

# SVAHA\_KKW MADE INDIRA PRAMESTI.docx

*by --*

---

**Submission date:** 01-Jul-2025 04:07AM (UTC-0700)

**Submission ID:** 2670186669

**File name:** SVAHA\_KKW\_MADE\_INDIRA\_PRAMESTI.docx (11.24M)

**Word count:** 19467

**Character count:** 122331

**DESAIN SIMULASI RSV-P (ROAD SPEED BUMP'S  
VIBRATION POWER PLANT) DAN PANEL SURYA DALAM  
MENDUKUNG INFRASTRUKTUR PENGUJIAN  
KENDARAAN BERMOTOR LAJUR KAJEN IV (BAJAJ) DI  
UNIT PENGELOLA PENGUJIAN KENDARAAN BERMOTOR  
PULO GADUNG**

**KERTA KERJA WAJIB**



**DISUSUN OLEH :**

**MADE INDIRA PRAMESTI**

**2201011**

**POLITEKIK TRANSPORTASI DARAT BALI  
PROGRAM STUDI D-III TEKNOLOGI OTOMOTIF**

**2025**

**DESAIN SIMULASI RSV-P (ROAD SPEED BUMP'S  
VIBRATION POWER PLANT) DAN PANEL SURYA DALAM  
MENDUKUNG INFRASTRUKTUR PENGUJIAN  
KENDARAAN BERMOTOR LAJUR KAJEN IV (BAJAJ) DI  
UNIT PENGELOLA PENGUJIAN KENDARAAN BERMOTOR  
PULO GADUNG**

**KERTA KERJA WAJIB**

Diajukan Dalam rangka Penyelesaian  
Program Studi Diploma III Teknologi Otomotif  
Guna Memperoleh Sebutan Ahli Madya Teknik



**DISUSUN OLEH :**

**MADE INDIRA PRAMESTI**

**2201011**

**POLITEKIK TRANSPORTASI DARAT BALI  
PROGRAM STUDI D-III TEKNOLOGI OTOMOTIF**

**2025**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**KERTAS KERJA WAJIB**

**DESAIN SIMULASI RSV-P (ROAD SPEED BUMP'S  
VIBRATION POWER PLANT) DAN PANEL SURYA DALAM  
MENDUKUNG INFRASTRUKTUR PENGUJIAN  
KENDARAAN BERMOTOR LAJUR KAJEN IV (BAJAJ) DI  
UNIT PENGELOLA PENGUJIAN KENDARAAN BERMOTOR  
PULO GADUNG**

Disusun Oleh :

**MADE INDIRA PRAMESTI**

**2201011**

Disetujui untuk diajukan pada  
Sidang Akhir Kertas Kerja Wajib  
Program Studi Diploma III Teknologi Otomotif

**Menyetujui**

**DOSEN PEMBIMBING I**

**DOSEN PEMBIMBING II**

**Arif Devi Dwipayana, S.T., M.M.**

NIP. 19851102 201902 1 003

Tanggal: 01 Juli 2025

**Surva Aji Ermanto, M.Si.**

NIP. 19910207 201902 1 002

Tanggal: 01 Juli 2025

Ditandatangani di: Tabanan

**HALAMAN PENGESAHAN  
KERTAS KERJA WAJIB**

**DESAIN SIMULASI <sup>1</sup> RSV-P (ROAD SPEED BUMP'S  
VIBRATION POWER PLANT) DAN PANEL SURYA DALAM  
MENDUKUNG INFRASTRUKTUR PENGUJIAN <sup>2</sup>  
KENDARAAN BERMOTOR LAJUR KAJEN IV (BAJAJ) DI  
UNIT PENGELOLA PENGUJIAN KENDARAAN BERMOTOR  
PULO GADUNG**

Telah dipersiapkan dan disusun oleh :

**MADE INDIRA PRAMESTI**

2201011

<sup>33</sup>  
**TELAH DIPERTAHANKAN DI DEPAN DEWAN PENGUJI  
PADA TANGGAL, JULI 2025  
DAN DINYATAKAN TELAH LULUS DAN MEMENUHI SYARAT**

**Tim Penguji**

**M. Beny Dwifa, S.Pd.,M.T.**  
NIP. 19880929 202321 1 014

**Arif Devi Dwipavana, S.T., M.M.**  
NIP. 19851102 201902 1 003

**Ir. Aris Budi Sulisty, S.T., M.T.**  
NIP. 19890402 201012 1 006

**Surya Aji Ermanto, M.Si.**  
NIP. 19910207 201902 1 002

Mengetahui,  
**KETUA PROGRAM STUDI**

**Adrian Pradana, S.T., M.Si.**  
NIP : 19900130 201012 1 005

## PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya, Made Indira Pramesti, Notar. 2201011, menyatakan bahwa Kertas Kerja Wajib/Tugas Akhir dengan judul "Desain Simulasi RSV-P (*Road Speed bump's Vibration Power Plant*) Dan Panel Surya Dalam Mendukung Infrastruktur Pengujian Kendaraan Bermotor Lajur Kajen IV (Bajaj) Di Unit Pengelola Pengujian Kendaraan Bermotor Pulo Gadung" merupakan karya asli. Seluruh ide yang ada dalam Kertas Kerja Wajib ini merupakan hasil penelitian yang saya susun sendiri dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini serta disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, tidak ada bagian dari Kertas Kerja Wajib ini yang telah digunakan sebelumnya untuk memperoleh gelar Ahli Madya atau keserjanaan maupun sertifikat Akademik di suatu Perguruan Tinggi.

Jika pernyataan di atas terbukti sebaliknya, maka saya bersedia menerima sanksi yang ditetapkan oleh Politeknik Transportasi Darat Bali.

Tabanan, Juli 2025

Penulis

Made Indira Pramesti  
Notar. 2201011

## HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN

### MOTTO

*"Life is a choice, so learn and understand it from every aspect"*

### PERSEMBAHAN

#### *"Serendipity"*

Pertama dan terutama, saya panjatkan rasa syukur yang tulus kepada Ida Sang Hyang Widhi Wasa, atas limpahan rahmat, kekuatan, serta jalan yang dibukakan sepanjang proses ini. Di balik setiap kesulitan, tersimpan petunjuk. Di setiap keraguan, terselip arah. Tanpa kehendak-Nya, tak satu pun dari ini akan mungkin terjadi.

Saya juga menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Ayah tercinta Putu Sumadi, SP., ibu tercinta Ni Luh Panca Ernawati, kakak tersayang Putu Ayu Frahmi Nandriati, SP., atas cinta yang tak terukur, doa yang tak pernah putus, dan dukungan yang menjadi landasan dalam setiap langkah. Kalian adalah sumber kekuatan dan tempat saya selalu kembali.

Kepada orang-orang di sekitar saya, sahabat, rekan, dan dosen pembimbing terima kasih atas kehadiran, perhatian, dan kontribusi nyata dalam perjalanan ini. Setiap percakapan, kerja sama, hingga kritik yang membangun, dan semangat yang kalian berikan telah menjadi bagian tak terpisahkan dari proses belajar ini.

Perjalanan pendidikan selama 3 tahun ini telah menjadi ruang penuh makna yang bukan hanya berisi teori dan tugas, tetapi juga sarat akan momen "*serendipity*" dimana penemuan-penemuan berharga hadir di luar rencana. Dari tantangan tak terduga, lahir ketabahan. Dari kegagalan, tumbuh kebijaksanaan. Dan dari kebersamaan yang sederhana, saya belajar tentang makna keberadaan. Kita adalah penentu nasib kita sendiri, sekarang atau tidak selamanya.

## 37 KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan petunjuk-Nya, sehingga Kertas Kerja Wajib berjudul **“Desain Simulasi RSV-P (Road Speed bump’s Vibration Power Plant) dan Panel Surya dalam Mendukung Infrastruktur Pengujian Kendaraan Bermotor Lajur Kajian IV (Bajaj) di Unit Pengelola Pengujian Kendaraan Bermotor Pulo Gadung”** dapat diselesaikan dengan baik dan tepat waktu. Penyusunan laporan ini tidak lepas dari bantuan, dukungan, dan bimbingan berbagai pihak. Untuk itu, penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan apresiasi yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua serta kakak tercinta yang selalu mendukung dan memberikan motivasi serta doa untuk penulis;
2. Ibu Firga Ariani, S.E., M.M.Tr selaku Direktur Politeknik Transportasi Darat Bali;
3. Bapak Adrian Pradana, S.T., M.Si selaku Ketua Program Studi Diploma III Teknologi Otomotif Politeknik Transportasi Darat Bali;
4. Bapak Arif Devi Dwipayana, S.T., M.M. selaku dosen Pembimbing 1 yang telah memberikan bimbingan, nasehat dan saran selama penyusunan laporan Kertas Kerja Wajib ini;
5. Bapak Surya Aji Ermanto, M.Si. selaku dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan bimbingan, nasehat dan saran selama penyusunan laporan Kertas Kerja Wajib ini;
6. Seluruh Dosen dan Staff Program Studi Diploma III Teknologi Otomotif di Politeknik Transportasi Darat Bali atas ilmu yang telah diajarkan;
7. Kakak-kakak pegawai di UP PKB Pulo Gadung atas arahan dan bimbingannya selama penyusunan Kertas Kerja Wajib ini;
8. Seluruh rekan-rekan mahasiswa/i Program Studi D-III Teknologi Otomotif Politeknik Transportasi Darat Bali yang telah memberikannya dukungannya kepada penulis;

9. Rekan-rekan kamar 3.3 yang selalu mendukung dan mendengar keluh kesah saya selama penyusunan Kertas Kerja Wajib ini;
10. Serta seluruh pihak yang telah terlibat dan telah berupaya membantu penyusunan Kertas Kerja Wajib ini.

Tabanan, Juli 2025

Penulis,

Made Indira Pramesti  
Notar. 2201011

## DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN .....	iii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	v
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN .....	xiv
INTISARI.....	xv
ABSTRACT .....	xvi
<b>BAB I PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Masalah .....	5
<b>BAB II GAMBARAN UMUM .....</b>	<b>6</b>
2.1 Kondisi Wilayah.....	6
2.2 Objek yang Dikaji .....	7
<b>BAB III TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>9</b>
3.1 Energi Baru Terbarukan .....	9
3.2 Infrastruktur Pengujian Lajur Kajen IV atau Bajaj .....	9
3.3 Teknologi RSV-P ( <i>Road Speed bump's Vibration Power Plant</i> ) .....	12
3.4 MATLAB-Simulink .....	15
3.5 HOMER ( <i>Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources</i> ) .....	17

3.6 SketchUp .....	17
3.7 Panel Surya ( <i>Solar Cell</i> ) .....	18
3.8 Penelitian Terdahulu.....	19
<b>BAB IV METODE PENELITIAN .....</b>	<b>22</b>
4.1 Sumber dan Teknik Pengumpulan Data .....	22
4.2 Metode Analisis Data .....	23
4.3 Bagan Alir Penelitian .....	25
4.4 Model Teoritis dan Diagram Blok Sistem RSV-P.....	27
4.5 Pembuatan Model Simulasi RSV-P di MATLAB-Simulink .....	32
4.6 Model Teoritis Sistem Panel Surya .....	42
4.7 Perancangan Model Simulasi Panel Surya Menggunakan HOMER Pro .....	50
4.8 <i>Timeline</i> Kegiatan .....	56
<b>BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>57</b>
5.1 Estimasi Distribusi Jumlah Kendaraan Harian Berdasarkan Kategori Berat.....	57
5.2 Hasil Perhitungan Simulasi Konversi Energi RSV-P dan Potensi Panel Surya .....	59
5.3 Desain Sistem RSV-P dan Panel Surya.....	70
5.4 Evaluasi Efisiensi dan Kesesuaian Pasokan Energi terhadap Kebutuhan Listrik Lajur IV.....	80
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>86</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>89</b>

## **DAFTAR TABEL**

<b>Tabel 2. 1</b> Data kendaraan yang melaksanakan uji Tahun 2024 .....	7
<b>Tabel 2. 2</b> Kebutuhan daya listrik lajur 4.....	8
<b>Tabel 3. 1</b> Perbandingan jenis mekanisme speed bump .....	13
<b>Tabel 3. 2</b> Penelitian terdahulu .....	19
<b>Tabel 4. 1</b> Temperatur rata-rata di wilayah Jakarta Timur.....	45
<b>Tabel 4. 2</b> Intensitas iradiasi matahari di wilayah UP PKB Pulo Gadung.....	46
<b>Tabel 4. 3</b> Faktor kerugian sistem.....	48
<b>Tabel 4. 4</b> <i>Timeline</i> kegiatan .....	56
<b>Tabel 5. 1</b> Jumlah kendaraan berdasarkan kelompok JBB .....	57
<b>Tabel 5. 2</b> Estimasi distribusi jumlah kendaraan harian .....	58
<b>Tabel 5. 3</b> Hasil simulasi kombinasi variasi berat dan kecepatan untuk JBB < 8 ton .....	59
<b>Tabel 5. 4</b> Hasil simulasi kombinasi variasi berat dan kecepatan untuk JBB > 8 ton .....	60
<b>Tabel 5. 5</b> Energi listrik yang dihasilkan per kategori berat kendaraan.....	66
<b>Tabel 5. 6</b> Total energi listrik yang dihasilkan per hari .....	67
<b>Tabel 5. 7</b> Spesifikasi panel surya Solana.....	77

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.</b> Lokasi UP PKB Pulo Gadung.....	6
<b>Gambar 2.</b> Lajur 4.....	10
<b>Gambar 3.</b> Teknologi RSV-P .....	15
<b>Gambar 4.</b> MATLAB-Simulink .....	16
<b>Gambar 5.</b> Perangkat lunak HOMER .....	17
<b>Gambar 6.</b> SketchUp.....	18
<b>Gambar 7.</b> Bagan alir penelitian .....	25
<b>Gambar 8.</b> Diagram blok konseptual .....	31
<b>Gambar 9.</b> Diagram blok simulasi MATLAB-Simulink .....	32
<b>Gambar 10.</b> Kode inisiasi lingkungan kerja MATLAB .....	33
<b>Gambar 11.</b> Kode definisi parameter .....	34
<b>Gambar 12.</b> Kode untuk membuat blok input model .....	36
<b>Gambar 13.</b> Kode untuk subsistem <i>HydraulicActuator</i> .....	37
<b>Gambar 14.</b> Kode untuk subsistem Generator.....	40
<b>Gambar 15.</b> Blok <i>To Workspace</i> .....	41
<b>Gambar 16.</b> Kode untuk perhitungan daya instan dan energi total.....	42
<b>Gambar 17.</b> Distribusi beban harian PV .....	44
<b>Gambar 18.</b> Grafik beban bulanan PV.....	45
<b>Gambar 19.</b> Data GHI.....	48
<b>Gambar 20.</b> Pemodelan sistem PV .....	51
<b>Gambar 21.</b> Pengaturan PV pada aplikasi HOMER .....	52
<b>Gambar 22.</b> Pengaturan konverter pada aplikasi HOMER.....	54
<b>Gambar 23.</b> Pengaturan baterai pada aplikasi HOMER .....	55
<b>Gambar 24.</b> Grafik hubungan variasi berat, kecepatan, dan total energi untuk JBB < 8 ton .....	60
<b>Gambar 25.</b> Grafik hubungan variasi berat, kecepatan, dan total energi untuk JBB > 8 ton .....	61

<b>Gambar 26.</b> Grafik hubungan berat dan kecepatan untuk kendaraan dengan JBB < 8 ton .....	62
<b>Gambar 27.</b> Grafik hubungan berat dan kecepatan untuk kendaraan dengan JBB > 8 ton .....	63
<b>Gambar 28.</b> Hasil simulasi panel surya menggunakan HOMER Pro .....	70
<b>Gambar 29.</b> Jalur loket <i>drive thru in</i> .....	71
<b>Gambar 30.</b> Lokasi penerapan sistem RSV-P .....	71
<b>Gambar 31.</b> Visualisasi desain RSV-P .....	72
<b>Gambar 32.</b> Tampak atas .....	73
<b>Gambar 33.</b> Tampak depan .....	73
<b>Gambar 34.</b> Tampak samping .....	73
<b>Gambar 35.</b> Tampak isometrik .....	73
<b>Gambar 36.</b> Rangkaian sistem hidrolik .....	74
<b>Gambar 37.</b> Lajur 3 sebagai tempat penerapan pemasangan panel surya .....	76
<b>Gambar 38.</b> PV tampak atas .....	78
<b>Gambar 39.</b> PV tampak samping .....	78
<b>Gambar 40.</b> PV tampak isometrik .....	78
<b>Gambar 41.</b> Layout dimensi PV di atas gedung lajur 3 .....	79
<b>Gambar 42.</b> Rancangan letak PV pada atap lajur 3 .....	80

**DAFTAR LAMPIRAN**

KJ

## INTISARI

### DESAIN SIMULASI RSV-P (*ROAD SPEED BUMP'S VIBRATION POWER PLANT*) DAN PANEL SURYA DALAM Mendukung INFRASTRUKTUR PENGUJIAN KENDARAAN BERMOTOR LAJUR KAJEN IV (BAJAJ) DI UNIT PENGELOLA PENGUJIAN KENDARAAN BERMOTOR PULO GADUNG

Oleh  
MADE INDIRA PRAMESTI

2201011

Penelitian ini merancang dan mensimulasikan sistem hibrida berbasis *Road Speed Bump's Vibration Power Plant* (RSV-P) dan panel surya untuk memenuhi kebutuhan listrik Lajur IV UP PKB Pulo Gadung. Metode yang digunakan adalah analisis simulasi menggunakan MATLAB-Simulink serta HOMER Pro. Hasil simulasi menunjukkan bahwa satu unit RSV-P menghasilkan energi sebesar 2,14 Wh per hari dari 286 kendaraan. Sementara itu, sistem panel surya berkapasitas 9,70 kWp mampu menghasilkan 41,2 kWh per hari, melampaui kebutuhan energi harian sebesar 27,6 kWh. Energi surplus sebesar 13,6 kWh dapat disimpan untuk cadangan beban. RSV-P yang bersifat modular dan pasif berfungsi sebagai *green micro energy harvester*, melengkapi sistem fotovoltaik dalam membentuk skema energi terdistribusi yang efisien dan berkelanjutan. Hasil simulasi menunjukkan bahwa sistem RSV-P dan panel surya tidak hanya berpotensi mendukung, tetapi juga memenuhi secara penuh kebutuhan listrik Lajur IV UP PKB Pulo Gadung secara berkelanjutan dan ramah lingkungan.

**Kata Kunci :** RSV-P, Panel surya, Energi terbarukan, Sistem hibrida, Infrastruktur pengujian kendaraan bermotor.

## ABSTRACT

### DESAIN SIMULASI RSV-P (ROAD SPEED BUMP'S VIBRATION POWER PLANT) DAN PANEL SURYA DALAM Mendukung INFRASTRUKTUR PENGUJIAN KENDARAAN BERMOTOR LAJUR KAJEN IV (BAJAJ) DI UNIT PENGELOLA PENGUJIAN KENDARAAN BERMOTOR PULO GADUNG

By  
MADE INDIRA PRAMESTI  
2201011

This study designs and simulates a hybrid energy system based on the Road Speed Bump's Vibration Power Plant (RSV-P) and solar photovoltaic panels to meet the electricity demands of Lane IV at the UP PKB Pulo Gadung vehicle testing facility. The method employed involves simulation analysis using MATLAB-Simulink and HOMER Pro software. Simulation results show that a single RSV-P unit can generate 2.14 Wh of energy per day from 286 passing vehicles. Meanwhile, the solar PV system with a capacity of 9.70 kWp is capable of producing 41.2 kWh per day, exceeding the daily energy demand of 27.6 kWh. The resulting energy surplus of 13.6 kWh can be stored for backup loads. As a modular and passive system, the RSV-P functions as a green micro energy harvester, complementing the photovoltaic system in establishing an efficient and sustainable distributed energy scheme. These findings indicate that the combination of RSV-P and solar panels not only supports but also fully meets the electrical needs of Lane IV at UP PKB Pulo Gadung in a sustainable and environmentally friendly manner.

**Keywords :** RSV-P, Solar panels, Renewable energy, Hybrid system, Vehicle testing infrastructure

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Energi listrik menjadi salah satu kebutuhan utama dalam kehidupan manusia, di mana hampir seluruh aktivitas bergantung pada ketersediaannya, baik di sektor industri maupun rumah tangga. Energi listrik menjadi sumber daya strategis yang mudah disalurkan dan dapat diubah ke berbagai bentuk energi lainnya, sehingga sangat diperlukan dalam berbagai sektor. Seiring dengan itu, peningkatan kebutuhan akan energi listrik terus terjadi seiring dengan pertumbuhan jumlah penduduk, investasi, perkembangan teknologi, serta kebutuhan pendidikan diberbagai jenjang. Pada Tahun 2023, konsumsi energi listrik di Indonesia yang telah terealisasi mencapai 1.337 kWh per kapita, dimana mengalami peningkatan sebesar 13,98% dari tahun 2022 dengan realisasi konsumsi energi listrik 1.173 kwh per kapita (Republik Indonesia, 2024).

