerative swing arm* pada skuter VOLTA 302.

4.1.2 Pemasangan *Regenerative Swing Arm* pada *E-Scooter* VOLTA 302

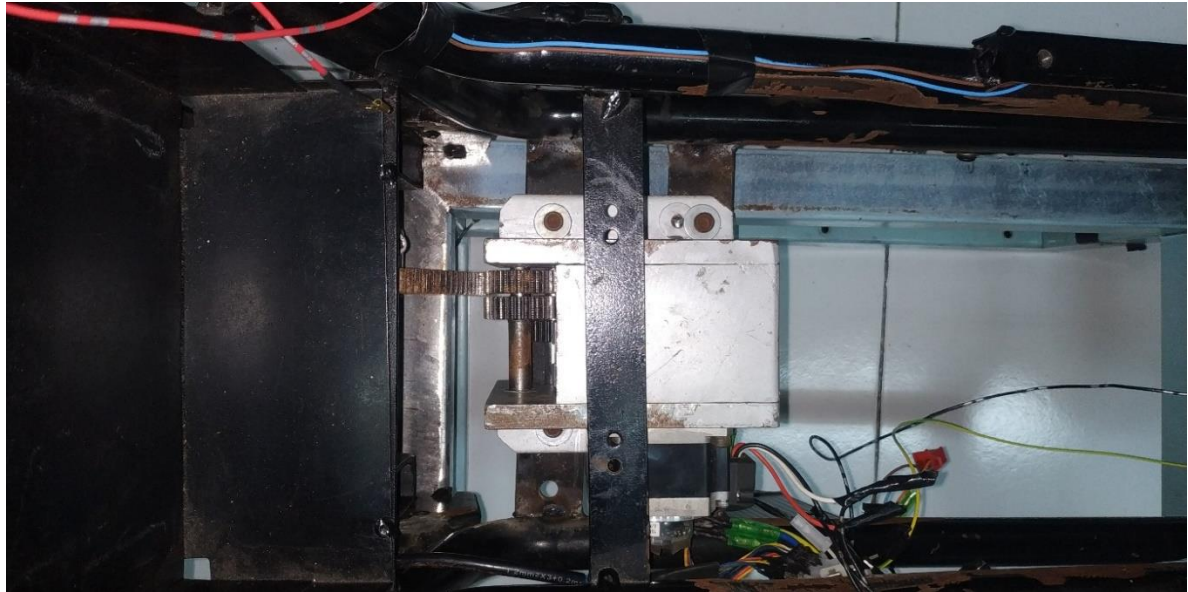
Setelah dimensi *swing arm* sesuai, dudukan transmisi dibuat, dan seluruh komponen skuter VOLTA 302 dipastikan dalam kondisi baik, langkah selanjutnya yaitu merakit semua komponen *regenerative swing arm* pada frame skuter VOLTA 302. Skuter VOLTA 302 dipilih karena memiliki ruang yang cukup luas di bagian frame bawah sehingga memungkinkan dipasangkan sistem RSA. Selain itu, Laboratorium Rekayasa Sistem Vibrasi dan Otomotif telah tersedia skuter VOLTA 302 yang dapat digunakan untuk penelitian mahasiswa.

Dalam pemasangan sistem *regenerative swing arm* pada skuter VOLTA 302 terdapat beberapa tahapan yang perlu dilakukan. Tahapan pertama yaitu memasang *swing arm* dan suspensi *shock absorber* pada *frame* skuter VOLTA 302. Gambar pemasangan *swing arm* pada skuter VOLTA 302 dapat dilihat pada gambar 4.4 di bawah ini.



Gambar 4.4 Pemasangan *Swing Arm* dan *Shock Absorber* pada frame VOLTA 302

Langkah selanjutnya yaitu memasang transmisi *regenerative swing arm* pada dudukan yang telah dibuat pada *e-scooter* VOLTA 302. Hal yang perlu diperhatikan dalam pemasangan transmisi *regenerative swing arm* yaitu *spur gear* yang terdapat pada *gear* transmisi harus dipastikan terpasang dengan sempurna sehingga *power lost* pada transmisi dapat diminimalisir.



Gambar 4.5 Pemasangan Transmisi *Regenerative Swing Arm* pada *frame* VOLTA 302

Setelah transmisi RSA terpasang, langkah selanjutnya yaitu memasang roda belakang dan juga *body cover* dari *e-scooter* VOLTA 302. Selain itu juga mencoba memasang *shock absorber* jika dipasangkan pada dudukan suspensi di posisi A, posisi B, dan Posisi C. Hasil pemasangan *shock absorber* pada variasi posisi *bracket* suspensi pada skuter listrik VOLTA 302 ditunjukkan pada gambar 4.6, 4.7, dan 4.8 di bawah ini.



Gambar 4.6 Posisi *Shock Absorber* RSA pada Variasi Posisi Dudukan Suspensi A



Gambar 4.7 Posisi *Shock Absorber* RSA pada Variasi Posisi Dudukan Suspensi B



Gambar 4.8 Posisi *Shock Absorber* RSA pada Variasi Posisi Dudukan Suspensi C

4.2 Sudut Suspensi

Berdasarkan skema pengukuran sudut suspensi pada gambar 3.8, pengukuran sudut dilakukan dengan mengukur besaran panjang menggunakan mistar kemudian dilakukan perhitungan trigonometri. Berikut hasil pengukurannya :

$$l_A = l_B = l_C = 29,5 \text{ cm}$$

$$t_A = 29,5 \text{ cm}$$

$$t_B = 27 \text{ cm}$$

$$t_C = 26 \text{ cm}$$

Sudut suspensi B :

$$\alpha_B = \sin^{-1} \frac{27}{29,5} = 66,24^\circ$$

Sudut suspensi C :

$$\alpha_C = \sin^{-1} \frac{26}{29,5} = 61,8^\circ$$

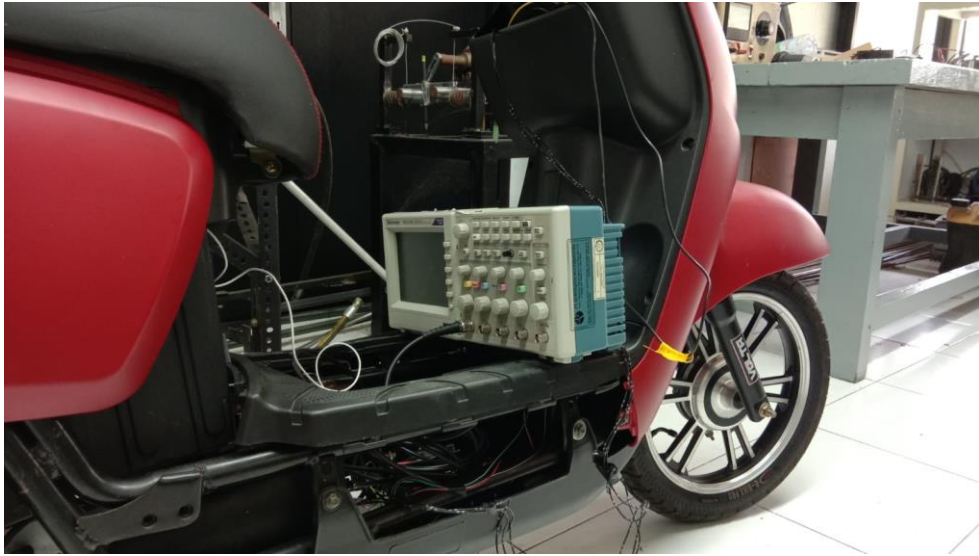
Sudut suspensi A :

$$\alpha_A = \sin^{-1} \frac{29,5}{29,5} = 90^\circ$$

Berdasarkan perhitungan di atas, diperoleh sudut suspensi terbesar pada saat suspensi berada pada posisi A dengan dimensi 90° . Lalu untuk di posisi B sebesar $66,24^\circ$ dan di posisi C sebesar $61,8^\circ$.