Selain sektor industri dan rumah tangga, sektor transportasi juga berkontribusi besar terhadap konsumsi energi listrik, termasuk dalam aktivitas pengujian kendaraan bermotor. Unit Pengelola Pengujian Kendaraan Bermotor (UP PKB) Pulo Gadung bertugas melaksanakan uji berkala Kendaraan Bermotor Wajib Uji (KBWU) di wilayah Jakarta Pusat dan Jakarta Timur sesuai dengan Peraturan Gubernur DKI Jakarta Nomor 331 Tahun 2016, yang berkontribusi pada peningkatan konsumsi energi listrik.

Saat ini, pasokan listrik pada lajur 4 masih bergantung pada energi listrik on grid yang berasal dari bahan bakar fosil seperti gas alam, minyak bumi, dan batu bara (Lahope *et al.*, 2024). Ketergantungan ini meningkatkan beban biaya operasional serta berkontribusi terhadap emisi CO<sub>2</sub> (Rahmayani, 2021). Oleh karena itu, untuk mengurangi ketergantungan pada energi yang dihasilkan oleh sumber daya fosil, diperlukan alternatif penyediaan energi yang lebih berkelanjutan. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah teknologi RSV-P yang mengkonversi energi kinetik kendaraan yang melintas menjadi energi listrik

104 melalui sistem berbasis *speed bump* yang dapat digunakan kembali (Abidin, Ulul Ilmi and M. Feri Bani Ashari, 2022) dan panel surya. Penelitian (Ennawaoui *et al.*, 2021) menunjukkan bahwa *speed bump* dapat menghasilkan daya listrik sebesar 5,8 kWh untuk 100 unit kendaraan per jam. Hasil simulasi dari perangkat lunak pemodelan energi digunakan untuk mengkaji besarnya energi yang dapat dihasilkan oleh RSV-P, yang kemudian dianalisis lebih lanjut bersama dengan keluaran energi dari panel surya. Meskipun teknologi ini telah diuji secara konseptual dan simulatif, implementasinya di lingkungan pengujian kendaraan bermotor belum pernah dilakukan secara nyata, khususnya dalam operasional fasilitas milik pemerintah daerah seperti UP PKB Pulo Gadung.

Teknologi RSV-P memanfaatkan gaya mekanik yang dihasilkan oleh getaran kendaraan yang melintasi *speed bump* untuk dikonversi menjadi energi listrik. Dalam simulasi sistem RSV-P, perhitungan beban kendaraan dimulai dari loket pendaftaran (*drive thru in*) yang dilalui oleh seluruh kendaraan yang akan menjalani uji berkala. Pada tahun 2024, tercatat 89.301 kendaraan yang mengikuti uji di UP PKB Pulo Gadung, yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi kinetik. Kecepatan rata-rata kendaraan saat melintasi *speed bump* diperkirakan berkisar antara 1,39 m/s hingga 5,56 m/s, dengan berat kosong kendaraan yang digunakan dalam simulasi didasarkan pada kategori JBB (Jumlah Berat yang Diperbolehkan) yaitu  $JBB < 8$  ton dan  $JBB > 8$  ton. Kategori  $JBB < 8$  ton mencakup kendaraan-kendaraan ringan dengan berat kosong yang bervariasi, yaitu sebesar 350 kg, 1.255 kg, dan 7.437 kg. Sementara itu, kategori  $JBB > 8$  ton mencakup kendaraan yang lebih berat dengan berat kosong sebesar 3.170 kg, 9.695 kg, dan 18.800 kg. Energi yang dihasilkan akan dialokasikan untuk mengurangi konsumsi energi listrik di lajur 4, yang memiliki rata-rata konsumsi harian sebesar 27,6 kWh pada bulan Februari 2025, menjadikan lokasi ini sebagai tempat penerapan simulasi dan percontohan untuk pengujian lebih lanjut.

Selain aspek teknis dan operasional, pengembangan RSV-P juga menjadi langkah strategis dalam menghadapi perubahan regulasi terkait retribusi pengujian kendaraan bermotor. Berdasarkan Undang-Undang Nomor 1 Tahun 2022 tentang Hubungan Keuangan antara Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah, retribusi uji

berkala kendaraan bermotor telah dihapuskan, yang sebelumnya menjadi salah satu sumber pendapatan daerah. Perubahan regulasi ini berdampak pada pendanaan operasional UP PKB Pulo Gadung, termasuk dalam pemenuhan kebutuhan listrik. Oleh karena itu, penerapan teknologi RSV-P yang dikombinasikan dengan sistem panel surya dapat menjadi solusi yang lebih efisien dan berkelanjutan dalam menyediakan energi alternatif.

Sejalan dengan komitmen Indonesia dalam Perjanjian Paris 2016, yang menargetkan penurunan emisi CO<sub>2</sub> sebesar 26% pada tahun 2050, diperlukan optimalisasi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang digunakan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Putri, Sasongko and Yoesgiantoro, 2024). Kebijakan EBT sebagaimana tercantum dalam Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN) mewajibkan pemerintah pusat dan daerah untuk menerapkan diversifikasi energi. Hal ini bertujuan untuk meningkatkan konservasi sumber daya energi dan memperkuat ketahanan energi nasional. Dalam konteks ini, pengembangan teknologi RSV-P dan panel surya dapat menjadi langkah nyata dalam mendukung transisi energi menuju sumber energi yang lebih ramah lingkungan dalam mendukung keberlanjutan operasional fasilitas pengujian kendaraan bermotor UP PKB Pulo Gadung.

Berdasarkan penjelasan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mensimulasikan sistem konversi energi kinetik kendaraan menjadi energi listrik berbasis RSV-P dan mensimulasikan potensi panel surya. Sistem ini dikembangkan sebagai solusi inovatif untuk mendukung operasional lajur 4 di UP PKB Pulo Gadung dengan menyediakan sumber energi alternatif yang berkelanjutan, mengurangi ketergantungan terhadap energi listrik berbasis fosil, serta menganalisis efisiensi dan efektivitasnya dalam menekan konsumsi listrik konvensional.

### 1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Bagaimana hasil perhitungan desain dan simulasi konversi energi kinetik menjadi energi listrik melalui *speed bump* berbasis RSV-P dan panel surya?
2. Bagaimana potensi luaran daya listrik yang dapat dihasilkan dari sistem RSV-P dan sistem panel surya dalam mendukung kebutuhan infrastruktur lajur 4 UP PKB Pulo Gadung?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Penulisan Kertas Kerja Wajib bertujuan untuk mencapai hal-hal yang diuraikan sebagai berikut:

1. Melakukan analisis terhadap hasil perhitungan desain dan simulasi konversi energi kinetik menjadi energi listrik melalui *speed bump* berbasis RSV-P dan panel surya.
2. Mengkaji potensi luaran daya yang dapat dihasilkan dari sistem RSV-P dan sistem panel surya dalam mendukung kebutuhan infrastruktur lajur 4 UP PKB Pulo Gadung.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dari penelitian tersebut yang berdampak bagi beberapa pihak sebagai berikut:

1. Bagi mahasiswa/i, menjadi referensi akademik dalam pengembangan teknologi konversi energi kinetik menjadi energi listrik sebagai sumber energi baru terbarukan di sektor transportasi.
2. Bagi pemerintah, memberikan data dan kajian ilmiah yang dapat digunakan sebagai dasar dalam perumusan kebijakan energi terbarukan, khususnya pada sektor transportasi dan fasilitas pengujian kendaraan bermotor.
3. Bagi UP PKB Pulo Gadung, menjadi referensi dalam mengurangi konsumsi energi listrik dari sumber konvensional dalam mendukung implementasi teknologi hijau di lingkungan pengujian kendaraan

bermotor.

95

### **1.5 Batasan Masalah**

Penelitian ini difokuskan pada batasan-batasan yang telah ditentukan sebelumnya, sehingga selama proses pelaksanaannya, hasil yang diperoleh tetap sesuai dengan rumusan masalah dan tujuan penelitian yang telah ditetapkan.

Batasan masalah dalam penelitian ini, sebagai berikut:

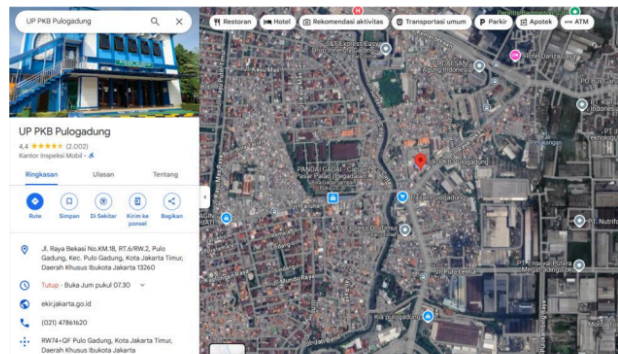
1. Penelitian dilakukan dengan studi kasus pada UP PKB Pulo Gadung sebagai lokasi implementasi sistem RSV-P dan sistem panel surya.
2. Penelitian ini hanya berfokus pada perancangan desain menggunakan SketchUP dan simulasi sistem konversi energi kinetik menjadi energi listrik dengan RSV-P menggunakan MATLAB-Simulink serta sistem panel surya menggunakan perangkat lunak HOMER.
3. Data pergerakan kendaraan yang digunakan dalam perhitungan dan simulasi didasarkan pada jumlah kendaraan yang diuji di UP PKB Pulo Gadung pada tahun 2024.
4. Data berat kendaraan yang digunakan dalam perhitungan simulasi adalah data berat kosong berdasarkan JBB, bukan berdasarkan konfigurasi sumbu.
5. Perhitungan energi hanya dilakukan untuk kebutuhan pada lajur 4 khusus kendaraan Kaje IV atau bajaj.
6. Penelitian ini berfokus terhadap kajian potensi teknis dan energi dari sistem RSV-P dan panel surya, tanpa mencakup analisis biaya maupun spesifikasi material yang digunakan.

## BAB II

### GAMBARAN UMUM

#### 2.1 Kondisi Wilayah

UP PKB Pulo Gadung sebagai unit pelayanan di bawah naungan Dinas Perhubungan Provinsi DKI Jakarta bertanggung jawab atas pelaksanaan kegiatan pengujian kendaraan bermotor, terutama di wilayah Kota Jakarta Pusat dan Jakarta Timur, lokasi UP PKB Pulo Gadung dapat dilihat pada Gambar 1. UP PKB Pulo Gadung memastikan bahwa kendaraan bermotor yang digunakan di jalan raya memenuhi persyaratan teknis dan laik jalan. Secara geografis, UP PKB Pulo Gadung berlokasi di Jalan Raya Bekasi No. KM. 18, RT. 6 / RW. 2, Pulo Gadung, Jakarta Timur, DKI Jakarta, 13260.



Gambar 1. Lokasi UP PKB Pulo Gadung  
(Sumber: <https://www.google.com/maps>)

Pada tahun 2024, jumlah KBWU aktif tercatat sebanyak 89.301 unit. Dengan sistem operasional 6 hari kerja per minggu, rata-rata terdapat 286 unit kendaraan yang menjalani pengujian di UP PKB Pulo Gadung. Adapun data kendaraan yang melaksanakan uji di UP PKB Pulo Gadung dapat dilihat pada Tabel 2. 1.

**Tabel 2.1** Data kendaraan yang melaksanakan uji Tahun 2024

Bulan	Uji Pendaftaran	Uji Berkala	Numpang Uji Masuk	Mutasi Uji Masuk	Total Uji Kendaraan
Januari	2.983	4.883	38	110	8.014
Februari	2.752	4.551	25	93	7.421
Maret	3.018	5.126	19	101	8.264
April	2.037	3.497	13	86	5.633
Mei	2.011	4.873	21	92	6.997
Juni	2.623	4.046	22	103	6.794
Juli	3.170	4.881	33	118	8.202
Agustus	2.558	4.958	27	110	7.653
September	2.363	5.109	19	92	7.583
Oktober	2.610	5.036	22	107	7.775
November	2.662	4.056	20	77	6.815
Desember	4.107	3.919	26	98	8.150
Total	32.894	54.935	285	1.187	89.301

(Sumber: Data Operasional UP PKB Pulo Gadung)

## 2.2 Objek yang Dikaji

UP PKB Pulo Gadung merupakan salah satu fasilitas yang bertugas melakukan uji berkala KBWU untuk domisili kepemilikan kendaraan di wilayah Administrasi Kota Jakarta Pusat dan Jakarta Timur. Pengujian yang dilakukan di UP PKB Pulo Gadung dibagi menjadi 4 lajur mekanis sesuai dengan jenis kendaraan yang meliputi:

1. Lajur mekanis 1 untuk KBWU jenis mobil barang dengan JBB < 8 ton.
2. Lajur mekanis 2 untuk KBWU jenis mobil bus dan mobil barang dengan JBB < 26 ton.
3. Lajur mekanis 3 untuk seluruh jenis KBWU yang melakukan uji

pendaftaran.

4. Lajur mekanis 4 untuk KBWU Kajen (Kendaraan Jenis) IV atau bajaj.

Salah satu lajur yang digunakan dalam pengujian adalah lajur 4, yang secara khusus melayani kendaraan bajaj. Operasional pengujian kendaraan di lajur 4 masih bergantung pada pasokan listrik dari sumber energi listrik *on grid* berbasis fosil. Sistem *on grid* merupakan sistem kelistrikan yang terhubung langsung dengan jaringan listrik utama, seperti PLN, sehingga tetap bergantung pada pasokan energi dari sumber eksternal (Nugroho, Khwee and Yandri, 2022).

Saat ini lajur 4 masih bergantung pada sistem listrik *on grid*, dimana pasokan energi utamanya bersumber dari jaringan PLN. Berdasarkan data operasional bulan Februari 2024 UP PKB Pulo Gadung, konsumsi energi listrik di lajur 4 mencapai 27,6 kWh per hari. Tingginya kebutuhan daya listrik menunjukkan pentingnya optimalisasi sumber energi tambahan guna mengurangi ketergantungan terhadap jaringan listrik *on grid* serta meningkatkan efisiensi sistem kelistrikan pada infrastruktur pengujian kendaraan lajur 4 di UP PKB Pulo Gadung, Adapun kebutuhan daya listrik pada lajur 4 dapat dilihat pada Tabel 2. 2.

Tabel 2. 2 Kebutuhan daya listrik lajur 4

No	Keterangan (daya maksimal)	Daya
1.	Total daya maksimal	11.000 Watt / 50 A
2.	<i>Speedometer tester</i> , PC, dan <i>Sound level meter</i>	440 Watt
3.	<i>Brake tester</i> belakang dan PC	5.500 Watt
4.	<i>Brake tester</i> depan	3.500 Watt
5.	<i>Gas analyzer</i>	880 Watt
6.	<i>Highlight tester</i>	440 Watt

## BAB III

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 3.1 Energi Baru Terbarukan

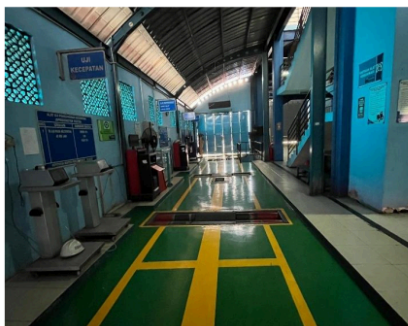
Energi Baru Terbarukan (EBT) adalah sumber energi yang dapat diperbarui dari proses alami dalam waktu singkat, seperti energi surya, angin, hidro, biomassa, dan panas bumi. Dibandingkan dengan bahan bakar fosil, EBT lebih mudah didapatkan dan menghasilkan emisi yang lebih rendah, sehingga berperan penting dalam transisi energi berkelanjutan. Energi baru merupakan energi yang berasal dari teknologi atau sumber belum banyak dimanfaatkan, tetapi kini dikembangkan sebagai alternatif untuk memenuhi kebutuhan energi yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Energi baru merupakan bentuk energi yang diperoleh melalui proses riset dan pengembangan teknologi, namun tidak digolongkan ke dalam kategori energi fosil maupun energi terbarukan (Azhar and Satriawan, 2018).

Energi baru berasal dari inovasi yang memungkinkan pemanfaatan sumber daya alternatif untuk mendukung kebutuhan energi yang lebih efisien dan berkelanjutan seperti transformasi energi kinetik ke dalam energi listrik yang memanfaatkan pergerakan atau tekanan suatu objek, seperti kendaraan yang melintasi *speed bump*, untuk dikonversi menjadi energi listrik melalui mekanisme tertentu, seperti piezoelektrik, sistem pegas, atau generator elektromekanis. Prinsip ini menjadi solusi inovatif dalam diversifikasi sumber energi, terutama dalam pemanfaatan energi yang sebelumnya terbuang sia-sia.

#### 3.2 Infrastruktur Pengujian Lajur Kajian IV atau Bajaj

UP PKB Pulo Gadung dalam melaksanakan tugasnya untuk melakukan pengujian kendaraan bermotor guna memastikan kesesuaian teknis dan laik jalan kendaraan bermotor yang dilengkapi dengan berbagai fasilitas alat pengujian, termasuk lajur 4 yang diperuntukkan untuk melakukan pengujian Kajian (Kendaraan Angkutan Jenis) IV atau bajaj. Berdasarkan Peraturan Menteri Perhubungan Nomor 19 Tahun 2021 Pasal 49 ayat 2, "peralatan utama yang diperlukan setidaknya

mencakup alat untuk menguji emisi gas buang, alat uji ketebalan asap gas buang (*smoke tester*), alat uji kebisingan suara klakson dan/atau knalpot, alat uji rem, alat uji lampu, alat uji kincup roda depan, alat uji penunjuk kecepatan, alat pengukur kedalaman alur ban, alat pengukur berat, alat pengukur dimensi, alat uji daya tembus cahaya pada kaca, serta alat untuk menguji kendaraan bermotor listrik". Fasilitas pengujian lajur 4 UP PKB Pulo Gadung dapat dilihat pada Gambar 2, dimana lajur ini dilengkapi dengan berbagai infrastruktur pendukung, termasuk peralatan uji utama yang menggunakan energi listrik untuk operasionalnya yang dilengkapi dengan panel MCB (*Miniature Circuit Breaker*) berkapasitas 50 A dengan total daya maksimal sebesar 11.000 Watt.



Gambar 2. Lajur 4

1. Alat Uji Emisi Gas Buang (*Gas Analyzer*)

Alat uji emisi gas buang digunakan untuk menganalisis kandungan emisi gas buang kendaraan seperti CO (Karbon Monoksida) dan HC (Hidrokarbon). Alat ini bekerja dengan cara memasukkan selang *probe* ke dalam knalpot kendaraan yang membantu menilai efisiensi pembakaran pada mesin, sehingga hasil pengujiannya membantu penguji untuk menganalisis potensi kerusakan pada sistem kendaraan berdasarkan hasil uji yang dikeluarkan oleh alat uji emisi gas buang. Daya maksimum untuk alat uji *Gas Analyzer* adalah 880 Watt.

- 50
2. **Alat Uji Penunjuk Kecepatan (*Speedometer Tester*)**  
Alat uji penunjuk kecepatan digunakan untuk menguji keakuratan penunjuk kecepatan pada kendaraan bermotor. Alat ini bekerja dengan cara roda kendaraan memutar *roller* yang mensimulasikan kondisi jalan, kemudian membandingkan kecepatan yang ditampilkan pada *speedometer* dengan kecepatan sebenarnya pada kendaraan. Alat uji *Speedometer Tester* memiliki daya maksimum sebesar 440 Watt, dimana satu MCB yang sama juga digunakan untuk alat uji Sound Level Meter.
  3. **Alat Uji Kebisingan Suara Klakson (*Sound Level Meter*)**  
Alat uji yang digunakan untuk mengukur tingkat kebisingan suara klakson disebut *Sound Level Meter*. Tujuan dari pengujian ini adalah memastikan bahwa kendaraan memenuhi standar kebisingan yaitu 89 dbA sampai 118 dbA.
  4. **Alat Uji Rem dan Alat Uji Penguku Berat (*Brake Tester* dan *Axle Load Tester*)**  
*Brake Tester* adalah alat uji yang digunakan untuk mengukur efisiensi dan kinerja sistem pengereman kendaraan bermotor. Alat ini bekerja dengan cara mensimulasikan kondisi pengereman di atas *roller* pengujian, kemudian menghitung gaya pengereman pada setiap roda. *Axle Load Tester* adalah alat yang digunakan untuk mengukur beban setiap sumbu kendaraan. Pengujian yang dilaksanakan di UP PKB Pulo Gadung mengintegrasikan *Brake Tester* dan *Axle Load Tester* agar lebih efisien dalam melakukan perhitungan efisiensi pengereman yang bergantung pada bebas masing-masing sumbu kendaraan. Daya maksimum untuk alat uji adalah 5.500 Watt untuk rem belakang dan 3.500 Watt untuk rem depan.
  5. **Alat Uji Lampu (*Headlight Tester*)**  
*Headlight Tester* merupakan perangkat yang digunakan untuk mengukur intensitas, arah, dan distribusi cahaya dari lampu utama kendaraan. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa lampu kendaraan memancarkan cahaya dengan intensitas dan arah yang sesuai, sehingga tidak

mengganggu kenyamanan atau menyebabkan silau pada pengendara lain di jalan. Daya maksimum untuk alat uji *Headlight Tester* adalah 440 Watt.

#### 6. *Personal computer* (PC)

Komputer personal (PC) pada lajur uji kendaraan berperan sebagai komponen utama dalam sistem kendali dan pengolahan data yang terintegrasi dengan peralatan uji. Fungsinya tidak hanya terbatas pada pengoperasian perangkat keras uji, tetapi juga mencakup pengelolaan antarmuka perangkat lunak, penyimpanan hasil pengukuran, serta integrasi data secara *real time* ke dalam sistem informasi pengujian kendaraan.

### 3.3 Teknologi RSV-P (*Road Speed bump's Vibration Power Plant*)

Teknologi RSV-P adalah sebuah inovasi dalam bidang EBT yang bertujuan untuk mengkonversi energi kinetik kendaraan menjadi energi listrik. RSV-P memanfaatkan energi mekanik yang dihasilkan saat kendaraan melintasi polisi tidur (*speed bump*) melalui mekanisme seperti mekanis, piezoelektrik atau sistem hidrolik. Energi yang biasanya terbuang dalam bentuk getaran dan tekanan diubah menjadi energi listrik. Prinsip kerja RSV-P didasarkan pada pemanfaatan tekanan mekanik yang terjadi antara *speed bump* dan roda kendaraan yang melintas di atasnya. Tekanan ini menghasilkan getaran *knock* yang mengubah energi kinetik menjadi energi listrik. Energi listrik yang dihasilkan selanjutnya disimpan dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber tenaga listrik (Rahman *et al.*, 2022). Jenis mekanisme konversi energi berbasis sistem hidrolik menunjukkan efektivitas paling tinggi ketika diaplikasikan pada kendaraan yang memiliki beban pada poros penggerak (*drive axle*) dengan rentang berat mulai dari 500 kilogram hingga 11,5 ton (Kahsay, 2020).

Efisiensi konversi energi dalam RSV-P sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk massa kendaraan, kecepatan lintasan, desain geometri *speed bump*, serta jenis mekanisme konversi yang digunakan. Ketentuan teknis dimensi *speed bump* diatur dalam peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2021 Perubahan Atas Peraturan Menteri Perhubungan Nomor PM 82 Tahun 2018 Tentang Alat Pengendali Dan Pengaman Pengguna Jalan pasal 3 ayat 3,

dimana "ukuran tinggi antara 5 cm (lima sentimeter) sampai dengan 9 cm (sembilan sentimeter), lebar total antara 35 cm (tiga puluh lima sentimeter) sampai dengan 39 cm (tiga puluh sembilan sentimeter) dengan kelandaian paling tinggi 50% (lima puluh persen)". Selain mempertimbangkan ketentuan teknis dimensi, fisiensi sistem RSV-P juga ditentukan oleh pemilihan jenis mekanisme yang tepat. Adapun perbandingan beberapa jenis mekanisme *speed bump* menunjukkan bahwa setiap mekanisme memiliki kelebihan dan kekurangan yang dapat dilihat pada Tabel 2. 3, dimana perhitungan didasarkan pada intensitas lalu lintas sebesar 45.000 kendaraan per hari dengan biaya sebesar 0,06 €/kWh (del Castillo García, 2018). Oleh karena itu, pemilihan ini harus mempertimbangkan karakteristik lalu lintas di lokasi pemasangan, beban kendaraan dominan, serta kebutuhan daya listrik yang ingin dicapai.

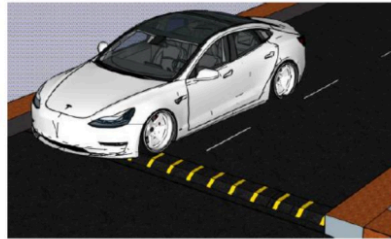
**Tabel 3. 1** Perbandingan jenis mekanisme *speed bump*

No	Model	Kelebihan	Kekurangan	Modal	Hemat/ Tahun	Balik Modal
1.	Hidrolik	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efisiensi tinggi untuk kendaraan berat.</li> <li>- Kapasitas luaran harian a tinggi (160–200 W/kendaraan)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biaya instalasi dan perawatan tinggi.</li> <li>- Potensi kebocoran fluida.</li> <li>- Kompleksitas sistem tinggi</li> </ul>	€10.000	€ 3.000	3,3
2.	Pneumatik	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Prinsip kerja mirip hidrolik namun dengan udara, lebih ringan.</li> <li>- Respon cepat.</li> <li>- Lebih aman terhadap kebocoran</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efisiensi lebih rendah dibanding sistem hidrolik.</li> <li>- Membutuhkan kompresor eksternal.</li> <li>- Konsumsi energi</li> </ul>	-	-	-

No	Model	Kelebihan	Kekurangan	Modal	Hemat/ Tahun	Balik Modal
			tambahan untuk kompresi udara.			
3.	Mekanis	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Struktur sederhana.</li> <li>- Luaran daya cukup tinggi (120–144 W/kendaraan)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Dimensi besar, tidak cocok untuk lalu lintas padat.</li> <li>- Terpengaruh signifikan oleh berat kendaraan dan tinggi <i>speed bump</i>.</li> <li>- Gesekan mekanik dapat menurunkan efisiensi</li> </ul>	€ 2.000	€ 2.400	0,8
4.	Elektromagnetik	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tidak memerlukan cairan atau tekanan tinggi.</li> <li>- Cocok untuk integrasi modular.</li> <li>- Luaran daya (20–40 W/kendaraan)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Efisiensi tergantung pada optimasi frekuensi getaran.</li> <li>- Kurang cocok untuk area dengan lalu lintas kendaraan berat</li> </ul>	€ 15.000	€ 1.500	10
5.	Piezoelektrik	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Cocok untuk beban kendaraan ringan</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Memerlukan banyak elemen untuk skala aplikasi besar.</li> <li>- Sangat sensitif terhadap</li> </ul>	€ 12.000	€ 1.800	6,6

No	Model	Kelebihan	Kekurangan	Modal	Hemat/ Tahun	Balik Modal
		- Cocok untuk wilayah perkotaan	frekuensi dan tekanan - Luaran daya sangat kecil per unit (22–30 W/kendaraan)			

Dalam aplikasi nyata, pemanfaatan RSV-P sebagai sumber energi tambahan dapat diterapkan pada berbagai infrastruktur transportasi, seperti area parkir, gerbang tol, dan fasilitas pengujian kendaraan bermotor, guna mendukung kebutuhan listrik yang berkelanjutan. Oleh karena itu, penelitian lebih lanjut terkait desain optimal, efisiensi konversi, dan dampak lingkungan dari teknologi ini menjadi penting dalam mengembangkan sistem RSV-P yang lebih efektif dan dapat diterapkan pada pengujian kendaraan bermotor, teknologi RSV-P dapat dilihat pada Gambar 3.

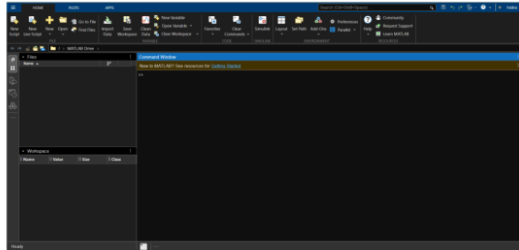


**Gambar 3.** Teknologi RSV-P  
(Sumber : Raharjo et al., 2024)

### 3.4 MATLAB-Simulink

MATLAB-Simulink merupakan perangkat lunak yang dirancang untuk memodelkan, mensimulasikan, dan menganalisis sistem dinamis dengan pendekatan berbasis blok diagram. MATLAB-Simulink digunakan dalam penelitian ini sebagai alat untuk merancang dan mensimulasikan sistem RSV-P

yang berfungsi mengkonversi energi kinetik kendaraan menjadi energi listrik lajur 4 di UP PKB Pulo Gadung, yang dapat dilihat pada Gambar 4. Simulasi ini bertujuan untuk memahami interaksi antara kendaraan yang melintas dengan sistem mekanis *speed bump* yang dapat bergerak secara vertikal akibat gaya tekan dari berat kendaraan. MATLAB-Simulink memungkinkan pemecahan solusi numerik dari model matematis yang dikembangkan, serta memberikan gambaran kuantitatif mengenai efisiensi sistem dalam mengubah energi kinetik kendaraan menjadi energi listrik (Setianto, Men and Abdurrochman, 2017).



Gambar 4. MATLAB-Simulink

Perhitungan potensi energi listrik dari sistem RSV-P memerlukan estimasi distribusi jumlah kendaraan berdasarkan kategori berat kendaraan yang melintas setiap harinya. Estimasi ini menjadi dasar dalam menentukan besarnya gaya tekan dan frekuensi lintasan kendaraan, yang memengaruhi jumlah energi mekanik yang dapat dikonversi menjadi energi listrik. Perhitungan estimasi jumlah kendaraan harian untuk masing-masing kategori dilakukan dengan menggunakan pendekatan estimasi rasio (*ratio estimation*), yaitu dengan mengalikan proporsi jumlah kendaraan dalam tiap kategori dari data sampel terhadap total kendaraan harian. Secara matematis, estimasi jumlah kendaraan harian untuk kategori ke-*i* dinyatakan sebagai berikut:

$\hat{Y}_i = \left(\frac{n_i}{n}\right)N$	(3.1)
---	-------

(Sumber: Cochran, 2005)

Keterangan:

$\hat{Y}_i$  = estimasi jumlah kendaraan harian pada kategori ke-i

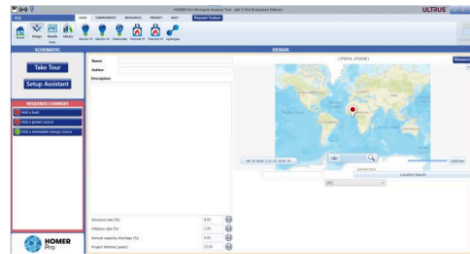
$n_i$  = jumlah kendaraan kategori ke-i dalam sampel

$n$  = total kendaraan dalam sampel

$N$  = jumlah kendaraan harian rata-rata.

### 3.5 HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*)

Perangkat lunak HOMER adalah alat yang digunakan untuk menganalisis, mensimulasikan, dan mengoptimalkan sistem energi hibrida yang memanfaatkan sumber energi terbarukan. Alat ini memungkinkan evaluasi aspek teknis dan ekonomi dari berbagai konfigurasi sistem pembangkit listrik, baik yang terhubung ke jaringan (*grid-connected*) maupun yang tidak terhubung ke jaringan (*off-grid*), dengan mempertimbangkan faktor seperti investasi awal, biaya operasi, serta performa energi dalam jangka panjang (Chamdareno, Nuryanto and Dermawan, 2019). HOMER mensimulasikan kinerja sistem berdasarkan data input seperti profil beban listrik, potensi sumber daya energi, serta skenario harga energi, sehingga dapat memberikan solusi optimal dalam desain sistem yang efisien dan berkelanjutan, perangkat lunak HOMER dapat dilihat pada Gambar 5.

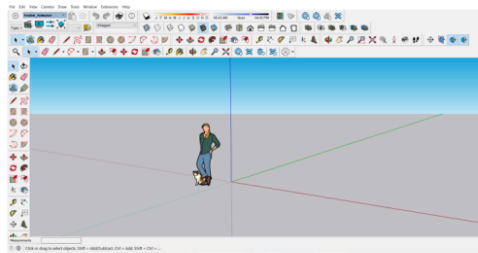


Gambar 5. Perangkat lunak HOMER

### 3.6 SketchUp

SketchUp adalah perangkat lunak pemodelan tiga dimensi (3D) yang digunakan untuk merancang dan memvisualisasikan berbagai bentuk arsitektur, teknik sipil, desain interior, industri manufaktur, hingga pengembangan game dan

film (Nizamudin, 2019). Dikembangkan oleh Trimble Inc., perangkat lunak ini menawarkan antarmuka yang intuitif dengan sistem pemodelan berbasis sketsa dan ekstrusi, memungkinkan pengguna untuk merancang objek secara presisi dan efisien, SketchUp dapat dilihat pada Gambar 6. Dengan fitur *rendering*, teksturisasi, dan *dynamic components*, SketchUp mendukung simulasi pencahayaan, analisis volume, serta kompatibilitas dengan perangkat lunak lain seperti AutoCAD dan Revit, sehingga mempermudah integrasi dalam berbagai proyek desain. Dengan antarmuka yang intuitif, SketchUp memungkinkan pengguna untuk membuat model 3D secara cepat melalui sistem pemodelan berbasis sketsa dan ekstrusi, serta didukung oleh fitur seperti 3D Warehouse untuk berbagi dan mengunduh model.



Gambar 6. SketchUp

### 3.7 Panel Surya (*Solar Cell*)

Panel surya adalah perangkat yang berfungsi untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik melalui proses fotovoltaik. Ketika cahaya matahari mengenai sel surya, yang terdiri dari dua lapisan silikon dengan doping yang berbeda, yaitu lapisan atas (*N-type*) yang mengandung fosfor untuk menambah jumlah elektron, dan lapisan bawah (*P-type*) yang mengandung boron untuk menciptakan kekurangan elektron (Usman, 2020). Antara kedua lapisan ini terdapat penghubung p-n yang berperan dalam menciptakan medan listrik sehingga, ketika foton dari cahaya matahari memberikan energi pada elektron di lapisan atas, elektron tersebut berpindah dan menghasilkan muatan negatif di bagian atas serta muatan positif di bagian bawah (Harahap, 2020). Panel surya menggunakan bahan

semikonduktor, seperti silikon monokristalin, polikristalin dan thin film. Faktor-faktor seperti intensitas cahaya matahari, sudut pemasangan, suhu lingkungan, kecepatan angin, curah hujan, keberadaan awan, dan kelembapan berkontribusi pada efisiensi konversi energi panel surya (Sarmah *et al.*, 2023).

### 3.8 Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu yang menjadi dasar kajian dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 3. 2.

**Tabel 3. 2** Penelitian terdahulu

No	Nama, Tahun, Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1	Gholikhani, M., Nasouri, R., Tahami, S. A., Legette, S., Dessouky, S., & Montoya, A. (2019). <i>Harvesting Kinetic Energy From Roadway Pavement Through An Electromagnetic Speed bump</i>	Penelitian ini menggunakan metode eksperimen	Mengembangkan prototipe <i>Electromagnetic Speed bump Energy Harvester</i> (ESE) yang memanfaatkan energi kinetik dari kendaraan yang melintas. Prototipe ini berfungsi sebagai polisi tidur sekaligus penghasil listrik untuk mendukung kebutuhan daya infrastruktur jalan.
2	Hariyanto, A. W., & Ama, N. U. (2020). <i>Rancang Bangun Speed bump Sebagai Penghasil Energi Listrik</i>	Metode yang digunakan adalah metode eksperimen	Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun <i>speed bump</i> sebagai pembangkit listrik yang memanfaatkan energi kinetik kendaraan, dengan menggunakan generator dan mekanisme transmisi gerak melalui perbandingan gear untuk meningkatkan putaran generator. Energi listrik yang dihasilkan bervariasi sesuai dengan kecepatan kendaraan, yakni 65,61 Ws pada 1,97 km/jam, 53,52 Ws pada 3,0 km/jam, 59,52 Ws pada

No	Nama, Tahun, Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
			4,83 km/jam, dan 50,33 Ws pada 6,84 km/jam.
3	Alfarisy, M. H., Putrada, A. G., & Abdurhman, M. (2021). <i>Energy Harvesting Pada Ban Mobil Menggunakan Piezoelektrik Transducer Untuk WSN Suhu Ban</i>	Penelitian ini menggunakan metode simulasi dan eksperimen	Penelitian ini bertujuan merancang sistem <i>energy harvesting</i> yang memanfaatkan tekanan ban kendaraan melalui piezoelektrik transduser untuk menghasilkan energi listrik, yang disimpan dalam baterai AAA. Simulasi kendaraan yang melaju selama 1 jam menghasilkan 511,8 mAh energi listrik. Selain itu, penelitian ini mengimplementasikan sistem pemantauan suhu berbasis IoT dengan <i>wireless sensor network</i> menggunakan NodeMCU ESP8266.
4	Ennawaoui, C., HAJJAJI, A., Elballouti, A., & Azeddine, A. Z. I. M. (2021). <i>Smart Speed bump For Mechanical Energy Harvesting From Roads</i>	Metode penelitian ini menggunakan desain dan analisis sistem	Penelitian ini berfokus pada pengembangan dengan sistem <i>intelligent retarder</i> . Sistem ini dirancang untuk mengkonversi energi kinetik yang dihasilkan oleh kendaraan saat melintasi <i>speed bump</i> menjadi energi listrik melalui mekanisme mekanis. Jumlah energi listrik yang dihasilkan oleh 100 kendaraan dalam satu jam adalah 5,8 kWh.
5	Fitriani, F., Fadillah, M. S., & Christian, J. (2023). <i>Speedbump Piezoelektrik Sebagai Energi Listrik Alternatif (Studi Kasus Gerbang Kampus UBT)</i>	Penelitian ini menggunakan metode Research & Development (R&D)	Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sumber energi alternatif skala kecil dengan memanfaatkan energi kinetik kendaraan yang melintas di Kampus Universitas Borneo

No	Nama, Tahun, Judul Penelitian	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
			Tarakan melalui <i>speed bump</i> berbasis piezoelektrik. Selama hari Senin, Selasa, Rabu, Kamis Jumat dan Sabtu energi listrik yang dihasilkan pada Kampus Universitas Borneo 2,48kW, 1,97kW, 2,02kW, 2,16kW, 1,92kW dan 1,07kW.

Berdasarkan Tabel 3. 1 diatas, penelitian ini pemanfaatan *speed bump* sebagai penghasil energi listrik dengan pengembangan metode RSV-P untuk mengkonversi energi kinetik kendaraan menjadi energi listrik, mendukung infrastruktur pengujian kendaraan bermotor. Sebaliknya, penelitian nomor nomor 1 menggunakan jenis mekanisme *Electromagnetic Speed bump Energy Harvester (ESE)* yang memanfaatkan prinsip elektromagnetik. Penelitian ini juga berfokus pada desain dan simulasi berbasis RSV-P, sementara penelitian nomor 2 lebih menekankan pada rekayasa mekanik generator menggunakan *gear ratio* untuk meningkatkan putaran generator. Penelitian nomor 3 menggunakan jenis mekanisme piezoelektrik transduser yang mengubah tekanan ban kendaraan menjadi listrik melalui efek piezoelektrik dengan penerapan utama pada pemantauan suhu berbasis IoT. Pada penelitian nomor 4, dengan sistem *intelligent retarder*, dimana dirancang dengan desain dan analisis sistem untuk mengkonversi energi kinetik yang dihasilkan oleh kendaraan saat melintasi *speed bump* menjadi energi listrik melalui mekanisme mekanis. Sedangkan pada penelitian ini, berfokus pada mendesain dan mensimulasikan konversi energi kinetik menjadi energi listrik berbasis RSV-P. Penelitian nomor 5 mengembangkan sumber energi alternatif skala kecil dengan memanfaatkan *speed bump*, sedangkan penelitian ini berfokus pada pengembangan sumber energi terbarukan untuk kendaraan bermotor dengan JBB kurang dari 26 ton.

## METODE PENELITIAN

### 4.1 Sumber dan Teknik Pengumpulan Data

#### 4.1.1 Sumber data

Penelitian ini merupakan penelitian terapan (*applied research*) berbasis *literature review* dengan menggunakan data sekunder sebagai rancangan perhitungan awal yang bertujuan untuk mendesain dan mensimulasikan RSV-P dan panel surya sebagai solusi penyediaan energi listrik alternatif bagi infrastruktur pengujian kendaraan bermotor lajur 4 di UP PKB Pulo Gadung. Selain itu, pengambilan data secara langsung melalui observasi dan perhitungan dilakukan melalui analisis data operasional pengujian kendaraan bermotor, yang mencakup jumlah kendaraan yang melakukan pengujian berkala selama tahun 2024 serta konsumsi energi listrik di lajur 4. Data ini digunakan sebagai referensi utama dalam proses desain dan simulasi RSV-P guna mengevaluasi potensi konversi energi kinetik menjadi energi listrik.