4.3 Instalasi Peralatan Pengambilan Data

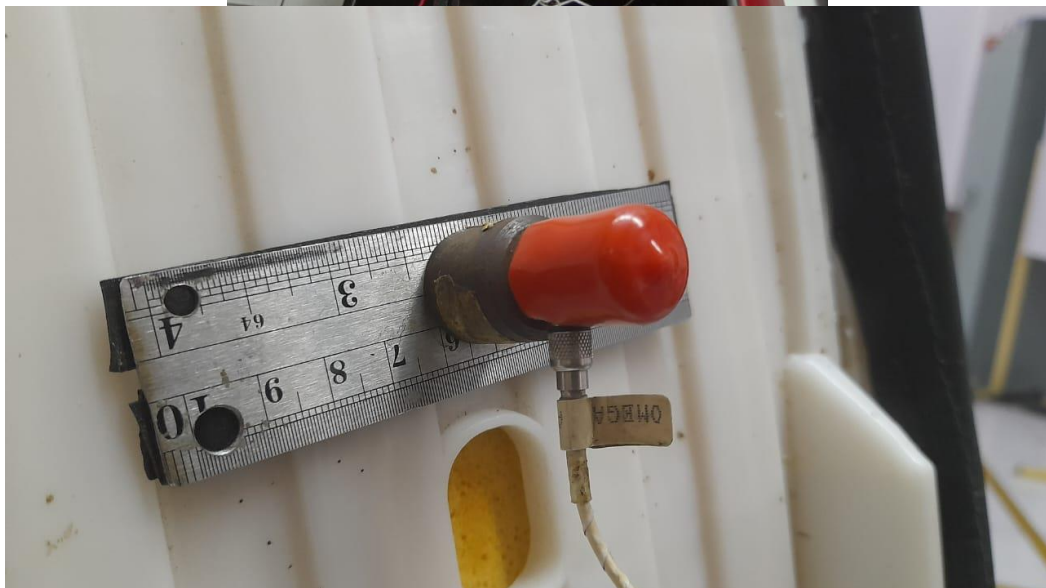
Setelah *regenerative swing arm* Terpasang pada skuter Volta 302, langkah selanjutnya yaitu melakukan instalasi peralatan pengambilan data. Peralatan pengambilan data yang digunakan terdiri dari *Oscilloscope* Textronik TBS1104, *converter* tegangan DC ke AC, *inverter*, *accelerometer*, dan *probe* tegangan. Selain itu terdapat *resistor wirewound* yang diatur untuk memberikan hambatan sebesar 15 ohm untuk menghitung daya bangkitan yang dihasilkan. Pada saat proses pengambilan data, sebagian peralatan diletakkan dibawah *footstep* skuter VOLTA 302. Urutan pemasangan peralatan pengambilan data yang pertama yaitu *Inverter* DC ke AC dihubungkan pada sumber daya dari baterai skuter VOLTA 302 yang terletak pada *port controller*. Setelah *Inverter* terhubung, daya dihubungkan ke *oscilloscope*. Selanjutnya channel 2 pada *oscilloscope* dihubungkan pada *power supply* yang telah terhubung pada *accelerometer*. Untuk penempatan *accelerometer* ada di balik jok kursi skuter listrik VOLTA 302. Selanjutnya channel 3 *oscilloscope* dihubungkan pada *probe* tegangan yang telah terhubung dengan dioda 3 fasa. Dioda 3 fasa telah terhubung dengan output dari generator. Instalasi peralatan pengambilan data dapat dilihat pada gambar 4.9, 4.10, 4.11, dan 4.12 di bawah ini.



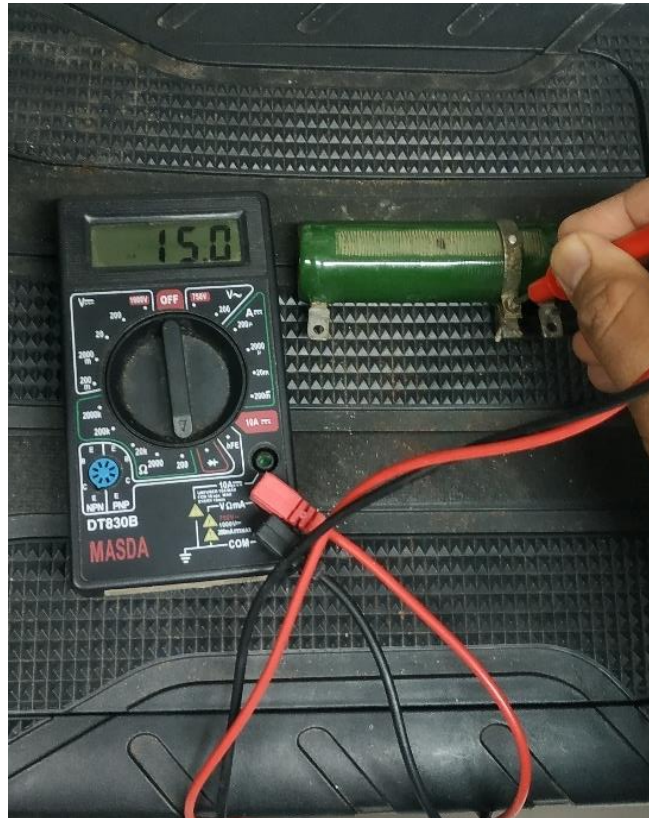
Gambar 4.9 Lokasi penempatan *oscilloscope*



Gambar 4.10 Posisi penempatan *inverter* dan *power supply*



Gambar 4.11 Lokasi penempatan *accelerometer*



Gambar 4.12 Pengukuran Hambatan

4.4 Eksperimen

Pengujian dilakukan di dalam lingkungan kampus Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya yang dilakukan oleh satu orang yaitu penulis dengan mengendarai *e-scooter* VOLTA 302 dengan kecepatan 25 km/h pada jalan paving blok melewati polisi tidur dan juga melakukan pengukuran untuk pengambilan data dengan menggunakan osiloskop.

Osiloskop diatur untuk mengambil data selama 10 detik, namun data yang digunakan adalah pada detik ke-1 hingga detik ke-8 karena adanya kurva transien pada awal dan akhir yang dapat mengakibatkan data menjadi tidak valid.