#### 4.1.2 Teknik pengumpulan data

##### 1. Studi literatur

Studi literatur atau *literature review* adalah suatu proses yang melibatkan pengumpulan informasi dari berbagai sumber pustaka, penelaahan isi, pencatatan poin-poin penting, serta pengorganisasian data untuk digunakan dalam penulisan ilmiah (Admin, Bela Purnama Dewi and Elsa Mayora, 2021). Studi literatur dapat diperoleh dari jurnal ilmiah, buku, arsip dokumentasi, sumber daring, serta literatur pustaka yang berkaitan dengan konversi energi kinetik menjadi energi listrik menggunakan RSV-P dan panel surya.

##### 2. Observasi

Observasi dilakukan untuk mengamati secara langsung kondisi infrastruktur pengujian kendaraan bermotor, karakteristik lalu lintas di lajur 4, serta pola pergerakan kendaraan yang melintasi *speed bump*, jumlah dan berat kosong

kendaraan yang melakukan pengujian dan kebutuhan energi listrik pada lajur 4.

### 3. Perhitungan awal

Perhitungan awal dilakukan terhadap konsumsi energi listrik di UP PKB Pulo Gadung sebesar 19.872 kWh per bulan dengan 6 panel. Analisis ini bertujuan untuk menentukan lajur mekanis yang akan menerima hasil konversi energi dari sistem RSV-P. Lajur 4 dipilih karena memiliki konsumsi energi listrik terendah di antara tiga lajur lainnya, yaitu sebesar 27,6 kWh per hari pada bulan Februari 2025. Pemilihan lajur 4 didasarkan pada pertimbangan efisiensi, di mana lajur ini memungkinkan penerapan teknologi RSV-P secara lebih efektif dengan dampak minimal terhadap konsumsi energi. Selain itu, lajur 4 akan dijadikan sebagai model percontohan, yang nantinya dapat dievaluasi dan diperluas penerapannya pada lajur-lajur lain untuk meningkatkan efisiensi energi di seluruh sistem dan mengurangi ketergantungan pada sumber daya fosil.

Setelah perhitungan awal dilakukan, tahap selanjutnya adalah pengumpulan data jumlah kendaraan yang tercatat sebanyak 89.301 unit pada tahun 2024, data berat kosong dan kecepatan kendaraan saat melintasi *speed bump*. Data ini akan digunakan pada tahap selanjutnya untuk melakukan perhitungan simulasi menggunakan perangkat lunak simulasi seperti MATLAB-Simulink dan HOMER Pro.

## 4.2 Metode Analisis Data

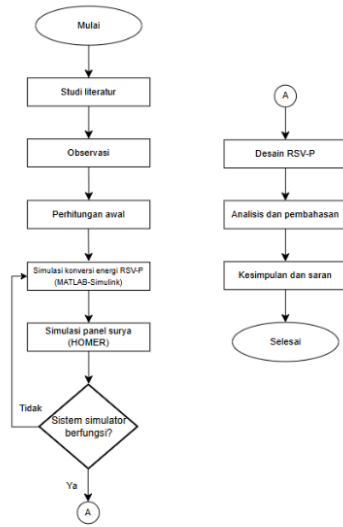
Metode analisis simulasi digunakan untuk mengevaluasi kinerja RSV-P dalam mendukung infrastruktur pengujian kendaraan bermotor lajur 4 di UP PKB Pulo Gadung. Penelitian ini menggunakan pendekatan analisis simulasi berbasis perangkat lunak MATLAB-Simulink, HOMER Pro, dan SketchUp untuk memodelkan serta mengevaluasi sistem RSV-P secara komprehensif. MATLAB-Simulink digunakan untuk menyelesaikan solusi numerik yang menggambarkan interaksi antara sistem RSV-P dan kendaraan berdasarkan persamaan mekanis dan konversi energi. Pemilihan jenis mekanis konversi energi yang digunakan dalam sistem RSV-P pada penelitian ini menggunakan jenis mekanisme hidrolik, dimana

jenis mekanisme konversi energi berbasis sistem hidrolik menunjukkan efektivitas paling tinggi ketika diaplikasikan pada kendaraan yang memiliki beban pada poros penggerak (*drive axle*) dengan rentang berat mulai dari 500 kilogram hingga 11,5 ton (Zerom Kahsay Advisor and Aman, 2020). Pendekatan ini bertujuan untuk mengevaluasi performa mekanisme secara lebih objektif dalam konteks spesifik kondisi lalu lintas dan kebutuhan energi di lokasi penelitian. Perbandingan awal karakteristik teknis dari masing-masing mekanisme dapat dilihat pada Tabel 2. 1.

Dalam penelitian ini digunakan perangkat lunak HOMER Pro karena memiliki fleksibilitas tinggi dalam merancang dan mensimulasikan sistem pembangkit listrik hibrida, baik yang terhubung ke jaringan (*grid-connected*) maupun yang berdiri sendiri (*off-grid*). Aplikasi HOMER Pro dimanfaatkan untuk memodelkan dan menganalisis potensi panel surya guna menilai kontribusi energi terhadap sistem kelistrikan. Sementara itu, SketchUp digunakan untuk membuat desain visual dan representasi tiga dimensi RSV-P, sehingga memberikan gambaran konstruksi fisik dan sinergi energi dalam lingkungan pengujian kendaraan. Analisis simulasi ini bertujuan untuk memperoleh estimasi yang lebih akurat mengenai efisiensi sistem dalam menghasilkan energi terbarukan serta mengoptimalkan desain mekanis agar dapat diterapkan secara efektif untuk memenuhi kebutuhan energi di lajur 4.

### 4.3 Bagan Alir Penelitian

Adapun bagan alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 7. Bagan alir penelitian

#### Penjelasan Diagram Alir Penelitian:

##### 1. Studi literatur

Studi literatur atau *literature review* adalah proses pengumpulan data dari berbagai sumber pustaka, seperti jurnal ilmiah, buku, arsip dokumentasi, sumber daring yang berkaitan dengan konversi energi kinetik menjadi energi listrik menggunakan RSV-P dan potensi panel surya dengan tujuan meningkatkan efisiensi energi pada infrastruktur pengujian kendaraan bermotor lajur 4 di UP PKB Pulogadung.

##### 2. Observasi

Pada tahapan awal penelitian, pengumpulan data dilakukan secara langsung dengan melihat kondisi infrastruktur pengujian kendaraan bermotor, karakteristik lalu lintas di lajur 4, serta pola pergerakan

kendaraan yang melintasi *speed bump*. Selain itu, observasi juga mencakup pengamatan terhadap jumlah dan berat kosong kendaraan yang melakukan pengujian serta kebutuhan energi listrik yang digunakan pada lajur 4. Proses observasi ini dirancang untuk memperoleh data empiris yang menggambarkan kondisi lapangan secara akurat dan relevan dengan tujuan penelitian.

### 3. Simulasi konversi energi

Tahap simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak MATLAB-Simulink dan HOMER Pro untuk menganalisis efisiensi konversi energi sistem RSV-P dan panel surya. MATLAB-Simulink digunakan untuk memodelkan dan mensimulasikan mekanisme konversi energi dari RSV-P, dengan mempertimbangkan variabel seperti berat kendaraan, kecepatan, dan frekuensi penggunaan *speed bump*. Sementara itu, perangkat lunak HOMER Pro digunakan untuk melakukan optimasi energi panel surya. Simulasi ini digunakan untuk menentukan kombinasi optimal antara daya yang dihasilkan RSV-P dan panel surya, guna memastikan suplai energi yang stabil dan efisien dalam mendukung infrastruktur pengujian kendaraan bermotor. Dengan pendekatan ini, sistem RSV-P tidak hanya berfungsi sebagai sumber energi terbarukan yang berdiri sendiri, tetapi juga dapat berkontribusi dalam sistem sinergi sumber energi yang lebih berkelanjutan.

### 4. Perancangan desain

Perancangan desain RSV-P dan panel surya dilakukan secara komprehensif untuk menjamin kinerja optimal dalam mendukung infrastruktur pengujian kendaraan bermotor di lajur 4 UP PKB Pulo Gadung. Berdasarkan hasil simulasi, dilakukan desain fisik sistem RSV-P dan panel surya yang akan diterapkan di lajur 4. Selanjutnya, sistem konversi energi dirancang dengan memanfaatkan mekanisme seperti pegas-peredam atau generator linier, yang berfungsi untuk mengubah tekanan dan getaran dari kendaraan yang melintas menjadi energi listrik.

#### 5. Analisis dan evaluasi hasil simulasi

Hasil simulasi ini akan dianalisis untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam menghasilkan energi listrik serta menentukan apakah jumlah energi yang dihasilkan mampu memenuhi sebagian atau seluruh kebutuhan daya listrik pada lajur 4. Dengan pendekatan ini, RSV-P diharapkan dapat meningkatkan efisiensi energi dalam pengujian kendaraan bermotor serta memberikan solusi inovatif dalam pemanfaatan energi terbarukan disektor transportasi.

### 4.4 Model Teoritis dan Diagram Blok Sistem RSV-P

#### 4.4.1 Tekanan hidrolik akibat beban kendaraan

Tahapan awal dimulai dari gaya tekan kendaraan terhadap permukaan *speed bump*. Gaya ini dilambangkan sebagai  $F_{veh}$  yang dinyatakan dalam satuan Newton (N), bekerja pada permukaan dengan luas  $A_{Bump}$ . Berdasarkan Hukum Pascal, tekanan hidrolik yang ditransmisikan ke dalam fluida dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$P(t) = \frac{F_{veh}(t)}{A_{Bump}} \quad (4.1)$$

(Sumber: Zerom Kabsay Advisor and Aman, 2020)

Keterangan:

$P(t)$  = Tekanan hidrolik sebagai fungsi waktu (Pascal atau N/m<sup>2</sup>)

$F_{veh}(t)$  = Gaya tekan kendaraan sebagai fungsi waktu (Newton)

$A_{Bump}$  = Luas permukaan pelat tekan (m<sup>2</sup>)

#### 4.4.2 Gaya keluaran aktuator hidrolik

Blok aktuator hidrolik kemudian mengalikan tekanan tersebut ke dalam gaya linier yang bekerja pada piston, dengan memperhitungkan luas piston efektif  $A_{piston,eff}$ , dimana gaya tekan kendaraan ditransmisikan dan diperbesar atau diperkecil sesuai dengan rasio luas antara permukaan *bump* dan piston, sehingga gaya piston yang dihasilkan dinyatakan pada rumus 4.2.

$$F_{veh}(t) = P(t) \times A_{piston,eff} = \frac{F_{veh}(t)}{A_{Bump}} A_{piston,eff} \quad (4.2)$$

(Sumber: Zerom Kahsay Advisor and Aman, 2020)

Keterangan:

$A_{piston,eff}$  = Luas efektif piston aktuator hidrolik (m<sup>2</sup>)

#### 4.4.3 Respon dinamis silinder

Gaya piston ini selanjutnya menggerakkan silinder vertikal yang secara dinamis dimodelkan sebagai subsistem massa-pegas-peredam, yang secara matematis direpresentasikan oleh fungsi transfer linier sebagai berikut:

$$H_{cyl}(s) = \frac{V(s)}{F_{piston}(s)} = \frac{s}{m s^2 + b s + k} \quad (4.3)$$

(Sumber: Jensen and Mclain)

Keterangan:

$H_{cyl}(s)$  = Fungsi transfer sistem silinder dalam domain Laplace

$V(s)$  = Transformasi Laplace dari kecepatan linier piston  $v(t)$  (m/s)

$F_{piston}(s)$  = Transformasi Laplace dari gaya piston  $F_{piston}(t)$  (N)

$m$  = Massa silinder (kg)

$b$  = Koefisien redaman (Ns/m)

$k$  = Konstanta pegas (N/m)

$S$  = Variabel dalam domain Laplace (kompleks), satuan 1/s

Fungsi ini menghasilkan kecepatan linier piston  $v(t)$ , yang dinyatakan dalam satuan (m/s), sebagai respon terhadap gaya  $F_{piston}(t)$ , yang menunjukkan karakteristik *underdamped* menghasilkan osilasi yang meredam terhadap waktu.

#### 4.4.4 Konversi gerak linier ke rotasi

Kecepatan linier  $v(t)$  yang dihasilkan oleh gerakan translasi piston kemudian ditransformasikan menjadi kecepatan sudut  $\omega(t)$  melalui suatu mekanisme konversi linier-rotasi, dengan rasio mekanik piston-shaft ( $L$ ),

dimana besarnya  $L$  tergantung pada desain mekanik seperti diameter poros, roda gigi atau *linkage* penghubung.

$$\omega(t) = \frac{v(t)}{L} \quad (4.4)$$

Keterangan:

$\omega(t)$  = Kecepatan sudut (angular velocity) terhadap waktu (rad/s)

$v(t)$  = Kecepatan linier piston terhadap waktu (m/s)

$L$  = Rasio mekanik atau jarak linier per satuan rotasi (m/rad)

Setelah konversi gerak terjadi, kecepatan sudut  $\omega(t)$  ini kemudian diumpankan ke subsistem generator, yang bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik untuk mengubah energi rotasi menjadi energi listrik. Efisiensi dari proses konversi linier-rotasi dan stabilitas  $\omega(t)$  akan sangat menentukan besar kecilnya daya listrik yang dihasilkan oleh sistem secara keseluruhan.

#### 4.4.5 Pembangkitan tegangan listrik

Gerakan rotasi tersebut menggerakkan rotor generator, yang menghasilkan tegangan berdasarkan konstanta back-EMF  $K_e$ , sehingga:

$V(t) = K_e \omega(t)$	(4.5)
------------------------	-------

*(Sumber: Jensen and McLain)*

Keterangan:

$K_e$  = Konstanta back-EMF (Volt per rad/s)

$\omega(t)$  = Kecepatan sudut rotor terhadap waktu (rad/s)

#### 4.4.6 Pembentukan arus listrik

Sementara arus beban  $I(t)$  dihitung berdasarkan torsi generator  $K_t \omega(t)$  dikurangi redaman mekanik beban  $B_{load} \omega(t)$ , lalu dibagi resistansi beban listrik  $R_{load}$ , dimana persamaan ini memodelkan respons listrik dari generator terhadap beban;

$I(t) = \frac{K_t \omega(t) - B_{load} \omega(t)}{R_{load}} = \frac{(K_t - B_{load}) \omega(t)}{R_{load}}$	(4.6)
--	-------

*(Sumber: Movellan, 2010)*

Keterangan:

$I(t)$  = Arus listrik beban (Ampere) sebagai fungsi waktu

$K_t$  = Konstanta torsi elektromagnetik dari generator (Nm/rad/s)

$B_{load}$  = Koefisien redaman beban (Nm/rad/s), mewakili hambatan mekanik tambahan

$R_{load}$  = Resistansi beban listrik (Ohm)

#### 4.4.7 Daya dan energi listrik yang dihasilkan

Selanjutnya, keluaran sistem listrik dinyatakan dalam bentuk daya instan:

$$P(t) = V(t) \cdot I(t) \quad (4.7)$$

(Sumber: Zerom Kalsay Advisor and Aman, 2020)

89

Keterangan:

$P(t)$  = Daya listrik instan (Watt)

$V(t)$  = Tegangan listrik yang dihasilkan (Volt)

dan energi total yang dihasilkan selama periode simulasi adalah:

$$E = \int_0^T P(t) dt \quad (4.8)$$

(Sumber: Jensen and McLain, no date)

Keterangan:

$E$  = Energi listrik total yang dihasilkan (dalam satuan Joule atau Wh)

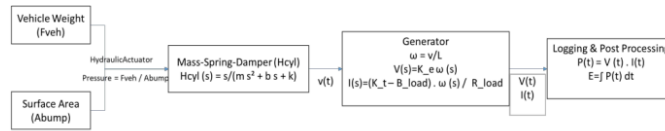
$T$  = Periode waktu total operasi (detik, jam, atau sesuai konteks simulasi)

$\int_0^T$  = Operasi integral dari waktu 0 hingga T

Dengan perhitungan ini, kita dapat mengetahui total energi listrik yang dihasilkan oleh RSV-P berdasarkan input gaya dari kendaraan.

#### 4.4.8 Diagram blok sistem RSV-P

Untuk memperjelas alur kerja, sistem RSV-P dapat direpresentasikan dalam bentuk diagram blok konseptual sistem yang dapat dilihat pada Gambar 8.

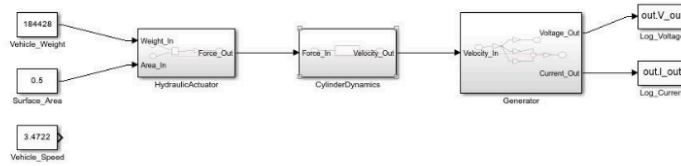


**Gambar 8.** Diagram blok konseptual

Urutan proses dalam sistem RSV-P secara sistematis merepresentasikan aliran konversi energi dari bentuk mekanik menjadi energi listrik. Proses ini diawali dari gaya mekanis yang ditimbulkan oleh beban kendaraan saat melintasi permukaan *speed bump*, yang kemudian dikonversi menjadi tekanan hidrolik melalui hukum Pascal. Tekanan ini diteruskan ke dalam sistem aktuator hidrolik, menghasilkan gaya linier pada piston. Gaya linier tersebut menjadi masukan bagi subsistem mekanik berupa sistem massa-pegas-peredam, yang bertugas mengatur karakteristik dinamis pergerakan piston dalam bentuk osilasi. Respon osilasi ini dinyatakan dalam bentuk kecepatan linier sebagai fungsi waktu, yang mencerminkan perilaku sistem dalam menghadapi input gaya dinamis. Kecepatan linier kemudian dikonversikan menjadi kecepatan sudut melalui hubungan geometrik, dan selanjutnya digunakan untuk menghasilkan tegangan listrik melalui konstanta *back electromotive force* (back-EMF) dari generator.

Selain itu, interaksi antara torsi elektromagnetik dan redaman beban mekanis menghasilkan arus listrik yang mengalir pada beban. Dari tegangan dan arus ini, diperoleh daya listrik instan yang dihitung sebagai produk dari keduanya, dan energi total sistem diperoleh melalui integrasi daya terhadap waktu. Dengan memahami keterkaitan antar blok sistem serta persamaan matematis yang merepresentasikan perilaku dinamis masing-masing komponen, dapat diperoleh pemahaman menyeluruh mengenai mekanisme kerja sistem RSV-P. Sistem ini menunjukkan bagaimana prinsip dasar mekanika fluida, dinamika sistem mekanik, dan teori elektromagnetik dapat digabungkan secara terintegrasi untuk menghasilkan solusi inovatif dalam konversi energi terbarukan dari interaksi kendaraan terhadap *speed bump*. Untuk

merepresentasikan alur kerja sistem RSV-P secara lebih konkret dan terukur, dilakukan pemodelan simulasi menggunakan diagram blok dalam lingkungan MATLAB-Simulink yang dapat dilihat pada Gambar 9.



**Gambar 9.** Diagram blok simulasi MATLAB-Simulink

Diagram blok simulasi di atas merupakan representasi model dinamis sistem RSV-P dalam lingkungan MATLAB/Simulink yang menggambarkan proses konversi energi mekanik menjadi energi listrik. Sistem dimulai dari input massa kendaraan (*Vehicle\_Weight*), luas permukaan tumbukan (*Surface\_Area*), dan kecepatan kendaraan (*Vehicle\_Speed*). Ketiga parameter ini dimasukkan ke dalam blok *Hydraulic Actuator*, yang berfungsi menghitung gaya tekan kendaraan terhadap sistem berdasarkan prinsip tekanan hidrolik (Hukum Pascal).

Gaya yang dihasilkan kemudian diteruskan ke blok *CylinderDynamics*, yang memodelkan perilaku dinamis piston sebagai sistem massa–pegas–peredam. Blok ini menghasilkan kecepatan linier piston sebagai respon terhadap gaya masukan. Kecepatan linier tersebut menjadi input bagi blok *Generator*, yang mengubah gerakan mekanik menjadi tegangan dan arus listrik berdasarkan prinsip elektromagnetik. Output sistem berupa tegangan (*Voltage\_Out*) dan arus listrik (*Current\_Out*) direkam melalui blok log outV\_out dan outI\_out, yang selanjutnya digunakan untuk menghitung daya dan energi listrik sistem secara keseluruhan.