4.5 Analisis Hasil Pengambilan Data

Sistem *Regenerative Swing Arm* yang terpasang pada skuter VOLTA 302 dapat menghasilkan energi dengan memanfaatkan gerakan naik turun *swing arm* yang menghasilkan gerakan rotasional pada *spur gear*. Gerakan rotasional pada *spur gear* dimanfaatkan untuk memutar generator sehingga dapat menghasilkan energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan generator kemudian dicatat oleh *oscilloscope* dan dilakukan pengolahan data pada *software* Microsoft Excel untuk menghilangkan *noise*. Untuk mendapatkan daya bangkitan, dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

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

Keterangan :

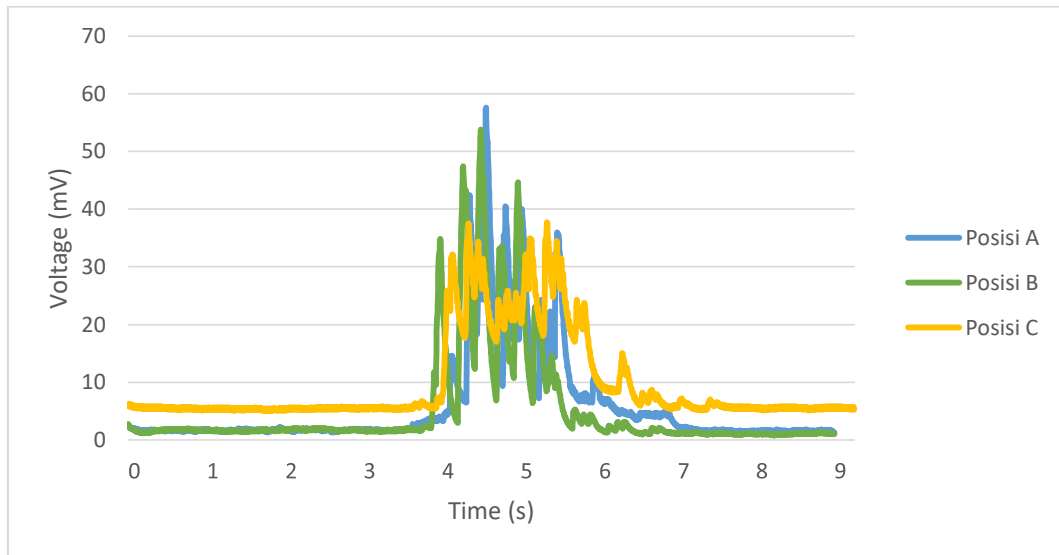
P = Daya (W)

V = Tegangan (V)

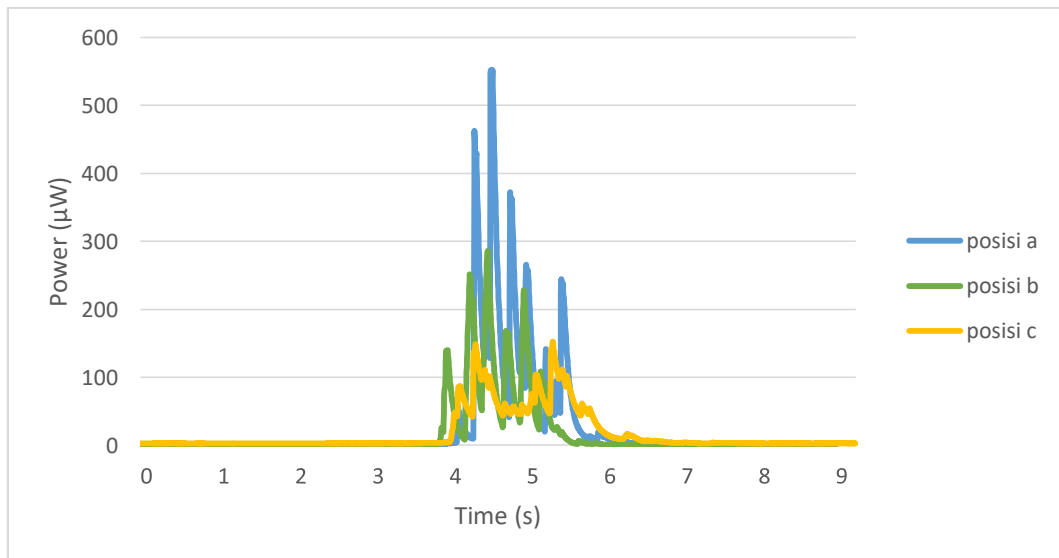
R = Hambatan (Ω)

4.5.1 Analisis Tegangan Bangkitan dan Daya Bangkitan *Regenerative Swing Arm*

Hambatan yang digunakan sebesar 15 Ohm seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Tegangan dan daya bangkitan yang telah diperoleh dari generator dengan variasi posisi dudukan suspensi dan kecepatan 25 km/h melewati polisi tidur disajikan di bawah ini.



(a)



(b)

Grafik 4.1 Grafik (a) Tegangan, (b) Daya Bangkitan melewati Polisi Tidur

Pada grafik 4.1 (a) dan (b) dapat dilihat bahwa tegangan maksimum yang didapatkan pada saat skuter VOLTA 302 terjadi pada variasi posisi suspensi A melalui polisi tidur pada kecepatan 25 km/h sebesar 57,589 mV dengan daya bangkitan maksimum sebesar 551,9 μ W. Lalu untuk nilai tegangan pada posisi suspensi B sebesar 53,797 mV dengan daya bangkitan sebesar 285,7 μ W dan untuk nilai tegangan pada posisi suspensi C sebesar 32,75 mV dengan daya bangkitan sebesar 152,1 μ W.

Pada saat melalui polisi tidur, dapat dilihat pada grafik 4.1 (a) dan (b) tersusun atas sebuah 1 puncak tertinggi dan beberapa puncak kecil. Puncak tertinggi diperoleh ketika roda belakang skuter VOLTA 302 menghentak polisi tidur. Sedangkan untuk puncak kecil diperoleh ketika roda belakang masih melalui jalan berpaving dan roda depan menghentak polisi tidur sehingga ada gaya *pitching* yang terjadi pada *frame* skuter VOLTA 302 yang membuat *swing arm* belakang ikut bergerak namun tidak signifikan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *regenerative swing arm* yang terpasang pada skuter VOLTA 302 dapat menghasilkan listrik ketika melalui polisi tidur namun dalam waktu yang singkat.

Dengan melihat grafik 4.1 (a) dan (b) dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut suspensi yang terdapat pada posisi A, maka tegangan dan daya bangkitan yang dihasilkan oleh *regenerative swing arm* yang terpasang pada skuter listrik VOLTA 302 yang melalui polisi tidur akan semakin besar. Hal ini terjadi karena semakin besar sudut suspensi saat melalui polisi tidur maka frekuensi dari *regenerative swing arm* akan semakin meningkat sehingga putaran dari generator akan meningkat dan menghasilkan tegangan dan daya bangkitan yang semakin besar.

4.5.2 Analisis Respon Percepatan Vertikal Skuter Listrik VOLTA 302 pada polisi tidur

Data yang telah didapatkan diolah dengan memasukkan data yang diperoleh dari *oscilloscope* ke *software* Microsoft Excel. Data dari probe tegangan diolah terlebih dahulu untuk mendapatkan data daya bangkitan. Kemudian data dari *accelerometer* diolah untuk mendapatkan data percepatan. Data yang telah diolah tersebut kemudian dilakukan *smoothing* pada *software* Microsoft Excel. Setelah proses *smoothing*, data dapat ditampilkan dalam bentuk grafik tegangan bangkitan, grafik daya bangkitan, dan grafik percepatan vertikal pada masing-masing variasi yang dilakukan. Untuk mengonversi data tegangan dari *accelerometer* menjadi percepatan vertikal dapat dicari dengan rumus sebagai berikut.

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

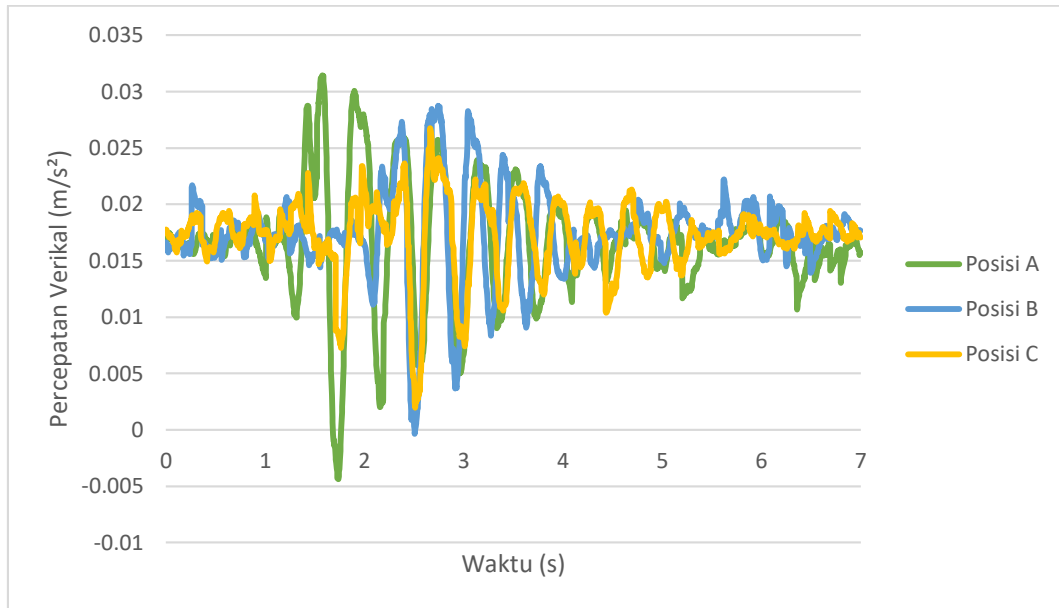
Keterangan :

\ddot{x} = Percepatan Vertikal (m/s²)

G = Tegangan dari *Accelerometer*

g = Percepatan Gravitasi (m/s)

Nilai G didapat dari data yang tercantum dalam *excel* dikalikan dengan skala pembacaan pada *oscilloscope*. Sebagai contoh jika data yang diperoleh dari *oscilloscope* adalah 0,234 dengan skala pembacaan *oscilloscope* sebesar 50 mV maka nilai $G = 0,234 \times 50 \text{ mV}$.



Grafik 4.2 Grafik Perbandingan Respon Percepatan Vertikal *E-Scooter* VOLTA 302 antara sistem suspensi konvensional, RSA posisi A, RSA posisi B, dan RSA posisi C pada polisi tidur dengan kecepatan 25 km/h

Berdasarkan grafik 4.2 di atas, saat *shock absorber* berada pada posisi A, nilai percepatan vertikal maksimum pada *regenerative swing arm* yang didapat sebesar 0,031451 m/s². Lalu pada posisi B nilai yang didapat sebesar 0,028758 m/s² dan pada posisi C nilai yang didapat sebesar 0,026737 m/s².

Jika diamati bahwa dari masing-masing nilai percepatan vertikal maksimum yang didapat, nilai yang paling besar didapat pada saat *shock absorber* pada *regenerative swing arm* berada pada posisi A. Hal ini dikarenakan dengan semakin bertambahnya sudut suspensi, maka respon percepatan vertikal ke arah y semakin membesar. Saat melewati polisi tidur terdapat lonjakan yang tinggi pada grafik saat *e-scooter* VOLTA 302 melewati polisi tidur dengan *bump* yang tinggi. Selain itu sebelum dan sesudah lonjakan itu terdapat lonjakan grafik kecil yang disebabkan kontur jalan paving yang tidak rata.

4.6 Root Mean Square

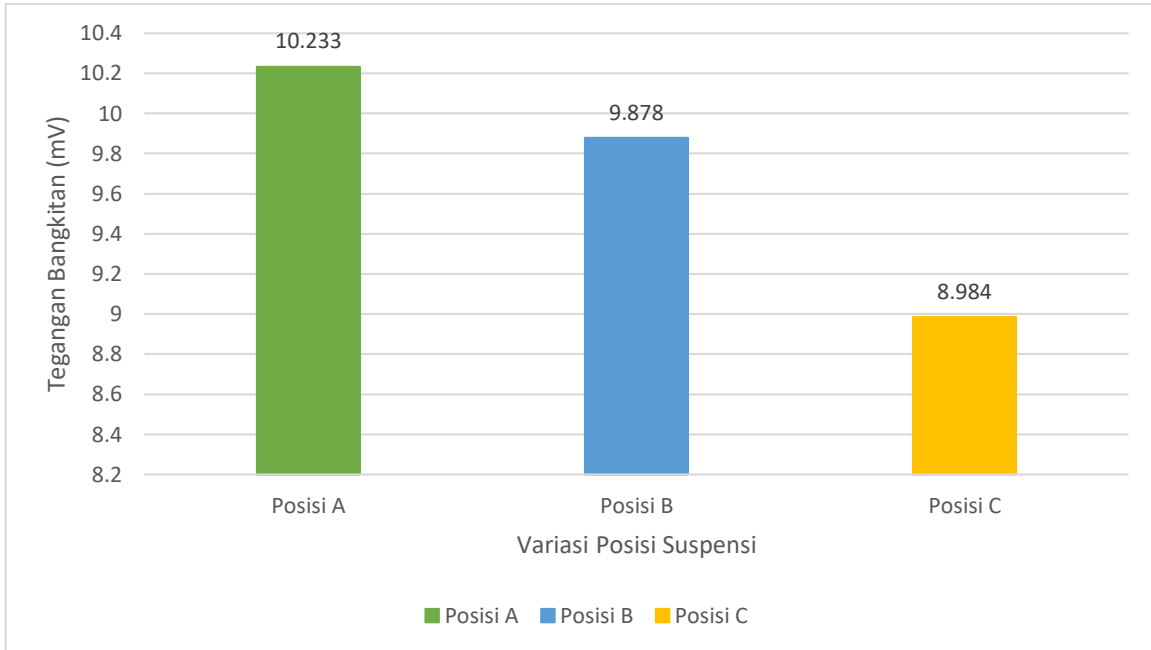
Dari keseluruhan data di atas, selanjutnya mencari rata-rata menggunakan metode *Root Mean Square* (RMS) menggunakan MS. Excel dan kemudian ditabelkan. Data tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2.