#### 4.5 Pembuatan Model Simulasi RSV-P di MATLAB-Simulink

Simulasi sistem dinamik RSV-P dikembangkan menggunakan pendekatan pemodelan berbasis blok diagram di Simulink, yang dikendalikan secara terstruktur

melalui kode skrip MATLAB. Adapun kode untuk inisiasi lingkungan kerja di MATLAB yang telah dibuat yang dapat dilihat pada Gambar 10.

```
1 clear; clc; close all;
2 modelName = 'SpeedBumpEnergyConverter';
3
4 if bdIsLoaded(modelName)
5     close_system(modelName, 0);
6 end
7
```

**Gambar 10.** Kode inisiasi lingkungan kerja MATLAB

Pada bagian awal skrip ini, dilakukan proses inisialisasi lingkungan kerja MATLAB dan Simulink guna memastikan bahwa seluruh proses simulasi dibangun dalam kondisi yang steril dan bebas dari residu proses sebelumnya. Baris perintah `clear; clc; close all` berfungsi untuk menghapus seluruh variabel yang tersimpan, membersihkan tampilan di *Command Window*, serta menutup semua jendela grafik yang masih aktif, sehingga eksekusi skrip dimulai dalam keadaan terkontrol dan bersih. Selanjutnya, ditetapkan variabel `modelName` dengan nilai string `'SpeedBumpEnergyConverter'`, yang merepresentasikan identitas model Simulink yang akan dibangun. Pemeriksaan terhadap status aktif model dilakukan melalui fungsi `bdIsLoaded`; apabila model tersebut sudah terbuka, maka `close_system(...,0)` akan menutupnya tanpa menyimpan perubahan, guna menghindari konflik struktur dan memastikan keutuhan desain dari perubahan yang tidak disengaja. Perintah `new_system(modelName)` kemudian digunakan untuk membuat model baru, dan `open_system(modelName)` membuka model tersebut dalam antarmuka grafis Simulink, sehingga kanvas pemodelan siap digunakan. Dengan demikian, seluruh ruang kerja pemrograman dan pemodelan telah dipersiapkan secara sistematis untuk menerima dan mengeksekusi instruksi lanjutan dalam pengembangan sistem RSV-P. Adapun kode untuk mendefinisikan parameter dapat dilihat pada Gambar 11.

```

8 % =====
9 %                               Definisi Parameter (dengan v_vehicle)
10 % =====
11 W_default = 9695; % Beban kendaraan [N]
12 A_default = 0.5;  % Luas speed bump [m²]
13 A_piston  = 0.01; % Luas piston hidrolik [m²]
14 m         = 50;   % Massa silinder [kg]
15 b         = 100;  % Redaman silinder [N·s/m]
16 k         = 5000; % Konstanta pegas silinder [N/m]
17 L         = 0.3;  % Rasio kecepatan piston → generator [m]
18
19 % ----- Parameter Generator -----
20 K_e       = 1.0;  % Back-EMF constant [V·s/rad]
21 K_t       = 1.0;  % Torque constant [N·m/A]
22 B_load    = 0.1;  % Redaman beban [N·m·s]
23 R_load    = 1;    % Resistansi beban listrik [Ω]
24
25 % ----- Parameter Kendaraan -----
26 v_vehicle = 3.47222; % Kecepatan kendaraan [m/s]
27 v_ref     = 3.47222; % Kecepatan referensi [m/s] untuk skala gaya
28
29 % Skala luas piston berdasarkan kecepatan
30 A_piston_eff = A_piston * (v_vehicle / v_ref);
31

```

Gambar 11. Kode definisi parameter

Kode ini digunakan untuk mendefinisikan parameter fisik dan elektromagnetik yang menjadi fondasi dalam sebuah simulasi sistem konversi energi mekanik menjadi energi listrik berbasis RSV-P yang dimodelkan di MATLAB-Simulink. Setiap parameter memiliki peran fungsional dalam merepresentasikan karakteristik dinamis dari sistem, dimana *W-default* dan *v-vehicle* dapat dimodifikasi sesuai dengan berat dan kecepatan yang diinginkan.

Adapun penjelasan masing-masing parameter adalah sebagai berikut:

1. *W\_default*: Gaya tekan vertikal dari kendaraan pada sistem RSV-P, diasumsikan sebagai berat kendaraan (massa dikalikan gravitasi,  $9.81 \text{ m/s}^2$ ).
2. *A\_default*: Luas permukaan atas dari *speed bump* yang bersentuhan langsung dengan roda kendaraan.
3. *A\_piston*: Luas penampang piston hidrolik yang bertugas mengubah tekanan akibat beban kendaraan menjadi gerakan linier cairan.
4. *m*: Massa dari elemen silinder atau komponen bergerak dalam sistem (piston dan sistem konversi gerak).

5.  $b$ : Koefisien redaman mekanik yang mewakili gaya gesekan viskosa yang memperlambat gerakan piston.
6.  $k$ : Konstanta pegas yang menentukan kekakuan sistem RSV-P dalam merespons deformasi akibat tekanan beban kendaraan.
7.  $L$ : Rasio konversi perpindahan linier piston menjadi putaran poros generator.
8.  $K_e$ : Konstanta elektromotif gaya balik (back-EMF), menyatakan hubungan antara kecepatan putar rotor dengan tegangan listrik yang dihasilkan.
9.  $K_t$ : Konstanta torsi motor/generator, menyatakan hubungan antara arus listrik yang mengalir dengan torsi yang dihasilkan.
10.  $B_{load}$ : Redaman inersia atau gaya hambat terhadap rotasi pada sisi beban generator (gesekan atau inersia sistem mekanik).
11.  $R_{load}$ : Resistansi listrik dari beban yang terhubung ke *output* generator (digunakan untuk menghitung daya listrik yang hilang atau terkonversi), yang mempengaruhi arus dan penyerapan daya.
12.  $v_{vehicle}$ : Kecepatan aktual kendaraan yang melintasi sistem RSV-P. Di sini dinyatakan dalam satuan meter per detik (m/s).
13.  $v_{ref}$ : Kecepatan referensi yang digunakan sebagai acuan untuk penskalaan atau normalisasi beberapa parameter sistem, seperti luas efektif piston.

Variabel  $A_{piston\_eff}$  merupakan bentuk penyesuaian terhadap luas penampang piston ( $A_{piston}$ ) agar dapat merepresentasikan pengaruh dinamis dari kecepatan kendaraan terhadap sistem hidrolik. Dalam konteks model RSV-P, gaya tekan yang diterima piston hidrolik sangat dipengaruhi oleh besarnya tekanan, yang secara umum dihitung dari hasil bagi antara gaya dan luas permukaan. Namun, karena gaya tekan yang ditimbulkan oleh kendaraan tidak hanya bergantung pada berat, tetapi juga pada kecepatan saat melintasi *speed bump*, maka diperlukan pendekatan skala untuk merepresentasikan pengaruh kecepatan tersebut.  $A_{piston\_eff}$  didapatkan dengan mengalikan  $A_{piston}$  dengan rasio  $v_{vehicle}$  dibagi  $v_{ref}$ , yaitu perbandingan antara kecepatan kendaraan saat simulasi dengan

kecepatan referensi. Dengan cara ini, variabel  $A_{piston\_eff}$  memungkinkan sistem secara matematis merepresentasikan pengaruh kecepatan kendaraan terhadap respons dinamis tanpa perlu mengubah struktur fisik dari model. Dengan mengalikan luas piston aktual dengan rasio antara  $v_{vehicle}$  dan kecepatan referensi  $v_{ref}$ , sistem mengasumsikan bahwa luas efektif piston meningkat secara linier seiring bertambahnya kecepatan kendaraan. Adapun kode untuk membuat blok input model dalam Simulink dapat dilihat pada Gambar 12.

```
32 % =====  
33 %                               Buat Model Simulink  
34 % =====  
35 new_system(modelName);  
36 open_system(modelName);  
37  
38 % -- Blok Input --  
39 add_block('simulink/Sources/Constant',[modelName '/Vehicle_Weight']);  
40 set_param([modelName '/Vehicle_Weight'],'Value',num2str(W_default),'Position',[50 50 100 80]);  
41  
42 add_block('simulink/Sources/Constant',[modelName '/Surface_Area']);  
43 set_param([modelName '/Surface_Area'],'Value',num2str(A_default),'Position',[50 120 100 150]);  
44  
45 add_block('simulink/Sources/Constant',[modelName '/Vehicle_Speed']);  
46 set_param([modelName '/Vehicle_Speed'],'Value',num2str(v_vehicle),'Position',[50 190 100 220]);  
47
```

Gambar 12. Kode untuk membuat blok input model

Saat seluruh parameter utama didefinisikan, langkah selanjutnya adalah membangun model Simulink baru. Meskipun pemanggilan model telah dilakukan sebelumnya, baris `new_system` dan `open_system` diulang untuk memastikan bahwa model benar-benar aktif dan siap digunakan dalam proses pemodelan. Pada tahap ini, tiga blok `Constant` ditambahkan ke dalam kanvas Simulink, masing-masing merepresentasikan masukan utama sistem. `Vehicle_Weight` merepresentasikan nilai gaya berat kendaraan dalam satuan Newton, blok `Surface_Area` menunjukkan luas kontak antara roda kendaraan dan permukaan `speed bump`, sedangkan blok `Vehicle_Speed` berfungsi untuk mencatat nilai kecepatan kendaraan saat ini. Meskipun `Vehicle_Speed` belum langsung terhubung ke subsistem lainnya, keberadaannya dalam model memberikan fleksibilitas struktural untuk perluasan simulasi di masa mendatang, misalnya dalam analisis kecepatan terhadap respons dinamis sistem.

Dengan terselesaikannya langkah ini, model Simulink telah dilengkapi dengan tiga input statis utama yang berperan sebagai parameter masukan bagi

subsistem hidrolik dan mekanik. Input ini menjadi fondasi penting dalam proses simulasi karena mewakili kondisi awal sistem yang konstan selama proses analisis berlangsung. Pada tahap berikutnya, blok-blok input ini akan diintegrasikan ke dalam subsistem *HydraulicActuator*, di mana prinsip dasar mekanika fluida diterapkan untuk menghitung tekanan hidrolik melalui pembagian antara gaya tekan kendaraan (*Weight\_In*) dan luas permukaan kontak (*Area\_In*). Hasil tekanan ini selanjutnya dikonversi menjadi gaya linier piston menggunakan pengali (*gain*) yang merepresentasikan luas efektif piston, yakni *A\_piston\_eff*, yang dapat dilihat pada Gambar 13.

```

48 % -- hydraulicActuator --
49 add_block('simulink/Ports & Subsystems/Subsystem',[modelName '/HydraulicActuator']);
50 set_param(modelName '/HydraulicActuator','Position',[200 70 320 130]);
51 hydraulicsys = [modelName '/HydraulicActuator'];
52 open_system(hydraulicsys);
53 delete_block([hydraulicsys '/In1']); delete_block([hydraulicsys '/Out1']);
54
55 add_block('simulink/Sources/In1',[hydraulicsys '/Weight_In']);
56 set_param(hydraulicsys '/Weight_In','Position',[90 90 80 70]);
57 add_block('simulink/Sources/In1',[hydraulicsys '/Area_In']);
58 set_param(hydraulicsys '/Area_In','Position',[150 100 80 120]);
59
60 add_block('simulink/Math Operations/Divide',[hydraulicsys '/Pressure_Calc']);
61 set_param(hydraulicsys '/Pressure_Calc','Position',[150 70 100 100]);
62
63 add_block('simulink/Math Operations/gain',[hydraulicsys '/Piston_Force']);
64 set_param(hydraulicsys '/Piston_Force','Gain',num2str(A_piston_eff),'Position',[250 75 200 95]);
65
66 add_block('simulink/Sinks/Out1',[hydraulicsys '/Force_Out']);
67 set_param(hydraulicsys '/Force_Out','Position',[350 75 300 95]);
68
69 add_line(hydraulicsys,'Weight_In/1','Pressure_Calc/1');
70 add_line(hydraulicsys,'Area_In/1','Pressure_Calc/2');
71 add_line(hydraulicsys,'Pressure_Calc/1','Piston_Force/1');
72 add_line(hydraulicsys,'Piston_Force/1','Force_Out/1');
73 close_system(hydraulicsys);
74
75 % -- CylinderDynamics --
76 add_block('simulink/Ports & Subsystems/Subsystem',[modelName '/CylinderDynamics']);
77 set_param(modelName '/CylinderDynamics','Position',[400 70 520 130]);
78 cylinderSys = [modelName '/CylinderDynamics'];
79 open_system(cylinderSys);
80 delete_block([cylinderSys '/In1']); delete_block([cylinderSys '/Out1']);
81
82 add_block('simulink/Sources/In1',[cylinderSys '/Force_In']);
83 set_param(cylinderSys '/Force_In','Position',[150 75 80 95]);
84
85 num_coeff = [1 0];
86 den_coeff = [m b k];
87 add_block('simulink/Continuous/Transfer Fcn',[cylinderSys '/Mass_Spring_Damper']);
88 set_param([cylinderSys '/Mass_Spring_Damper'],'Numerator',mat2str(num_coeff),...
89           'Denominator',mat2str(den_coeff),'Position',[150 65 250 105]);
90
91 add_block('simulink/Sinks/Out1',[cylinderSys '/Velocity_Out']);
92 set_param(cylinderSys '/Velocity_Out','Position',[320 75 350 95]);
93
94 add_line(cylinderSys,'Force_In/1','Mass_Spring_Damper/1');
95 add_line(cylinderSys,'Mass_Spring_Damper/1','Velocity_Out/1');
96 close_system(cylinderSys);
97

```

Gambar 13. Kode untuk subsistem *HydraulicActuator*

Blok kode ini merancang dan mengimplementasikan dua subsistem Simulink terpisah yang membentuk inti dari sistem RSV-P, dimulai dari *HydraulicActuator*. Subsistem ini dibuat menggunakan perintah *add\_block*,

kemudian dibuka dan dibersihkan dari blok default input dan output bawaan guna memberikan keleluasaan dalam mendesain arsitektur subsistem secara khusus sesuai kebutuhan sistem fisik yang dimodelkan. Selanjutnya, dua port input ditambahkan yaitu *Weight\_In* dan *Area\_In*. Kedua input ini masing-masing membawa informasi mengenai gaya tekan vertikal kendaraan dan luas permukaan *speed bump* yang diperlukan untuk menghitung tekanan hidrolik. Kedua masukan ini dikoneksikan ke blok *Divide*, yang berfungsi menghitung tekanan hidrolik berdasarkan prinsip hukum Pascal, yaitu tekanan sebagai hasil pembagian gaya terhadap luas, dimana:

$P = \frac{F}{A}$	(4.9)
-------------------	-------

(Sumber: Zerom Khasay Advisor and Aman, 2020)

49

**Keterangan:**

**P** = Tekanan (Pa) atau N/m<sup>2</sup>

**F** = Gaya (N)

**A** = Luas permukaan tempat gaya bekerja (m<sup>2</sup>)

Hasil dari perhitungan ini selanjutnya dimasukkan ke dalam blok *Gain*, yang berfungsi sebagai pengali tetap terhadap tekanan dengan konstanta *A\_piston\_eff*, yakni luas efektif piston yang sebelumnya telah disesuaikan terhadap kecepatan kendaraan. Nilai akhirnya merupakan gaya piston linier yang menjadi representasi konversi dari energi fluida ke energi mekanis linier yang dihasilkan oleh sistem hidrolik dan dikeluarkan melalui blok *Force\_Out*. Seluruh rangkaian pemrosesan dibangun secara berurutan dan logis, dimulai dari masukan gaya kendaraan dan luas permukaan, kemudian dihitung tekanannya, dilanjutkan dengan konversi tekanan menjadi gaya piston melalui penguatan oleh luas piston efektif. Keempat blok utama, dua port masukan, satu pemroses tekanan, satu penguat, dan satu port keluaran dihubungkan secara serial menggunakan perintah *add\_line* untuk membentuk jalur aliran data yang mencerminkan transformasi energi secara fisik, yaitu gaya tekan → tekanan fluida → gaya piston → keluaran sistem.

Setelah memperoleh gaya linier sebagai output dari subsistem hidrolis, kode melanjutkan dengan membangun subsistem kedua, yaitu *CylinderDynamics* yang dibuat dengan logika yang merepresentasikan sistem massa-pegas-peredam. Di dalam subsistem ini, blok input *Force\_In* digunakan untuk menerima gaya piston yang telah dihitung sebelumnya. Gaya ini kemudian dimasukkan ke dalam blok *Transfer Fcn*, yang merepresentasikan model sistem dinamik orde dua dari mekanisme massa-pegas-peredam. Persamaan transfer fungsional ini ditentukan oleh koefisien pembilang [1 0] yang menunjukkan bentuk turunan pertama (kecepatan), dan penyebut [m b k] yang mencerminkan parameter fisik sistem yaitu massa (m), redaman viskosa (b), dan konstanta pegas (k), yang berarti transfer fungsi:

$H_{cyl}(s) = \frac{s}{ms^2 + bs + k}$	(4.10)
--	--------

(Sumber: Jensen and Mclain, no date)

Transfer fungsi yang digunakan dalam subsistem ini memiliki pembilang berupa *s*, yang dalam domain Laplace merepresentasikan turunan terhadap waktu, sehingga output sistem secara langsung berupa kecepatan linier yakni laju perubahan posisi piston akibat gaya masukan. Hasil dari *transfer function* ini diteruskan ke dalam blok *Velocity\_Out*. Karakteristik sistem yang bersifat *underdamped* ditentukan oleh nilai massa (m), koefisien redaman (b), dan konstanta pegas (k), yang secara bersama-sama menghasilkan respon osilasi yang menurun sebelum sistem kembali ke titik kesetimbangan. Dengan demikian, kode ini memodelkan dinamika fisik silinder, yaitu gaya piston memaksa silinder bergerak, sistem pegas merespons, dan redaman meluruhkan energi hingga gerakan berhenti.

```

98 % -- Generator --
99 add_block('simulink/Ports & Subsystems/Subsystem',[modelName '/Generator']);
100 set_param(modelName '/Generator','Position',[600 50 750 150]);
101 generatorSys = [modelName '/Generator'];
102 open_system(generatorSys);
103 delete_block(generatorSys '/In1'); delete_block(generatorSys '/Out1');
104
105 add_block('simulink/Sources/In1',[generatorSys '/Velocity_In1']);
106 set_param(generatorSys '/Velocity_In1','Position',[50 75 80 95]);
107
108 add_block('simulink/Math Operations/Gain',[generatorSys '/Velocity_to_Omega']);
109 set_param(generatorSys '/Velocity_to_Omega','Gain',num2str(1/L),'Position',[120 70 150 90]);
110
111 add_block('simulink/Math Operations/Gain',[generatorSys '/Voltage_Calc']);
112 set_param(generatorSys '/Voltage_Calc','Gain',num2str(K_e),'Position',[200 45 230 65]);
113 add_block('simulink/Sinks/Out1',[generatorSys '/Voltage_Out']);
114 set_param(generatorSys '/Voltage_Out','Position',[280 45 310 65]);
115
116 add_block('simulink/Math Operations/Gain',[generatorSys '/Torque_Term']);
117 set_param(generatorSys '/Torque_Term','Gain',num2str(K_t),'Position',[200 90 230 110]);
118 add_block('simulink/Math Operations/Gain',[generatorSys '/Damping_Term']);
119 set_param(generatorSys '/Damping_Term','Gain',num2str(B_load),'Position',[200 130 230 150]);
120
121 add_block('simulink/Math Operations/Sum',[generatorSys '/Current_Numerator']);
122 set_param(generatorSys '/Current_Numerator','Inputs','+-','Position',[270 105 290 125]);
123 add_block('simulink/Math Operations/Gain',[generatorSys '/Current_Calc']);
124 set_param(generatorSys '/Current_Calc','Gain',num2str(1/R_load),'Position',[320 105 350 125]);
125 add_block('simulink/Sinks/Out1',[generatorSys '/Current_Out']);
126 set_param(generatorSys '/Current_Out','Position',[380 105 410 125]);
127
128 add_line(generatorSys,'Velocity_In1','Velocity_to_Omega/1');
129 add_line(generatorSys,'Velocity_to_Omega/1','Voltage_Calc/1');
130 add_line(generatorSys,'Velocity_to_Omega/1','Torque_Term/1');
131 add_line(generatorSys,'Velocity_to_Omega/1','Damping_Term/1');
132 add_line(generatorSys,'Voltage_Calc/1','Voltage_Out/1');
133 add_line(generatorSys,'Torque_Term/1','Current_Numerator/1');
134 add_line(generatorSys,'Damping_Term/1','Current_Numerator/2');
135 add_line(generatorSys,'Current_Numerator/1','Current_Calc/1');
136 add_line(generatorSys,'Current_Calc/1','Current_Out/1');
137 close_system(generatorSys);
138
139 %
140 % -----
141 % X To Workspace Logging
142 % -----
143 add_block('simulink/Sinks/To Workspace',[modelName '/Log_Voltage']);
144 set_param(modelName '/Log_Voltage','VariableName','V_out','saveFormat','Structure with time','Position',[820 40 880 70]);
145 add_block('simulink/Sinks/To Workspace',[modelName '/Log_Current']);
146 set_param(modelName '/Log_Current','VariableName','I_out','saveFormat','Structure with time','Position',[820 110 880 140]);
147
148 % Sambungan Utama
149 add_line(modelName,'Vehicle_Weight/1','HydraulicActuator/1');
150 add_line(modelName,'Surface_Area/1','HydraulicActuator/2');
151 add_line(modelName,'HydraulicActuator/1','CylinderDynamics/1');
152 add_line(modelName,'CylinderDynamics/1','Generator/1');
153 add_line(modelName,'Generator/1','Log_Voltage/1');
154 add_line(modelName,'Generator/2','Log_Current/1');
155
156 % Simulasi
157 set_param(modelName,'StopTime','0','Solver','ode45');
158 save_system(modelName);
159 simOut = sim(modelName);

```

Gambar 14. Kode untuk subsistem Generator

Gambar 14, menjelaskan subsistem Generator dirancang untuk merepresentasikan proses elektromekanis, yaitu konversi kecepatan linier piston menjadi keluaran berupa tegangan dan arus listrik. Proses dimulai dengan sinyal kecepatan linier piston yang diterima melalui blok *In1*, dimana blok Gain dengan nilai  $1/L$  lalu dikonversi menjadi kecepatan sudut  $\omega$  yang kemudian Gain mengalihkannya menjadi tegangan keluaran. Nilai  $\omega$  ini kemudian dimanfaatkan dalam dua jalur pemrosesan paralel. Pertama, dikalikan dengan konstanta gaya gerak listrik balik  $K_e$  untuk menghasilkan tegangan induksi yang keluar melalui port *Voltage Out*. Kedua, dikalikan secara terpisah dengan konstanta torsi

elektromagnetik  $K_t$  serta koefisien redaman  $B_{load}$  melalui dua blok *Gain* terpisah. Nilai hasil perhitungan torsi ini kemudian dikombinasikan dalam blok *Sum* untuk mendapatkan torsi bersih sistem, yaitu selisih antara torsi yang dihasilkan oleh generator dan torsi akibat redaman. Selanjutnya, torsi bersih ini dibagi terhadap resistansi beban listrik  $R_{load}$  menggunakan blok *Gain*, untuk menghasilkan arus listrik keluaran yang dikeluarkan sebagai sinyal *Current\_Out*. Proses ini mencerminkan prinsip dasar kerja generator, yaitu mengubah energi gerak menjadi energi listrik melalui pengaruh medan magnet, redaman mekanik, dan beban resistif.