Tabel 4.1 RMS Tegangan Bangkitan dan Daya Bangkitan *E-Scooter* VOLTA 302 pada Polisi Tidur dengan Kecepatan 25 km/h

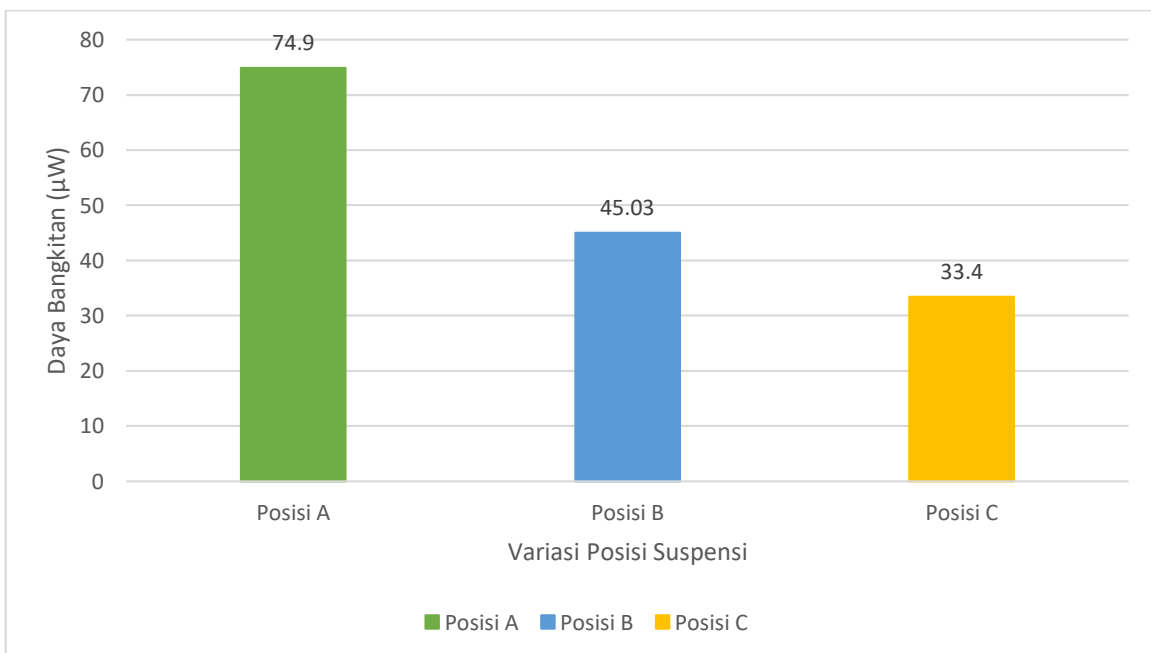
Posisi Suspensi	Jarak pusat <i>bracket</i> terhadap pusat poros roda (mm)	Sudut Suspensi (°)	Tegangan Bangkitan (mV)	Daya Bangkitan (µW)
A	180	90	10,233	74,9
B	130	66,24	9,878	45,03
C	80	61,8	8,984	33,4

Tabel 4.2 RMS Respon Percepatan Vertikal *E-Scooter* VOLTA 302 pada Polisi Tidur dengan Kecepatan 25 km/h

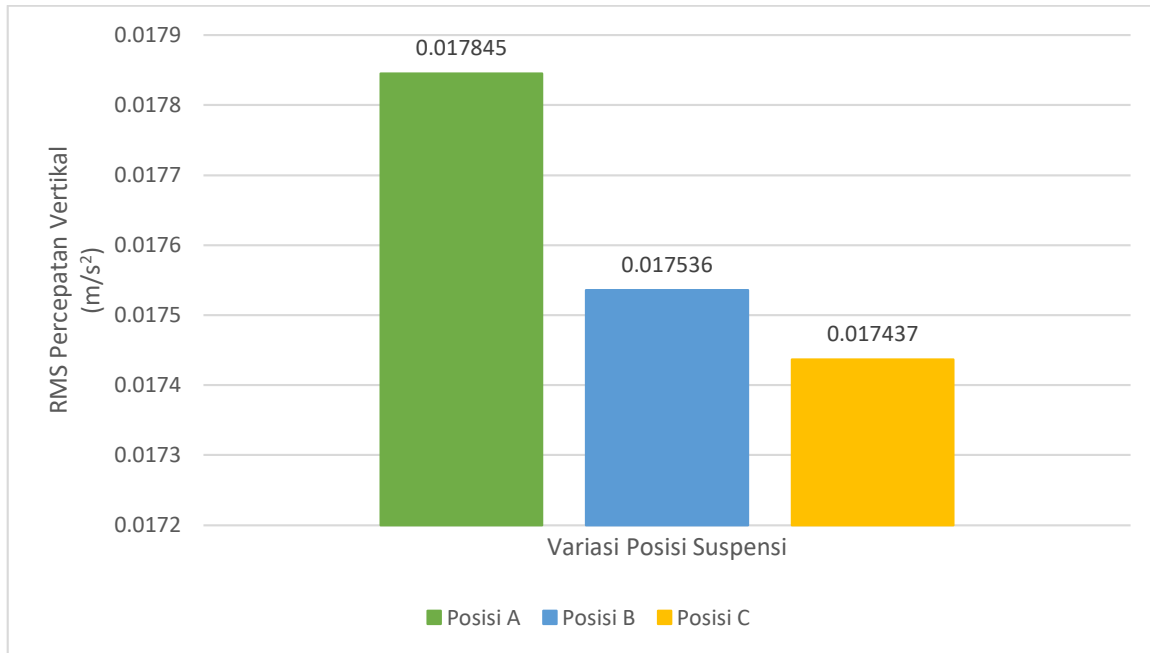
Posisi Suspensi	Jarak pusat <i>bracket</i> terhadap pusat poros roda (mm)	Sudut suspensi ($^{\circ}$)	RMS percepatan vertikal (m/s^2)
A	180	90	0,017845
B	130	66,24	0,017536
C	80	61,8	0,017437



Grafik 4.3 RMS Tegangan Bangkitan *E-Scooter* VOLTA 302 pada Polisi Tidur dengan Kecepatan 25 km/h



Grafik 4.4 RMS Daya Bangkitan *E-Scooter* VOLTA 302 pada Polisi Tidur dengan Kecepatan 25 km/h



Grafik 4.5 RMS Respon Percepatan Vertikal *E-Scooter* VOLTA 302 pada Polisi Tidur dengan Kecepatan 25 km/h

Dari Tabel 4.1 di atas didapatkan bahwa RMS daya bangkitan terbesar *regenerative swing arm* pada *e-scooter* VOLTA 302 terjadi pada saat suspensi berada pada posisi A dengan besar sudut 90° sebesar $74,9 \mu\text{W}$. Lalu pada suspensi posisi B dengan besar sudut $66,24^\circ$ didapatkan RMS daya bangkitan sebesar $45,03 \mu\text{W}$ dan pada suspensi posisi C dengan besar sudut $61,8^\circ$ didapatkan RMS daya bangkitan sebesar $33,4 \mu\text{W}$. Hal ini dipengaruhi oleh kecepatan kendaraan yang sangat tinggi dan juga posisi suspensi A dengan sudut suspensi paling besar serta *bump* pada polisi tidur yang mengakibatkan hentakan pada *e-scooter* VOLTA 302 sehingga didapatkan daya bangkitan yang besar.