Saat ketiga subsistem yaitu *Vehicle\_Weight*, *HydraulicActuator*, dan *CylinderDynamics* terintegrasi secara berurutan menuju subsistem *Generator*, dilakukan penambahan dua buah blok “*To Workspace*” yang berfungsi merekam data keluaran berupa sinyal tegangan ( $V_{out}$ ) dan arus ( $I_{out}$ ), yang dapat dilihat pada Gambar 15. Kedua sinyal ini dicatat dalam format *structure with time*. Seluruh jaringan subsistem kemudian dikonfigurasi untuk menjalankan simulasi selama 5 detik, dengan menggunakan metode penyelesaian numerik *ode45*, model disimpan, dan dijalankan melalui perintah *sim*.

```
160 % Ambil Data
161 V_struct = simOut.get('V_out');
162 I_struct = simOut.get('I_out');
163 t       = V_struct.time;
164 V_data  = V_struct.signals.values;
165 I_data  = I_struct.signals.values;
```

Gambar 15. Blok *To Workspace*

Data hasil simulasi diekstraksi dari objek *simOut*, di mana komponen  $V\_struct.time$  merepresentasikan vektor waktu  $t$ , sementara  $V\_struct.signals.values$  dan  $I\_struct.signals.values$  masing-masing merekam profil tegangan dan arus terhadap waktu. Daya listrik sesaat dihitung secara *element-wise* melalui perkalian langsung antara  $V\_data$  dikali  $I\_data$ , sedangkan total energi yang dihasilkan selama periode simulasi diperoleh menggunakan pendekatan integrasi numerik metode trapesium melalui fungsi *trapz* ( $t$ ,  $P\_data$ ). Nilai daya puncak (*peak power*) dan daya rata-rata juga dihitung untuk memberikan parameter kinerja sistem secara

kuantitatif. Hasil simulasi divisualisasikan dalam tiga subplot yang menampilkan dinamika tegangan, arus, dan daya terhadap waktu, sedangkan nilai *peak power*, *average power*, dan total energi dicetak ke *Command Window* dengan presisi tujuh angka desimal. Dengan demikian, keseluruhan proses konversi energi dari *input* mekanis akibat beban kendaraan hingga keluaran energi listrik telah berhasil dimodelkan dan dijelaskan secara sistematis, kode untuk melakukan perhitungan daya instan dan hasil energi total dapat dilihat pada Gambar 16.

```

167 % -----
168 %           HITUNG DAYA INSTANTAN & ENERGI TOTAL
169 % -----
170 P_data = V_data .* I_data;           % Daya instan (W)
171 E_total = trapz(t, P_data);          % Energi total (Joule)
172 P_peak = max(abs(P_data));           % Peak power (W)
173 P_avg  = mean(P_data);               % Rata-rata daya (W)
174
175 % -----
176 %           PLOT HASIL
177 % -----
178 figure('Name','SpeedBump Energy Converter Results','Position',[100 100 800 800]);
179
180 subplot(3,1,1);
181 plot(t, V_data,'LineWidth',1.2);
182 title('Generated Voltage vs Time');
183 xlabel('Time (s)'); ylabel('Voltage (V)'); grid on;
184
185 subplot(3,1,2);
186 plot(t, I_data,'LineWidth',1.2);
187 title('Generated Current vs Time');
188 xlabel('Time (s)'); ylabel('Current (A)'); grid on;
189
190 subplot(3,1,3);
191 plot(t, P_data,'LineWidth',1.2);
192 title('Instantaneous Power vs Time');
193 xlabel('Time (s)'); ylabel('Power (W)'); grid on;
194
195 % Ringkasan di Command Window
196 fprintf('=== Summary Energi & Daya ===\n');
197 fprintf('Peak Power   : %.7f W\n', P_peak);
198 fprintf('Average Power : %.7f W\n', P_avg);
199 fprintf('Total Energy   : %.7f J\n', E_total);

```

Gambar 16. Kode untuk perhitungan daya instan dan energi total

#### 4.6 Model Teoritis Sistem Panel Surya

Perancangan sistem pembangkit listrik tenaga surya berbasis *off-grid* harus diawali dengan analisis menyeluruh terhadap profil beban listrik (*load profile*) yang akan dilayani. Dalam penelitian ini, beban harian lajur 4 sebesar 27,6 kWh terdistribusi secara penuh selama 8 jam operasional, yaitu dari pukul 08.00 hingga 16.00 WIB. Oleh karena itu, karakteristik temporal beban, khususnya distribusi energi per jam, menjadi determinan utama dalam proses penentuan ukuran (*sizing*)

komponen sistem, seperti konverter dan unit penyimpanan energi (*battery storage*). Perhitungan awal dilakukan untuk memperoleh daya rata-rata yang dibutuhkan sistem setiap jam selama periode operasional.

#### 4.6.1 Perhitungan awal kebutuhan energi di lajur 4

Dengan total kebutuhan energi sebesar 27,6 kWh per hari dan waktu penggunaan selama 8 jam, maka diperoleh:

$P_{avg} = \frac{E}{t}$	(4.11)
-------------------------	--------

Keterangan :

$P_{avg}$  = daya rata-rata (kW)

E = energi total yang digunakan (kWh)

t = durasi penggunaan energi (jam)

Dimana hasil perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$P_{avg} = \frac{27,6}{8} = 3,45 \text{ kW}$$

Asumsi faktor efisiensi inverter sebesar 0,9 digunakan untuk mencerminkan kondisi di mana daya yang dikonversi dari DC ke AC yang efektif bisa digunakan. sepanjang waktu operasional, sedangkan faktor puncak sebesar 1,2 digunakan untuk mengantisipasi lonjakan daya sesaat.

$P_{peak} = P_{avg} \times 1,2 \times \frac{1}{\eta_{inverter}}$	(4.12)
--	--------

Keterangan:

$P_{peak}$  = Daya puncak sistem (kW)

1,2 = Faktor pengali beban puncak (*peak load factor*, untukantisipasi lonjakan beban)

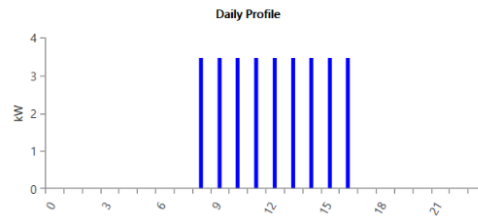
$\eta_{inverter}$  = Efisiensi inverter

Kedua faktor ini diterapkan sebagai pendekatan konservatif dalam proses perancangan, guna memastikan kapasitas sistem pembangkit tetap andal dan adaptif terhadap fluktuasi beban aktual.

$$P_{peak} = P_{avg} \times 1,2 \times \frac{1}{0,9} = 4,6 \text{ kW}$$

#### 4.6.2 Potensi sumber daya matahari (*solar resource*) di UP PKB Pulo Gadung

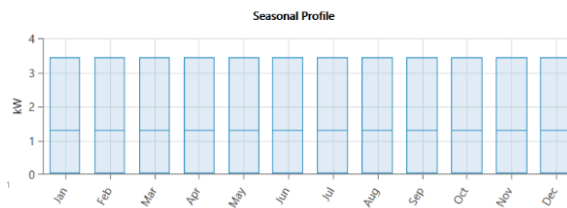
UP PKB Pulo Gadung yang berlokasi di Jalan Raya Bekasi No. KM. 18, RT. 6 / RW. 2, Pulo Gadung, Jakarta Timur, DKI Jakarta, 13260, secara geografis terletak pada koordinat sekitar 6,1864° LS dan 106,9056° BT. Lokasi ini berada dalam zona iklim tropis basah dengan paparan radiasi matahari yang cukup signifikan sepanjang tahun. Potensi energi surya di wilayah ini dianalisis berdasarkan data klimatologi dan radiasi matahari yang diperoleh dari database NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), yang telah terintegrasi secara langsung dalam perangkat lunak HOMER Pro. Data tersebut mencakup parameter penting seperti intensitas radiasi *Global Horizontal Irradiance* (GHI), temperatur rata-rata harian, serta distribusi musiman iradiasi. Adapun distribusi beban harian fotovoltaik (PV) dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17. Distribusi beban harian PV

Gambar 17, merupakan representasi grafis dari profil beban harian (*daily load profile*) pada untuk sistem kelistrikan Lajur IV UP PKB Pulo Gadung. Grafik ini menunjukkan pola konsumsi daya listrik selama periode 24 jam. Dapat dilihat bahwa beban listrik hanya aktif terdistribusi selama 8 jam pada rentang waktu pukul 08.00 hingga 16.00 WIB, di mana selama periode tersebut sistem memerlukan

pasokan daya konstan sebesar 3,45 kW setiap jam. Pola ini mencerminkan aktivitas operasional lajur pengujian yang berlangsung selama 8 jam kerja. Di luar waktu tersebut (00.00–08.00 dan 16.00–24.00), beban tercatat nol, yang menunjukkan tidak adanya konsumsi energi dari sistem. Selain grafik harian, analisis beban juga mencakup grafik beban bulanan yang menggambarkan total konsumsi energi listrik untuk setiap bulan dalam setahun. Dengan beban harian konstan sebesar 27,6 kWh dan sistem beroperasi setiap hari, maka beban bulanan bersifat linier dan proporsional terhadap jumlah hari dalam setiap bulan. Grafik profil beban bulanan PV dapat dilihat pada Gambar 18.



Gambar 18. Grafik beban bulanan PV

Selain data beban, simulasi sistem fotovoltaik juga mempertimbangkan variabel klimatologis yaitu intensitas radiasi matahari dan temperatur. Temperatur berperan penting karena memengaruhi efisiensi konversi daya pada modul surya. Data temperatur tahunan diperoleh melalui integrasi otomatis perangkat lunak HOMER Pro dengan basis data iklim dari NASA. Kemiringan optikal panel surya dipasang pada kemiringan 7° ke utara menurut analisis regional, yang disesuaikan dengan posisi geografis Jakarta Timur. Adapun data temperatur rata-rata bulanan di wilayah Jakarta Timur dapat dilihat pada Tabel 4. 1.

Tabel 4. 1 Temperatur rata-rata di wilayah Jakarta Timur

Bulan	Temperatur harian (°C)
Januari	25,48
Februari	25,38
Maret	25,81
April	26,17

Bulan	Temperatur harian (°C)
Mei	26,28
Juni	25,8
Juli	25,38
Agustus	25,48
September	26,23
Oktober	26,72
November	26,51
Desember	25,92
Rata-rata temperatur	25,93

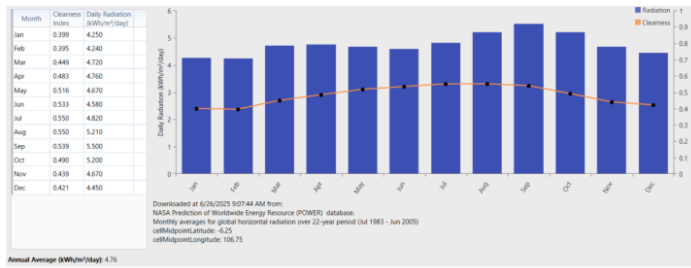
Semakin tinggi nilai intensitas radiasi matahari, maka semakin besar pula potensi energi listrik yang dapat dikonversi oleh sistem pembangkit listrik tenaga surya (PLTS). Berdasarkan hasil integrasi data klimatologis dalam simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER Pro, diketahui bahwa rata-rata nilai GHI di wilayah UP PKB Pulo Gadung mencapai sekitar 4,76 kWh/m<sup>2</sup>-hari, yang mencerminkan tingkat potensi energi surya yang cukup tinggi dan konsisten sepanjang tahun. Adapun data intensitas radiasi matahari di wilayah UP PKB Pulo Gadung dapat dilihat pada Tabel 4. 2.

**Tabel 4. 2** Intensitas iradiasi matahari di wilayah UP PKB Pulo Gadung

Bulan	Intensitas iradiasi matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)
Januari	4,25
Februari	4,24
Maret	4,72
April	4,76
Mei	4,67
Juni	4,58
Juli	4,82

Bulan	Intensitas iradiasi matahari (kWh/m <sup>2</sup> /hari)
Agustus	5,21
September	5,5
Oktober	5,2
November	4,67
Desember	4,45
Rata-rata radiasi	4,76

Variasi musiman intensitas radiasi matahari di wilayah Jakarta Timur menunjukkan fluktuasi nilai GHI sepanjang tahun, dengan nilai terendah terjadi pada musim panas (Maret–Mei) sebesar 4,68 kWh/m<sup>2</sup>·hari, dan tertinggi pada musim hujan (Desember–Februari) sebesar 5,40 kWh/m<sup>2</sup>·hari. Sementara itu, pada musim kemarau (Juni–Agustus) dan pancaroba (September–November), nilai GHI masing-masing tercatat sebesar 5,33 dan 5,06 kWh/m<sup>2</sup>·hari. Komponen penyusun iradiasi terdiri atas *Direct Normal Irradiance* (DNI) yang berkisar antara 60–70% dari GHI, serta *Diffuse Horizontal Irradiance* (DHI) yang berkontribusi sekitar 30–40%. Di wilayah Jakarta, proporsi rata-rata DHI bahkan mencapai ±45%, menunjukkan bahwa radiasi difus memegang peran penting dalam total energi surya yang dapat dimanfaatkan. data tersebut tidak diinput secara manual, tetapi langsung melakukan download pada aplikasi Homer, dimana data GHI dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19. Data GHI

#### 4.6.3 Kerugian sistem (*derating factor*)

Praktik sistem PV menunjukkan bahwa energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya dalam bentuk arus searah (DC) tidak sepenuhnya dapat dimanfaatkan secara optimal, karena mengalami berbagai bentuk kerugian teknis sepanjang jalur konversi dan distribusi energi. Kerugian ini mencakup toleransi daya modul, ketidaksesuaian antar modul (*mismatch*), efisiensi konverter, resistansi kabel, suhu operasi modul, akumulasi debu (*soiling*), serta efek bayangan (*shading*) (Agung and Widiawati, 2025). Untuk merepresentasikan akumulasi dari seluruh kerugian tersebut, digunakan parameter yang disebut faktor *derating* ( $\eta_{derate}$ ), yakni hasil perkalian dari masing-masing faktor efisiensi individu. Untuk merepresentasikan akumulasi dari seluruh kerugian tersebut, digunakan parameter yang disebut faktor *derating* ( $\eta_{derate}$ ), yakni hasil perkalian dari masing-masing faktor efisiensi individu, berdasarkan pendekatan yang dijelaskan oleh *Solar Energy International (SEI)* dan *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*. Adapun faktor kerugian sistem berdasarkan nilai rentang dan nilai tipikal yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Faktor kerugian sistem

Faktor kerugian	Nilai tipikal	Nilai rentang
Toleransi daya modul	0,95	0,88–1,05
Efisiensi konverter dan transformer	0,96	0,88–0,98
Modul <i>mismatch</i>	0,98	0,97–0,995

Dioda dan sambungan	0,995	0,99–0,997
Kabel DC	0,98	0,97–0,99
Kabel AC	0,99	0,98–0,993
<i>Soliling</i> (debu dan kotoran)	0,95	0,30–0,995
<i>Downtime</i> (pemeliharaan)	0,98	0,00–0,995
<i>Shading</i>	0,9	0,00–1,00
Total <i>Derate</i>	0,722	

Berdasarkan SEI dan NREL, total faktor *derating sistem PV* dapat dihitung menggunakan rumus:

$$\eta_{derate} = f1 \times f2 \times f3 \times \dots \times fn \quad (4.13)$$

Keterangan:

$\eta_{derate}$  = Total faktor derating sistem PV

$f1, f2, \dots, fn$  = Faktor efisiensi masing-masing komponen atau sumber kehilangan

Untuk memperoleh estimasi performa sistem fotovoltaik yang lebih realistis terhadap kondisi aktual di lapangan, dilakukan perhitungan faktor derating ( $\eta_{derate}$ ) sebagai akumulasi dari berbagai kerugian teknis yang umum terjadi dalam sistem PV, dimana dapat dihitung sebagai berikut:

$$\eta_{derate} = 0,95 \times 0,96 \times 0,98 \times 0,995 \times 0,98 \times 0,99 \times 0,95 \times 0,98 \times 0,90 = 0,722$$

#### 4.6.4 Pengaruh temperatur dan koefisien suhu modul

Sebagai bagian dari analisis performa sistem fotovoltaik, penting untuk memperhitungkan pengaruh temperatur terhadap daya keluaran modul. Peningkatan suhu sel di atas kondisi standar pengujian *Standard Test Condition* (STC) yang ditetapkan pada 25 °C akan menyebabkan penurunan efisiensi konversi energi, sesuai dengan koefisien suhu daya ( $\delta P$ ) yang merupakan penurunan daya per derajat Celsius, dimana koefisien suhu tipikal:

$$\delta P = 0,004 \text{ (0,4\% per } ^\circ\text{C)}$$

Modul umumnya memiliki temperatur operasi nominal *Nominal Operating Cell Temperature* (NOCT) sekitar 45 °C pada kondisi lapangan. Dengan memperhitungkan suhu rata-rata udara di Jakarta sebesar 27 °C dan intensitas radiasi puncak permukaan modul ( $G_{POA}$ ) sebesar 800 W/m<sup>2</sup>, maka suhu sel ( $T_{cell}$ ) diperkirakan mencapai ±52 °C.

$$T_{cell} = T_{amb} + \frac{NOCT - 20^{\circ}C}{800 \text{ W/m}^2} \times G_{POA} \quad (4.14)$$

Keterangan:

$T_{cell}$  = Temperatur sel fotovoltaik (°C)

$T_{amb}$  = Temperatur lingkungan (°C)

NOCT = *Nominal Operating Cell Temperature* (biasanya sekitar 45°C–48°C, tergantung modul)

$G_{POA}$  = Radiasi matahari pada bidang modul (*Irradiance on Plane of Array*, W/m<sup>2</sup>)

20°C = Temperatur referensi standar

800 W/m<sup>2</sup> = Intensitas iradiasi standar untuk pengujian NOCT

Pengaruh suhu ini kemudian digunakan untuk menghitung daya aktual keluaran modul dengan persamaan:

$$P = P_{STC} \times [1 - \delta P (T_{cell} - 25^{\circ}C)] \quad (4.15)$$

Dengan memasukkan nilai  $T_{cell} = 52^{\circ}C$  ke dalam persamaan, didapatkan bahwa daya aktual modul mengalami penurunan menjadi:

$$P = P_{STC} \times [1 - 0,004 (52 - 25^{\circ}C)] = 0,892 P_{STC}$$

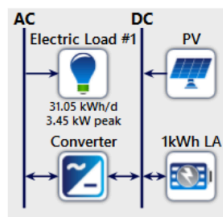
Artinya, modul hanya menghasilkan sekitar 89,2% dari kapasitas nominalnya pada suhu sel 52 °C. Perhitungan ini sangat penting dalam simulasi teknis, karena mencerminkan performa nyata sistem PV di lingkungan tropis seperti Jakarta Timur.

#### 4.7 Perancangan Model Simulasi Panel Surya Menggunakan HOMER Pro

Pembuatan rancangan PV di UP PKB Pulo Gadung, memerlukan beberapa komponen pendukung yang terintegrasi secara sistemik untuk memastikan kinerja

optimal dan kontinuitas suplai daya listrik. Komponen utama yang diperlukan untuk membangun sistem *off-grid* mencakup modul PV sebagai sumber energi utama, konverter daya (*konverter*) untuk mengubah arus searah (DC) menjadi arus bolak-balik (AC) yang sesuai dengan karakteristik beban, serta sistem penyimpanan energi berupa baterai yang berfungsi menampung kelebihan energi dan menyuplai daya saat produksi PV tidak mencukupi.

Dalam simulasi sistem energi hibrida menggunakan perangkat lunak HOMER Pro, pemilihan komponen seperti panel surya, konverter, dan baterai dilakukan dengan menggunakan tipe "*generic*". Pendekatan ini bertujuan untuk memperoleh terlebih dahulu hasil simulasi secara umum terkait kelayakan teknis dan kecukupan pasokan energi terhadap kebutuhan operasional Lajur IV UP PKB Pulogadung. Dengan menggunakan parameter "*generic*", model simulasi dapat memberikan gambaran awal mengenai performa sistem tanpa terikat pada merek atau spesifikasi tertentu. Pendekatan ini bersifat deliberatif dan dirancang agar hasil simulasi bersifat fleksibel serta dapat disesuaikan lebih lanjut dengan kondisi aktual di lapangan. Pemilihan spesifikasi akhir dari masing-masing komponen, baik dari sisi teknis maupun ekonomis, diserahkan kepada pihak UP PKB Pulogadung selaku pemangku kepentingan. Oleh karena itu, hasil simulasi ini lebih menekankan pada *feasibility analysis* secara sistemik daripada rekomendasi spesifik komponen. Adapun pemodelan sistem PV di UP PKB Pulo Gadung dapat dilihat pada Gambar 20.

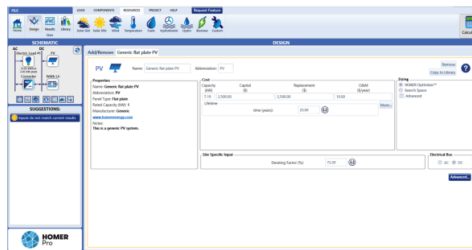


Gambar 20. Pemodelan sistem PV

#### 4.7.1 Pengaturan sistem PV

Proses konfigurasi komponen modul PV dalam perangkat lunak HOMER Pro diawali dengan membuka tab COMPONENTS, kemudian memilih opsi *Photovoltaics* dan menambahkan entri baru. Sistem secara otomatis menghasilkan elemen "Photovoltaic #1" dengan tipe Generic *flat plate* PV pada skema sistem. Di panel DESIGN, dilakukan penyesuaian parameter teknis, termasuk penamaan, singkatan (*abbreviation*), serta kapasitas terpasang sebesar 7,19 kW yang merepresentasikan total daya nominal sistem PV. Jenis panel yang digunakan adalah tipe *flat plate*, dengan produsen diset ke Generic sesuai dengan standar basis data HOMER. Biaya investasi ditetapkan berdasarkan kapasitas per kilowatt, yakni \$2.500/kW untuk biaya awal (*capital*) dan penggantian (*replacement*), serta biaya operasi dan pemeliharaan tahunan (O&M) sebesar \$10/kW/tahun. Umur teknis panel ditentukan selama 25 tahun, sesuai dengan standar industri PV.

Untuk menyesuaikan kondisi operasional aktual di lapangan, faktor derating sebesar 72,2% dimasukkan pada bagian *Site Specific Input*, yang merepresentasikan akumulasi kerugian sistem akibat efisiensi konverter, suhu modul, *mismatch*, kabel, *shading*, dan *soiling*. Jalur kelistrikan diset pada bus DC, karena output PV secara *default* menghasilkan arus searah. Setelah seluruh parameter disesuaikan, sistem akan menampilkan ikon panel surya pada skema dengan label "7.19 kW\_dc" dan derate 72.2%, sebagai bagian dari arsitektur kelistrikan *off-grid* yang akan dianalisis lebih lanjut dalam simulasi teknis dan ekonomis. Adapun hasil pengaturan PV dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21. Pengaturan PV pada aplikasi HOMER

Untuk mengetahui jumlah panel surya yang dibutuhkan, dapat menggunakan rumus:

$$N = \frac{P_{total}}{P_{panel}} \quad (4.16)$$

(Sumber: Dare et al., 2023)

Keterangan:

N = Jumlah panel surya

P<sub>total</sub> = Total kapasitas PV yang dibutuhkan (kWp)

P<sub>panel</sub> = Kapasitas satu panel surya (kWp)

#### 4.7.2 Pengaturan sistem konverter

Konfigurasi sistem konverter daya (konverter) dalam perangkat lunak HOMER Pro dilakukan dengan menambahkan komponen "*System Converter*" melalui tab COMPONENTS. Parameter teknis yang disesuaikan meliputi kapasitas daya sebesar 5 kW, kapasitas relatif fungsi konverter disesuaikan sebesar 100%, dengan efisiensi sebesar 95%, masa pakai 15 tahun, serta biaya investasi dan penggantian masing-masing \$300, tanpa biaya O&M tahunan. Jalur kelistrikan diatur dalam mode DC/AC, untuk mendukung integrasi antara sumber DC (panel surya dan baterai) dengan beban AC. Hasil konfigurasi ini akan ditampilkan dalam skema sistem sebagai ikon konverter berlabel "5 kW\_AC, eff 95%", dengan alur energi dari PV → *System Converter* → Electric Bus (AC). Label teknis menunjukkan *output* PV sebesar 7,19 kW\_DC (derating 72,2%), mencerminkan sistem *off-grid* yang telah dioptimalkan melalui simulasi teknis. Adapun pengaturan konverter dapat dilihat pada Gambar 22.





#### 4.8 Timeline Kegiatan

Adapun *timeline* kegiatan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 *Timeline* kegiatan

No	Kegiatan	Bulan						
		Februari	Maret	April	Mei	Juni	Juli	
1	Studi Pustaka	■						
2	Penentuan judul	■	■					
3	Observasi	■	■					
4	Perhitungan awal		■					
5	Penyusunan proposal		■	■				
6	Seminar proposal			■	■			
7	Analisis perhitungan dan simulasi			■	■	■		
8	Perancangan desain				■	■		
9	Analisis data dan pembahasan				■	■	■	
10	Penyusunan hasil				■	■	■	
11	Sidang KKW/Tugas Akhir						■	■

## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Estimasi Distribusi Jumlah Kendaraan Harian Berdasarkan Kategori

##### Berat

Dalam penelitian ini, estimasi distribusi jumlah kendaraan berdasarkan kategori berat dilakukan guna memperoleh gambaran komposisi kendaraan yang melintas setiap hari pada lokasi pengamatan. Data rata-rata harian kendaraan yang diperoleh selama tahun 2024 sebanyak 286 unit kendaraan melintas per hari. Untuk mengetahui sebaran jumlah kendaraan menurut kategori beratnya, dilakukan pendekatan estimasi distribusi berdasarkan proporsi data sampel yang diperoleh pada tahun 2025 sebanyak 1092 unit kendaraan selama lima hari pengamatan. Data tersebut selanjutnya diklasifikasikan ke dalam dua kelompok utama berdasarkan JBB, yaitu  $JBB < 8$  ton dan  $JBB > 8$  ton. Setiap kelompok diklasifikasikan lebih lanjut ke dalam tiga kelas berat berdasarkan nilai representatif yang mencerminkan kondisi aktual di lapangan, adapun kategori berat berdasarkan kelompok data serta jumlah kendaraan berdasarkan JBB dapat dilihat pada Tabel 5. 1.

Tabel 5. 1 Jumlah kendaraan berdasarkan kelompok JBB

Kategori	Berat kosong	Jumlah
JBB < 8 ton	350 kg	2
	1.255 kg	427
	7.437 kg	428
JBB > 8ton	3.170 kg	1
	9.695 kg	117
	18.800 kg	117

Hasil estimasi distribusi jumlah kendaraan per hari berdasarkan perhitungan tersebut disajikan dalam Tabel 5. 2.

Tabel 5. 2 Estimasi distribusi jumlah kendaraan harian

Kategori	Berat kosong	Jumlah	Total sampel	Estimasi kendaraan harian
JBB < 8 ton	350 kg	2	1.092	0,52
	1.255 kg	427		111,83
	7.437 kg	428		112,1
JBB > 8ton	3.170 kg	1		0,26
	9.695 kg	117		30,64
	18.800 kg	117		30,64
Total				286

Sebagaimana terlihat pada Tabel 5. 2, hasil estimasi menunjukkan total sebesar 285,99 unit kendaraan yang dibulatkan menjadi 286 unit kendaraan per hari. Hal ini disebabkan oleh proses pembulatan nilai hasil estimasi dari bilangan desimal ke bilangan bulat pada masing-masing kategori berat kendaraan. Dalam praktik statistika, perbedaan tersebut dapat terjadi apabila hasil perhitungan proporsi dikalikan dengan  $N$  menghasilkan nilai desimal, dan kemudian dibulatkan secara individual per kategori. Teknik ini dikenal sebagai metode pembulatan sederhana, yang berpotensi menimbulkan selisih kecil pada jumlah akhir. Dalam konteks tertentu, metode pembulatan seperti *Largest Remainder Method* atau metode distribusi proporsional terkendali sering digunakan untuk menjaga konsistensi jumlah total pasca-pembulata. Meskipun terjadi selisih satu unit, hasil estimasi ini secara umum telah merepresentasikan distribusi sebaran kendaraan per kategori berat dengan cukup baik dan dapat dijadikan dasar untuk analisis lanjutan, seperti perencanaan beban infrastruktur atau estimasi potensi energi yang dihasilkan dari sistem konversi energi kinetik kendaraan.

## 5.2 Hasil Perhitungan Simulasi Konversi Energi RSV-P dan Potensi Panel Surya

### Surya

#### 5.2.1 Data hasil total energi dengan variasi berat dan kecepatan kendaraan

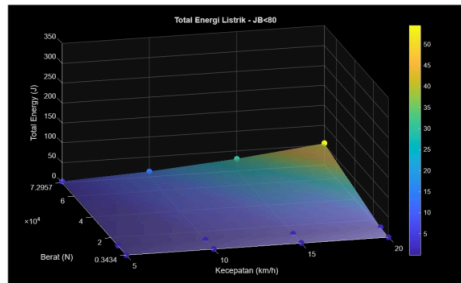
Penelitian ini dilakukan dengan mengelompokkan variasi parameter gaya tekan berdasarkan berat kendaraan ke dalam dua kategori, yaitu kelompok dengan  $JBB < 8$  ton dan kelompok dengan  $JBB > 8$  ton yang berat kosongnya dikonversi ke dalam satuan N. Untuk kategori  $JBB < 8$  ton, nilai gaya yang digunakan adalah sebesar 3.433,5 N, 12.311,55 N, dan 72.956,97 N. Sementara itu, untuk kategori  $JBB > 8$  ton digunakan nilai gaya sebesar 31.097,7 N, 95.107,95 N, dan 184.428 N. Selain itu, dilakukan pula variasi kecepatan kendaraan dengan menggunakan rata-rata dari empat nilai kecepatan linier, yaitu 5 km/jam, 10 km/jam, 15 km/jam, dan 20 km/jam, guna mengamati pengaruhnya terhadap total energi listrik yang dihasilkan oleh sistem RSV-P. Data hasil simulasi yang diperoleh mencerminkan respon sistem terhadap kombinasi variasi berat dan kecepatan kendaraan untuk  $JBB < 8$  ton dapat dilihat pada Tabel 5. 3.

Tabel 5. 3 Hasil simulasi kombinasi variasi berat dan kecepatan untuk  $JBB < 8$  ton

Total Energi (J)		Kecepatan (km/h)				JBB < 8 ton
		5	10	15	20	
Berat (N)	3.433,5	0,0075162	0,0300438	0,067819	0,120411	
	12.311,55	0,0968321	0,3858571	0,869557	1,549518	
	72.956,97	3,3968768	13,5537723	30,5751153	54,4168386	

Tabel 5. 3, menunjukkan adanya interaksi antara beban kendaraan dan sistem RSV-P pada masing-masing kombinasi kecepatan. Kendaraan dengan berat 72.956,97 N menghasilkan energi sebesar 3,39 Joule pada kecepatan 5 km/jam, dan meningkat drastis menjadi 54,41 Joule pada kecepatan 20 km/jam. Dengan kecepatan tetap, peningkatan berat kendaraan juga menunjukkan peningkatan signifikan terhadap total energi yang dihasilkan. Pada kecepatan 10 km/jam, kendaraan dengan berat 3.433,5 N hanya menghasilkan energi 0,03 Joule, sedangkan kendaraan dengan berat 72.956,97 N mampu menghasilkan hingga 13,55 Joule. Kombinasi berat dan kecepatan memiliki pengaruh sinergis terhadap

energi keluaran. Semakin besar gaya tekan (berat kendaraan) dan semakin cepat laju kendaraan, maka energi vibrasi yang ditransfer ke sistem mekanik RSV-P semakin besar, sehingga daya yang dikonversi menjadi listrik juga meningkat secara signifikan. Berdasarkan data pada tabel serta hasil perhitungan energi total yang dihasilkan oleh sistem RSV-P, visualisasi lebih lanjut disajikan dalam bentuk grafik untuk menggambarkan hubungan antara variasi berat kendaraan (sumbu y) dan kecepatan (sumbu x) terhadap total energi listrik yang dihasilkan (sumbu z) yang dapat dilihat pada Gambar 24.



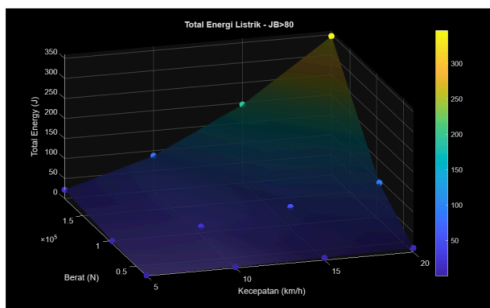
**Gambar 24.** Grafik hubungan variasi berat, kecepatan, dan total energi untuk JBB < 8 ton

Adapun data hasil simulasi terhadap kombinasi variasi berat dan kecepatan kendaraan untuk JBB > 8 ton dapat dilihat pada Tabel 5.4.

**Tabel 5.4** Hasil simulasi kombinasi variasi berat dan kecepatan untuk JBB > 8 ton

Total Energi (J)		Kecepatan (km/h)				JBB > 8 ton
		5	10	15	20	
Berat (N)	3.1097,7	0,6158033	2,4709996	5,5457408	9,8471639	
	95.107,95	5,7628257	23,068037	52,0224924	92,3500188	
	184.428	21,6808472	86,824215	194,868012	346,464475	

Berdasarkan Tabel 5. 4, hasil perhitungan simulasi menunjukkan bahwa terdapat kecenderungan peningkatan energi yang dihasilkan seiring dengan bertambahnya kecepatan dan gaya tekan kendaraan. Misalnya, pada kecepatan 5 km/jam, kendaraan dengan gaya tekan 31.097,7 N menghasilkan energi sebesar 0,61 Joule, sedangkan pada kecepatan yang sama kendaraan dengan gaya tekan 184.428 N mampu menghasilkan energi sebesar 21,68 Joule. Hal yang sama terjadi pada kecepatan 20 km/jam, di mana energi yang dihasilkan mencapai 9,84 Joule untuk kendaraan 31.097,7 N dan meningkat signifikan hingga 346,46 Joule untuk kendaraan 184.428 N. Fenomena ini mendukung hipotesis bahwa kombinasi antara massa kendaraan dan kecepatan terhadap besarnya energi keluaran sistem, di mana energi vibrasi yang ditransfer ke sistem RSV-P semakin besar sehingga energi listrik yang dikonversi juga meningkat secara eksponensial. Data ini selanjutnya divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk menggambarkan kecenderungan hubungan antar parameter secara lebih komprehensif, yang dapat dilihat pada Gambar 25.

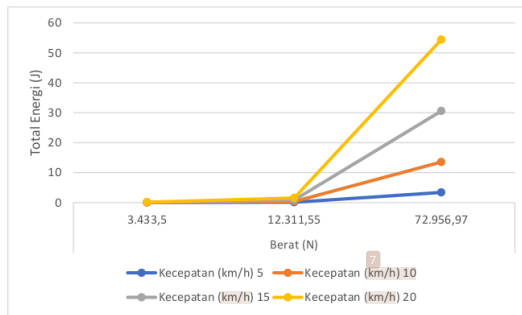


**Gambar 25.** Grafik hubungan variasi berat, kecepatan, dan total energi untuk JBB > 8 ton

### 5.2.2 Analisis hubungan berat dan kecepatan kendaraan terhadap energi listrik yang dihasilkan

Berdasarkan hasil simulasi, dapat disimpulkan bahwa kecepatan kendaraan dan besar gaya berat (beban) memberikan pengaruh secara simultan terhadap energi

total yang dapat diekstraksi oleh sistem hidrolik-generator. Interaksi antara kedua parameter ini bersifat sangat non-linier, yang berarti peningkatan salah satu variabel tidak selalu menghasilkan perubahan yang proporsional terhadap energi yang dihasilkan, melainkan dapat menimbulkan perubahan yang jauh lebih besar atau lebih kecil tergantung pada kondisi sistem. Pada kelompok kendaraan dengan JBB < 8 ton (3.433,5 N, 12.311,55 N; 72.956,97 N), peningkatan kecepatan dari 1,39 m/s hingga 5,56 m/s menghasilkan lonjakan energi yang signifikan, dari 0,0075 Joule menjadi 0,12 Joule dimana terjadi peningkatan hampir 16 kali lipat, yang dapat dilihat pada Gambar 26.

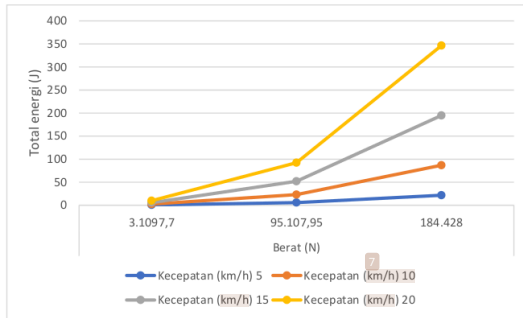


**Gambar 26.** Grafik hubungan berat dan kecepatan untuk kendaraan dengan JBB < 8 ton

Hubungan antara berat kendaraan dan kecepatan terhadap total energi yang dihasilkan pada sistem RSV-P, menunjukkan bahwa peningkatan kedua variabel tersebut memberikan kontribusi signifikan terhadap keluaran energi. Pada kendaraan dengan berat rendah 3.433,5 N menghasilkan energi yang sangat kecil bahkan pada kecepatan tinggi, sedangkan kendaraan berat tinggi (72.956,97 N) menunjukkan lonjakan energi yang drastis, khususnya pada kecepatan 20 km/h yang mencapai lebih dari 54,41 Joule. Hal ini disebabkan oleh pengaruh kecepatan terhadap parameter efektivitas luas piston ( $A_{piston\_eff}$ ), di mana kecepatan yang

lebih tinggi meningkatkan laju osilasi sistem, menghasilkan tekanan fluktuatif yang lebih besar, serta memperbesar amplitudo dan frekuensi vibrasi.

Ketika beban kendaraan ditingkatkan pada kategori JBB > 8 ton (31.097 N, 95.107,95 N, 184.428 N), energi total yang diekstraksi juga meningkat secara drastis. Pada kecepatan tetap 4,17 m/s, dengan berat 3.1097,7 N, 95.107,95 N, dan 184.428 N, energi yang dihasilkan bertambah dari beban ringan ke beban berat berturut-turut yaitu sebesar 5,5 Joule, 52,02 Joule, dan 194,86 Joule, grafik hubungan berat dan kecepatan untuk kategori kendaraan dengan JBB > 8 ton dapat dilihat pada Gambar 27.