Dari Tabel 4.1 di atas menunjukkan bahwa semakin besar sudut suspensi yaitu pada posisi A maka RMS tegangan yang dihasilkan semakin besar. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa perubahan posisi suspensi mempengaruhi besar kecilnya tegangan maupun daya bangkitan yang dihasilkan. Hal ini dapat terjadi karena semakin besar sudut suspensi maka gerak relatif antara badan kendaraan dan roda belakang makin besar dan frekuensi juga meningkat. Dengan meningkatnya frekuensi maka kecepatan putaran pada generator juga akan meningkat sehingga menghasilkan tegangan bangkitan yang lebih besar juga.

Selanjutnya dari Tabel 4.2 di atas dapat dilihat bahwa RMS respon percepatan vertikal terbesar *regenerative swing arm* pada *e-scooter* VOLTA 302 terjadi pada suspensi posisi A dengan besar sudut 90° sebesar $0,017845 \text{ m/s}^2$. Lalu RMS respon percepatan vertikal pada suspensi posisi B dengan besar sudut $66,24^\circ$ sebesar $0,017536 \text{ m/s}^2$ dan RMS respon percepatan vertikal pada suspensi posisi C dengan besar sudut $61,8^\circ$ sebesar $0,017437 \text{ m/s}^2$. Hal ini terjadi karena pada polisi tidur yang dilalui terdapat *bump* yang cukup tinggi dan kecepatan yang digunakan juga yang paling besar. Selain itu pada polisi tidur tingginya *bump* mengakibatkan hentakan yang cukup besar sehingga menghasilkan percepatan vertikal yang besar juga.

Dari Tabel 4.2 di atas menunjukkan bahwa semakin besar sudut suspensi maka RMS percepatan vertikal yang dihasilkan semakin besar, hal ini sesuai karena semakin besar sudut suspensi maka eksitasi yang dihasilkan dari permukaan jalan yang tidak rata akan semakin besar.

4.7 Kenyamanan

Tabel 4.3 berikut merupakan hasil analisis kenyamanan berdasarkan hasil percepatan vertikal yang didapat dari pengujian sesuai dengan standar ISO 2631 pada tabel 2.4.

Tabel 4.3 Hasil Analisis Kenyamanan

Posisi Suspensi	Jarak pusat <i>bracket</i> terhadap pusat poros roda (mm)	Sudut suspensi (°)	RMS percepatan vertikal (m/s ²)	Kriteria Kenyamanan
A	180	90	0,017845	Tidak ada keluhan
B	130	66,24	0,017536	Tidak ada keluhan
C	80	61,8	0,017437	Tidak ada keluhan

Berdasarkan respon percepatan vertikal, semakin kecil sudut suspensi RSA, maka semakin baik tingkat kenyamanan berkendara karena percepatan vertikal kendaraan menjadi semakin kecil. Namun, pada semua variasi posisi suspensi yang diberikan yaitu posisi A dengan sudut 90°, posisi B dengan sudut 66,24°, dan posisi C dengan sudut 61,8°, tidak ada keluhan kenyamanan karena nilai RMS percepatan vertikalnya jauh di bawah 0,315 m/s² yang merupakan batas kategori “tidak ada keluhan” sehingga semua variasi posisi baik untuk digunakan menurut standar ISO 2631.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis data hasil pengujian, didapatkan kesimpulan sebagai berikut :

1. Telah dilakukan rancang bangun pemasangan *Regenerative Swing Arm* (RSA) pada *e-scooter* VOLTA 302 yang dapat menyerap energi saat siklus kompresi maupun ekspansi sehingga dapat menghasilkan energi bangkitan yang lebih berkelanjutan.
2. Berdasarkan variasi posisi suspensi RSA, didapatkan tegangan maksimum skuter listrik VOLTA 302 pada variasi posisi suspensi A saat melalui polisi tidur pada kecepatan 25 km/h sebesar 57,589 mV dengan daya bangkitan maksimum sebesar 551,9 μ W. Lalu untuk nilai tegangan pada posisi suspensi B sebesar 53,797 mV dengan daya bangkitan sebesar 285,7 μ W dan untuk nilai tegangan pada posisi suspensi C sebesar 32,75 mV dengan daya bangkitan sebesar 152,1 μ W. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut suspensi yang terdapat pada posisi A sebesar 90°, maka tegangan dan daya bangkitan yang dihasilkan oleh *regenerative swing arm* yang terpasang pada skuter listrik VOLTA 302 yang melalui polisi tidur akan semakin besar. Hal ini terjadi karena semakin besar sudut suspensi saat melalui polisi tidur maka frekuensi dari *regenerative swing arm* akan semakin meningkat sehingga putaran dari generator akan meningkat dan menghasilkan tegangan dan daya bangkitan yang semakin besar.
3. Berdasarkan respon percepatan vertikal, semakin kecil sudut suspensi RSA, maka semakin baik tingkat kenyamanan berkendara karena percepatan vertikal kendaraan menjadi semakin kecil. Namun, pada semua variasi posisi suspensi yang diberikan yaitu posisi A dengan sudut 90°, posisi B dengan sudut 66,24°, dan posisi C dengan sudut 61,8°, tidak ada keluhan kenyamanan karena nilai RMS percepatan vertikalnya jauh di bawah 0,315 m/s² yang merupakan batas kategori “tidak ada keluhan” sehingga semua variasi posisi baik untuk digunakan menurut standar ISO 2631.

5.2 Saran

1. Perlu dilakukan penelitian tentang kenyamanan berkendara berdasarkan respon percepatan horizontal.
2. Menambah variasi kondisi jalan, kecepatan berkendara, dan beban untuk memberikan data yang lebih luas dan menyeluruh.
3. Melakukan analisis kenyamanan menggunakan standar selain ISO seperti contohnya metode Janeway dan *British standard* agar dapat dilakukan perbandingan yang lebih detail.
4. Memperhatikan persentase baterai pada setiap sebelum pengambilan data agar skuter listrik tidak mati di tengah pengujian.
5. Perlu dilakukan penelitian tentang pengaruh posisi suspensi terhadap kinerja suspensi dengan mempertimbangkan besaran selain percepatan karena penulis merasakan adanya hentakan yang cukup keras yang menimbulkan ketidaknyamanan berkendara bagi penulis.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, "Perkembangan Jumlah Kendaraan Bermotor Menurut Jenis (Unit), 2018-2020," [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/indicator/17/57/1/jumlah-kendaraan-bermotor.html>. [Diakses 7 Mei 2022].
- [2] T. Donaghy, "8 reasons why we need to phase out the fossil fuel industry," Greenpeace, 22 November 2021. [Online]. Available: <https://www.greenpeace.org/usa/research/8-reasons-why-we-need-to-phase-out-the-fossil-fuel-industry>. [Diakses 8 Mei 2022].
- [3] S. K. Huang, L. Kuo och C. Kuei-Lan, "The impacts of government policies on green utilization diffusion and social benefits – A case study of electric motorcycles in Taiwan," *Energy Policy*, pp. 473-486, 2018.
- [4] R. Pratama, M. David, David och Muammar, *Redisain Kontrol Kecepatan pada Mobil Listrik*, Surakarta: Universitas Sebelas Maret, 2011.
- [5] P. B. Magade, M. Narute, S. Kinhale, M. Kutwal och Y. Marakad, "Regenerative Suspension System," *International Research Journal of Engineering and Technology*, vol. 5, nr 4, pp. 717-721, 2018.
- [6] M. J. Griffin, *Handbook of Human Vibration*, San Diego: Academic Press Inc., 1990.
- [7] A. Goodarzi och A. Khajepour, *Vehicle Suspension System Technology and Design*, San Rafael: Morgan & Claypool, 2017.
- [8] B. G. Tentua, "Analisa Respon Dinamik Sepeda Motor Terhadap Posisi Sudut Suspensi," *Jurnal Teknologi (Teknik) Universitas Pattimura*, vol. 8, no. 1, pp. 859-866, 2011.
- [9] B. M. Suryana, *Rancang Bangun Prototipe Regenerative Swing Arm Pada Scooter*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2022.
- [10] H. L. Guntur och C. Olviani, "Analisa Kenyamanan Kendaraan Roda Dua dengan Pemodelan Pengendara sebagai Sistem Multi D.O.F," *Jurnal Teknik POMITS*, vol. 3, nr 2, pp. E57-E60, 2014.
- [11] J. C. Dixon, *The Shock Absorber Handbook*, 2nd Ed. West Sussex: John Wiley and Sons, Ltd., 2007.
- [12] R. P. Rahul, "What is a swingarm: A brief comparison of single-sided and double-sided swing arms," *AutoSenseity*, 8 Mei 2021. [Online]. Available: https://www.autosenseity.com/2021/05/single-sided-vs-double-sided-swingarm_8.html. [Diakses 6 Mei 2022].
- [13] S. S. Rao, *Mechanical Vibrations*, 5th Ed. Upper Saddle River: Pearson Education, Inc., 2011.
- [14] R. de Winter, "Designing Ships using Constrained Multi-Objective Efficient Global Optimization," *Leiden Institute of Advanced Computer Science*, [Master's thesis] Leiden, 2018.
- [15] S. Priyanto, *Rancang Bangun Sistem Suspensi Model Ball Screw Dengan Spur Gear Pada Regenerative Shock Absorber (RSA) Kendaraan Pick-Up*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2020.
- [16] P. R. Wibowo, *Pemodelan dan Analisis Karakteristik Dinamis Regenerative Swing Arm pada Scooter*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2021.

- [17] W. S. Technologies, Vibration sensor wiring and cabling, Germantown: Wilcoxon Sensing Technologies.
- [18] I. N. Sutantra och B. Sampurno, Teknologi Otomotif, Surabaya: Guna Widya, 2010.
- [19] V. Henze, “Electric Vehicle Sales to Fall 18% in 2020 but Long-term Prospects Remain Undimmed,” 19 Mei 2020. [Online]. Available: <https://about.bnef.com/blog/electric-vehicle-sales-to-fall-18-in-2020-but-long-term-prospects-remain-undimmed>. [Diakses 5 Mei 2022].

LABORATORY ACCELEROMETER FOR HIGH VIBRATION LEVELS

10 mV/g OUTPUT TO 500 g

ACC103



- ✓ Ideal for Laboratory Shake Testing
- ✓ High Shock/Acceleration Range Up to ± 500 g
- ✓ Fast Turn-On Time (1 s)

At only 15 grams, the ACC103 laboratory accelerometer is ideal for applications in which low weight is critical, such as shake tests and vibration labs. It has a 10 mV/g output and can measure vibrations up to 500 g.

SPECIFICATIONS

Frequency Response: 1 Hz to 10 kHz (up to $\pm 10\%$ rated output shift)

Rated Output: 10 mV/g nominal @ 100 Hz

Frequency Range: 2 Hz to 10 kHz (up to $\pm 5\%$ rated output shift)

Amplitude Range: ± 500 g peak

Amplitude Linearity: $\pm 2\%$ up to 500 g peak

Temperature Range: -50 to 120°C (-60 to 250°F)

Temperature Sensitivity Effect: 0.06% FS/°F

Discharge Time Constant: 0.5 s minimum

Transverse Sensitivity: 5% of axial maximum

Strain Sensitivity: 0.001 g per microstrain @ 25°/μσ

Maximum g Without Clipping: ± 1000 g

Mounted Resonance Frequency: >40 kHz

Output Impedance: 100 Ω

Bias Voltage: 10V nominal

Base Strain: 0.03 g/microstrain nominal

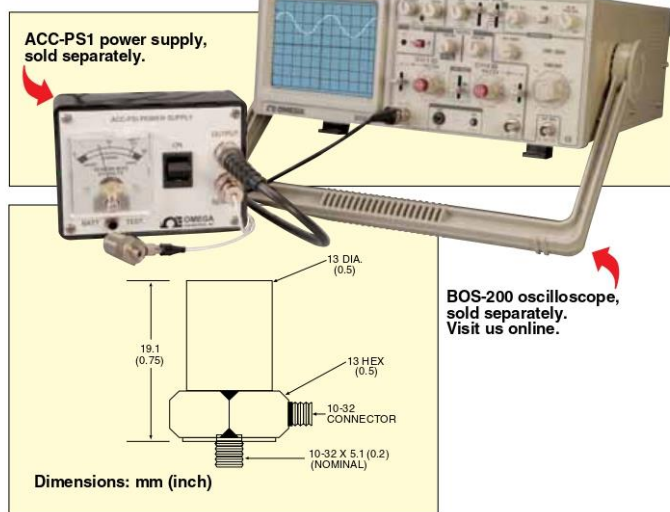
Noise Floor (Wideband): 0.007 g (rms)

Weight: 1.5 g (0.05 oz) nominal (without cable)

Material: Stainless steel

Dimensions: 7.11 H x 6.35 mm hex base (0.28 x 0.25")

Connector: 10-32 male, cable not included (order model no. ACC-CB2-10)



To Order	
MODEL NO.	DESCRIPTION
ACC103	Accelerometer for high vibration levels
ACC-CB2-10	3 m (10') coaxial cable (10-32/BNCM) required

ACCESSORIES	
MODEL NO.	DESCRIPTION
MAGNET2	Magnetic mounting base (10 lb holding force) 19.1 Dia. x 19.1 mm high (0.75 x .75")
POWER SUPPLIES	
ACC-PS1	Battery power supply/amplifier (BNCF connections)
ACC-PS2	Battery power supply/amplifier (BNCF connections)
ACC-PS3	AC power supply/amplifier (BNCF connections)
INTERFACE CABLES USED BETWEEN POWER SUPPLY AND INSTRUMENTATION	
ACC-CB4-15	4.6 m (15') coaxial cable (BNCM/BNCM)
ACC-CB5-2	0.6 m (2') coaxial cable (BNCM/banana plug)
ACC-CB6	178 mm (7") coaxial cable (BNCM/pigtail)

Comes complete with instruction sheet.
Visit us online for details on the above accessories.
Ordering Example: ACC103, accelerometer, ACC-CB2-10, coaxial cable, ACC-PS1, power supply, and ACC-CB5-2, coaxial cable.

Specifications

All specifications apply to all models unless noted otherwise.

Model overview

	TBS1022	TBS1042	TBS1062	TBS1064	TBS1102	TBS1104	TBS1152	TBS1154
Bandwidth ¹	25 MHz	40 MHz	60 MHz	60 MHz	100 MHz	100 MHz	150 MHz	150 MHz
Channels	2	2	2	4	2	4	2	4
Sample rate on each channel	500 MS/s	500 MS/s	1.0 GS/s	1.0 GS/s	1.0 GS/s	1.0 GS/s	1.0 GS/s	1.0 GS/s
Record length	2.5k points at all time bases							

Vertical system — Analog channels

Vertical resolution	8 bits
Input sensitivity range	2 mV to 5 V/div on all models with calibrated fine adjustment
DC gain accuracy	±3%, from 10 mV/div to 5 V/div
Maximum input voltage	300 V _{RMS} CAT II; derated at 20 dB/decade above 100 kHz to 13 V _{p-p} AC at 3 MHz
Offset range	2 mV to 200 mV/div: ±1.8 V >200 mV to 5 V/div: ±45 V
Bandwidth limit	20 MHz
Input coupling	AC, DC, GND
Input impedance	1 MΩ in parallel with 20 pF
Vertical zoom	Vertically expand or compress a live or stopped waveform

Horizontal system — Analog channels

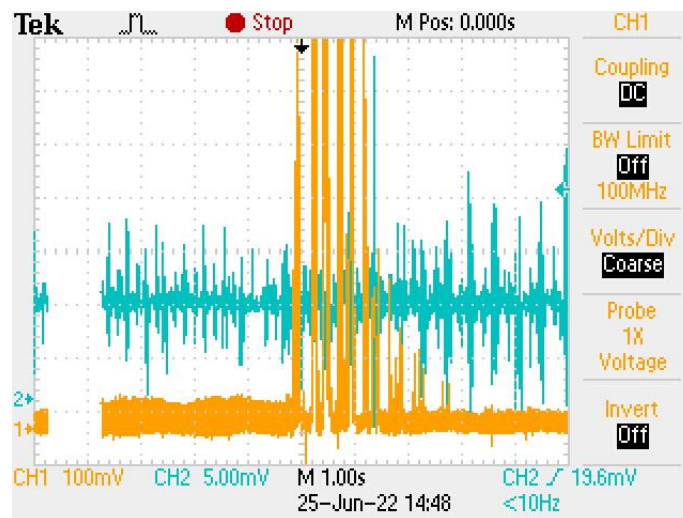
Time base range	5 ns to 50 s/div
Time base accuracy	50 ppm
Horizontal zoom	Horizontally expand or compress a live or stopped waveform

¹ Bandwidth is 20 MHz at 2 mV/div

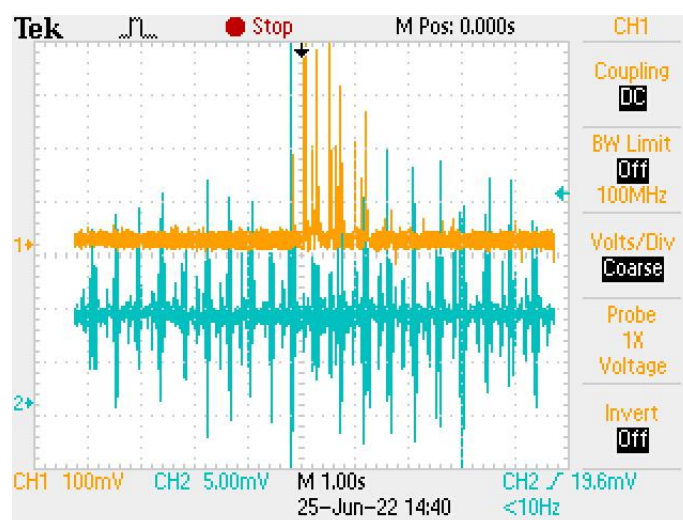
Lampiran 3 : Kendaraan Uji dengan Suspensi Regeneratif



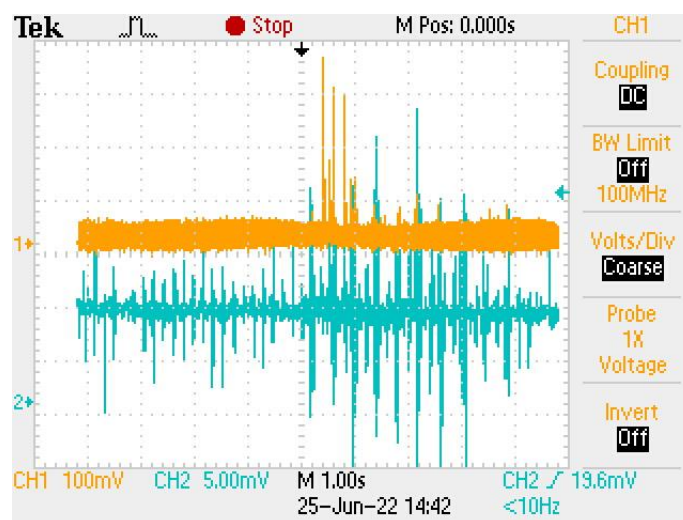
Lampiran 4 : Tampilan *Oscilloscope*



RSA posisi A, polisi tidur, 25 km/h



RSA posisi B, polisi tidur, 25 km/h



RSA posisi C, polisi tidur, 25 km/h

BIOGRAFI PENULIS



Savinto Alief Khairandy, anak pertama dari dua bersaudara, putra kandung dari pasangan Bapak H. Sulistyو Utomo dan Ibu Hj. Noorvina Indriani. Penulis lahir di Gresik, 29 November 1998. Penulis telah menempuh pendidikan formal dari TK Al-Ibrah Gresik, SD Muhammadiyah GKB Gresik, SMP Muhammadiyah 12 GKB Gresik dan SMAN 1 Manyar Gresik. Setelah lulus dari pendidikan formal SMA pada tahun 2017, penulis melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dengan program studi S-1 Teknik Mesin FT-IRS. Selama berkuliah di Departemen Teknik Mesin FT-IRS ITS, penulis aktif dalam berbagai kegiatan *internal* dan *eksternal*. Penulis mengambil Bidang Desain. Penulis telah menempuh beberapa pelatihan seperti LKMW-TD dan LKMM Pra-TD. Penulis tergabung ke dalam organisasi Lembaga Kajian Kerohanian Islam (LKKI) Ash-Shaff. Di LKKI tersebut, penulis pernah menjadi Staff Departemen Syiar Kreatif dan menjadi Ketua di Departemen Ukhuwah. Penulis pernah mengikuti pelatihan pengembangan kepribadian yang diselenggarakan oleh Decimo CAD yaitu private class Autodesk Inventor Professional. Penulis juga aktif mengikuti berbagai forum komunikasi ilmiah baik regional, institut, maupun nasional. Pada tahun ke-4 perkuliahan, penulis fokus menjalani akademik dan penelitian mengenai *Regenerative Swing Arm* dan masuk sebagai anggota Laboratorium Rekayasa Vibrasi dan Sistem Otomotif. Apabila terdapat pesan atau informasi yang hendak disampaikan kepada penulis, dapat melalui email : savintoalf@gmail.com.