Gambar 27. Grafik hubungan berat dan kecepatan untuk kendaraan dengan JBB > 8 ton

Hubungan antara beban kendaraan dan energi yang dihasilkan oleh sistem RSV-P dapat dijelaskan melalui keterkaitannya dengan tekanan hidrolik, di mana tekanan ( $P$ ) merupakan hasil pembagian antara gaya berat ( $W$ ) dan luas penampang fluida ( $A$ ), yaitu  $P = \frac{W}{A}$ . Tekanan ini kemudian menentukan besarnya gaya yang bekerja pada piston ( $F = P.A_{piston\_eff}$ ). Ketika beban kendaraan meningkat, tekanan awal yang dihasilkan sistem hidrolik juga menjadi lebih besar, meskipun karakteristik osilasi sistem (frekuensi dan redaman) relatif tetap. Akibatnya, amplitudo daya instan yang dihasilkan meningkat secara signifikan, sehingga total energi yang terakumulasi selama periode simulasi menjadi jauh lebih besar.

Secara konseptual, energi yang dapat diambil dari sistem ini sangat dipengaruhi oleh perkalian antara besar beban dan dari kecepatan kendaraan. Beban yang besar berkontribusi terhadap peningkatan tekanan dalam sistem hidrolik, sedangkan kecepatan yang tinggi mempercepat laju perubahan energi dalam sistem mekanik. Kombinasi keduanya tidak hanya memperbesar respons dinamis, tetapi juga menyebabkan peningkatan energi total secara eksponensial. Oleh karena itu, secara praktis, untuk mengoptimalkan pengambilan energi dari kendaraan yang melintasi *speed bump*, diperlukan perhitungan yang matang terhadap kedua parameter utama yaitu berat dan kecepatan kendaraan. Semakin berat kendaraan dan semakin tinggi kecepatannya, semakin besar **potensi energi yang dapat dikonversi menjadi energi listrik**, selama sistem hidrolik dan generator dirancang dengan kapasitas yang memadai untuk menahan tekanan serta respons osilasi tinggi yang dihasilkan.

5.2.3 Estimasi total daya listrik harian RSV-P berdasarkan hasil simulasi dan distribusi kendaraan

Estimasi daya listrik harian yang dapat dihasilkan oleh sistem RSV-P diperoleh melalui penggabungan antara hasil simulasi konversi energi kendaraan dan distribusi jumlah kendaraan harian pada masing-masing kategori berat. Informasi mengenai rata-rata jumlah kendaraan harian yang melintasi UP PKB Pulogadung telah diklasifikasikan ke dalam beberapa kategori berat kosong kendaraan. Estimasi jumlah kendaraan untuk setiap kategori tersebut disajikan pada Tabel 5. 2. Data ini merupakan dasar yang esensial dalam proses analisis teknis, khususnya untuk mengestimasi potensi energi listrik yang dapat dihasilkan setiap harinya. Dengan mengetahui distribusi jumlah kendaraan menurut kelas beratnya, maka dilakukan perhitungan besarnya gaya tekan dan energi kinetik yang bekerja pada sistem konversi energi menggunakan RSV-P. Oleh karena itu, informasi ini menjadi komponen penting dalam merancang sistem pembangkit energi yang efisien dan sesuai dengan karakteristik lalu lintas aktual di UP PKB Pulo Gadung.

Kelompok kendaraan dengan JBB < 8 ton mendominasi populasi dengan total 857 unit (78,48% dari total sampel), yang terdiri dari kendaraan dengan berat kosong 350 kg, 1.255 kg, dan 7.437 kg. Sementara itu, kelompok JBB > 8 ton terdiri

dari kendaraan dengan berat kosong 3.170 kg, 9.695 kg, dan 18.800 kg, berjumlah total 235 unit (21,52% dari total sampel). Proyeksi jumlah kendaraan harian dilakukan dengan menggunakan pendekatan rasio dari total sampel terhadap total estimasi kendaraan harian aktual, yaitu 286 unit per hari.

Tabel 5. 2. tersebut menunjukkan estimasi distribusi jumlah kendaraan harian berdasarkan kategori berat kendaraan (JBB) yang dibagi menjadi dua kelompok, yakni  $JBB < 8$  ton dan  $JBB > 8$  ton, dengan total sampel sebanyak 1.092 unit kendaraan. Pada kelompok  $JBB < 8$  ton, terdapat tiga kategori berat kosong kendaraan masing-masing sebesar 350 kg, 1.255 kg, dan 7.437 kg dengan estimasi jumlah kendaraan harian berturut-turut sebesar 1, 112, dan 112 unit. Sementara itu, pada kelompok  $JBB > 8$  ton, terdapat tiga kategori berat kosong yaitu 3.170 kg, 9.695 kg, dan 18.800 kg dengan estimasi jumlah kendaraan harian berturut-turut sebesar 0, 31, dan 31 unit. Dengan demikian, total estimasi kendaraan harian yang melintasi sistem adalah sebanyak 286 unit kendaraan, yang terdiri dari 224 unit kendaraan ringan ( $JBB < 8$  ton) dan 62 unit kendaraan berat ( $JBB > 8$  ton). Data ini memberikan dasar penting untuk memperkirakan beban dinamis serta potensi energi kinetik yang dapat dimanfaatkan dalam sistem konversi energi RSV-P.

Dapat dilihat pada Tabel 5. 2. distribusi estimasi jumlah kendaraan harian berdasarkan kategori berat kosong, diketahui bahwa setiap kategori memiliki jumlah kendaraan yang melintas, dengan total keseluruhan adalah 286 unit sesuai dengan jumlah kendaraan aktual harian yang melaksanakan uji di UP PKB Pulo Gadung. Selanjutnya, dilakukan analisis terhadap potensi energi listrik yang dihasilkan oleh masing-masing kategori berat kendaraan, dengan menggunakan asumsi rata-rata kecepatan melintas konstan sebesar 12,5 km/jam, yang dapat dilihat pada Tabel 5. 5. Kecepatan ini diasumsikan sebagai representasi kondisi aktual kendaraan saat melewati *speed bump* di jalur pengujian. Berdasarkan parameter tersebut, energi listrik yang dihasilkan dihitung untuk setiap kategori berat kosong, di mana besarnya energi bergantung pada gaya tekan akibat berat kendaraan yang berinteraksi dengan sistem konversi energi. Hasil perhitungan ini menjadi dasar untuk mengestimasi total energi listrik harian yang dapat dihasilkan

oleh sistem RSV-P, dengan mempertimbangkan kontribusi dari seluruh kendaraan yang melintas.

**Tabel 5. 5** Energi listrik yang dihasilkan per kategori berat kendaraan

Total Energi (J)		Kec (km/h)		
		12.5		
Berat (N)	3.433,5	0,0470191	JBB < 8 ton	
	12.311,55	0,6032117		
	72.956,97	21,203296		
Total Energi (J)		Kec (km/h)		
		12.5		
Berat (N)	31.097,7	3,8564728	JBB > 8 ton	
	95.107,95	36,109422		
	184.428	135,46603		

Berdasarkan data simulasi pada kecepatan konstan 12,5 km/jam, bahwa total energi yang dihasilkan oleh sistem RSV-P meningkat seiring dengan bertambahnya berat kendaraan. Kendaraan dengan berat 3.433,5 N menghasilkan energi sebesar 0,047 Joule, sedangkan kendaraan terberat sebesar 184.428 N menghasilkan hingga 135,466 Joule. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar gaya tekan vertikal akibat berat kendaraan, maka semakin besar pula energi mekanik yang dapat dikonversi menjadi energi listrik oleh sistem RSV-P. Dengan demikian, kendaraan berat memiliki kontribusi energi yang jauh lebih signifikan dibandingkan kendaraan ringan, menjadikan lalu lintas kendaraan berat sebagai potensi utama dalam optimalisasi pemanenan energi dari *speed bump*. Sehingga didapatkan nilai total energi yang dihasilkan perhari, dapat dilihat pada Tabel 5. 6.

Tabel 5. 6 Total energi listrik yang dihasilkan per hari

Total Energi (J)		Kecepatan (km/h)	n	J	Wh
		12.5			
Berat (N)	3.433,5	0,0470191	0,52	0,024449932	0,00000679
	12.311,5		111,8		0,01873810
	5	0,6032117	3	67,45716441	1
	72.956,9		112,1	2.376,88948	0,66024707
	7	21,203296		2	8
	31.097,7	3,8564728	0,26	1,002682928	0,00027852
	95.107,9		30,64	1.106,39269	0,30733130
5	36,109422		0	3	
184.428	135,46603	30,64	4.150,67915	1,15296643	
Total energi per hari				7.702,44562	2,13956822
				8	9

Tabel 5. 6, merupakan lanjutan dari analisis sebelumnya, dengan pendekatan kuantitatif yang mempertimbangkan frekuensi kendaraan harian untuk setiap kategori berat guna memperoleh estimasi total energi yang dapat dihasilkan oleh sistem RSV-P dalam satu hari operasional. Energi total per jenis kendaraan dihitung dengan mengalikan hasil simulasi energi per lintasan (dalam satuan Joule) pada kecepatan 12,5 km/jam dengan jumlah kendaraan harian (n) yang sesuai. Misalnya, kendaraan dengan berat 12.311,55 N dan 72.956,97 N masing-masing menghasilkan 67,45 Joule dan 2.376,88 Joule per hari karena dilintasi oleh 112 unit kendaraan per kategori. Sementara kendaraan paling berat (184.428 N) menghasilkan energi tertinggi yaitu sebesar 4.150,68 Joule dan dengan jumlah 31 unit kendaraan per hari. Hasil ini kemudian dikonversi ke dalam satuan energi listrik (Watt-hour/Wh) dengan membagi nilai Joule terhadap faktor konversi 3.600

Joule/Wh. Dari keseluruhan kategori, diperoleh total estimasi energi harian sebesar 7.702,45 Joule atau setara dengan 2,14 Wh.

Estimasi energi total harian sebesar 7.702,45 Joule (atau setara 2,14 Wh) yang diperoleh dari analisis di atas merupakan luaran energi yang dihasilkan oleh satu unit piston RSV-P dalam satu hari operasional penuh berdasarkan lalu lintas aktual kendaraan yang melaksanakan pengujian di UP PKB Pulo Gadung. Setiap lintasan kendaraan pada *speed bump* menyebabkan deformasi vertikal pada pelat tekan yang diteruskan ke piston, sehingga menghasilkan gaya linier yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik melalui generator. Besarnya energi listrik yang dihasilkan oleh sistem RSV-P dipengaruhi oleh berbagai parameter teknis dan operasional, di antaranya berat dan kecepatan kendaraan, luas permukaan sistem hidrolik, serta dinamika mekanik piston (massa-pegas- peredam). Selain itu, rasio konversi antara gerak linier dan rotasi, efisiensi sistem generator, serta karakteristik beban listrik turut menentukan kualitas dan kuantitas daya listrik yang dihasilkan. Intensitas lalu lintas dan durasi operasional harian juga menjadi faktor penting, karena keduanya berkontribusi langsung terhadap frekuensi aktivasi sistem. Dengan demikian, total energi listrik yang dihasilkan oleh RSV-P tidak hanya bergantung pada desain satuan piston, tetapi juga pada konfigurasi sistem secara keseluruhan, termasuk jumlah piston yang dipasang secara paralel di lintasan kendaraan.

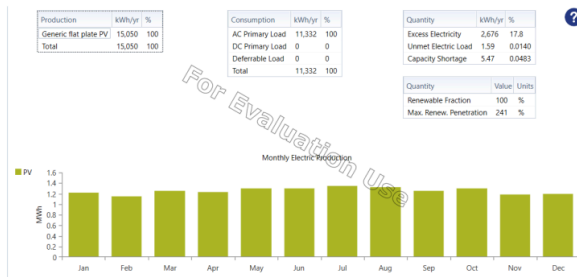
Berdasarkan hasil analisis dan simulasi, dapat disimpulkan bahwa sistem RSV-P memiliki potensi nyata sebagai sumber energi terbarukan skala kecil yang memanfaatkan interaksi mekanis antara kendaraan dan *speed bump*. Energi listrik yang dihasilkan dari satu unit piston memang relatif kecil, namun dapat ditingkatkan secara signifikan melalui penambahan jumlah piston yang dipasang secara paralel pada lintasan kendaraan. Peningkatan ini bersifat linier terhadap jumlah piston aktif, sehingga memungkinkan sistem untuk disesuaikan dengan kebutuhan energi spesifik di lokasi penerapan. Temuan ini menjadi dasar penting dalam menilai kelayakan teknis RSV-P sebagai solusi energi alternatif, sekaligus membuka peluang integrasi lebih lanjut dengan sistem penyimpanan energi dan

pembangkit lain seperti panel surya guna menciptakan sistem hybrid yang lebih andal, efisien, dan berkelanjutan.

#### 5.2.4 Estimasi daya listrik panel surya hasil simulasi

Berdasarkan hasil simulasi terbaru menggunakan perangkat lunak HOMER Pro, sistem yang dipilih sebagai solusi paling ekonomis untuk memenuhi kebutuhan beban listrik sebesar 27,6 kWh per hari selama periode operasional 8 jam adalah sistem hibrida yang terdiri atas: panel surya (*photovoltaic*) sebesar 9,70 kW<sub>p</sub>, baterai timbal-asam (*lead-acid*) berkapasitas nominal 1 kWh sebanyak 92 unit, serta konverter sebesar 5,17 kW<sub>a</sub>C. Kapasitas sistem PV sebesar 9,70 kW<sub>p</sub>, ini lebih besar sekitar 35% dibandingkan estimasi awal yang berada pada kisaran 7,2 kW. *Oversizing* ini diperlukan untuk mengantisipasi fluktuasi radiasi matahari secara musiman, mempertimbangkan faktor derating sistem sebesar 72,2%, serta memastikan tersedianya energi surplus yang memadai untuk proses pengisian baterai secara optimal.

Sementara itu, jumlah baterai yang dipilih sebanyak 92 unit dengan kapasitas masing-masing 1 kWh yang dapat menghasilkan total kapasitas penyimpanan energi sebesar 92 kWh (nilai *gross*). Dengan asumsi DoD sebesar 80%, energi yang benar-benar dapat digunakan (*usable capacity*) dari baterai mencapai 73,6 kWh. Nilai ini hampir tiga kali lipat dari kebutuhan beban harian, sehingga memberikan jaminan operasional yang sangat tinggi terhadap potensi penurunan produksi PV akibat cuaca mendung atau lonjakan beban mendadak (*load spike*). Konverter AC yang dipilih memiliki kapasitas sebesar 5,17 kW<sub>a</sub>C, yang memberikan margin cadangan sekitar 50% dari beban puncak (*peak load*) sebesar 3,45 kW. Hal ini tidak hanya mempertimbangkan faktor efisiensi inverter yang diasumsikan berada pada kisaran 95%, tetapi juga memberikan fleksibilitas terhadap variasi *peak factor* dan potensi pertumbuhan beban di masa mendatang. Dengan demikian, pemilihan konfigurasi ini tidak hanya optimal secara ekonomi dalam skenario jangka panjang, tetapi juga secara teknis memenuhi prinsip keandalan (*reliability*), redundansi energi, dan daya tahan terhadap kondisi operasional yang berubah-ubah. Adapun hasil simulasi panel surya dapat dilihat pada Gambar 28.



Gambar 28. Hasil simulasi panel surya menggunakan HOMER Pro

Gambar 28, merupakan hasil simulasi pada aplikasi HOMER Pro, berdasarkan rata-rata iradiasi sebesar  $4,76 \text{ kWh/m}^2\text{-hari}$  dan rata-rata temperatur sebesar  $25,93^\circ\text{C}$  dengan sudut kemiringan optimal  $7^\circ$  menghadap utara, panel surya dapat menghasilkan energi listrik sebesar  $15.050 \text{ kWh}$  per tahun atau sebesar  $41,2 \text{ kWh}$  per harinya, dimana diperoleh bahwa kapasitas sistem PV yang dibutuhkan untuk memenuhi kebutuhan energi harian sebesar  $41,2 \text{ kWh}$  adalah sebesar  $9,70 \text{ kWp}$  menggunakan modul "Generic Flat Plate PV". Meskipun HOMER tidak menyertakan dimensi fisik panel secara eksplisit, untuk keperluan desain sistem digunakan asumsi panel monokristalin  $450 \text{ Wp}$ , sehingga total area instalasi dapat dihitung secara terpisah berdasarkan jumlah unit panel yang dibutuhkan, dimana:

$$N = \frac{9,70}{0,45} = 21,56 \text{ unit}$$

Dengan demikian, untuk menghasilkan daya sebesar  $9,70 \text{ kWp}$ , sistem membutuhkan 22 panel surya berkapasitas  $450 \text{ Wp}$ . Pemilihan jenis panel dan konfigurasi pemasangan perlu disesuaikan dengan kondisi lokasi, orientasi matahari, dan efisiensi sistem untuk memastikan produksi energi optimal sepanjang tahun.

### 5.3 Desain Sistem RSV-P dan Panel Surya

Desain sistem pembangkit energi yang dikembangkan dalam penelitian ini terdiri atas dua komponen utama, RSV-P dan panel surya. Keduanya dirancang

sebagai sistem energi terbarukan yang difokuskan untuk menyuplai kebutuhan listrik Lajur IV UP PKB Pulogadung, yang memiliki konsumsi harian sebesar 27,6 kWh/hari.

#### 5.3.1 Desain RSV-P

Gambar 29, memperlihatkan kondisi aktual jalur *drive thru in* di UP PKB Pulo Gadung, yang menjadi lokasi untuk penerapan sistem RSV-P.



**Gambar 29.** Jalur loket *drive thru in*

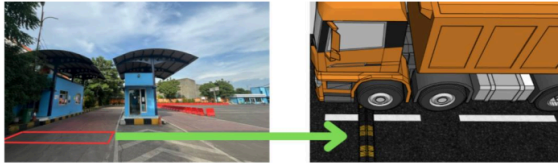
Gambar 30, menunjukkan representasi integratif antara lokasi aktual dan rancangan penerapan sistem RSV-P pada jalur loket *drive thru in* di UP PKB Pulo Gadung yang memiliki lebar lintasan yaitu sebesar 5 m.



**Gambar 30.** Lokasi penerapan sistem RSV-P

Gambar 31, memperlihatkan integrasi antara kondisi aktual lokasi dan visualisasi desain 3D sistem RSV-P. Area yang ditandai garis merah menunjukkan

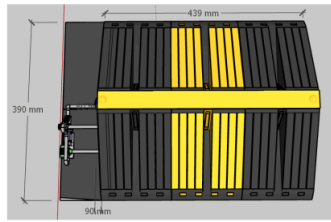
posisi *speed bump*, dimana model 3D sistem RSV-P yang dirancang sejajar dengan permukaan jalan, menunjukkan bagaimana roda depan kendaraan berat menekan pelat atas sehingga menghasilkan gaya tekan vertikal yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik melalui mekanisme hidrolik.



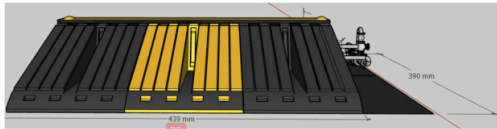
**Gambar 31.** Visualisasi desain RSV-P

Pemilihan lokasi ini didasarkan pada beberapa pertimbangan teknis dan operasional. Jalur ini merupakan area dengan frekuensi lintasan kendaraan yang tinggi, dimana semua kendaraan yang akan memasuki gedung uji akan melewati loket *drive thru in*. Sistem dirancang untuk dipasang sejajar dengan permukaan jalan, dengan dimensi total 5.000 mm × 390 mm × 90 mm, yang telah disesuaikan dengan ketentuan geometrik yang tercantum dalam Permenhub Nomor 14 Tahun 2021 terkait alat pembatas kecepatan (*speed bump*), di mana tinggi dibatasi antara 5–9 cm dan lebar antara 35–39 cm. Pada desain ini menggunakan ukuran maksimal dari ukuran tinggi yaitu 9 cm dan lebarnya 39 cm. Oleh karena itu, desain RSV-P dikaji dari empat arah utama, yaitu tampak atas yang dapat dilihat pada Gambar 30, tampak depan yang dapat dilihat pada Gambar 31, Gambar 32 tampak samping, dan tampak isometrik (atau perspektif tiga dimensi) yang dapat dilihat pada Gambar 33.

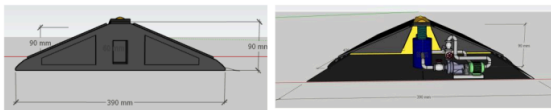
Untuk mendukung kemudahan inspeksi, pemeliharaan, dan penggantian komponen teknis, sistem piston dan generator tidak ditempatkan langsung di bawah permukaan *speed bump*, melainkan berada di sisi samping *speed bump*. Penempatan ini memudahkan akses teknis tanpa harus membongkar struktur permukaan jalan secara keseluruhan, serta memungkinkan pemisahan antara elemen struktural permukaan dan komponen mekanik-fungsional.



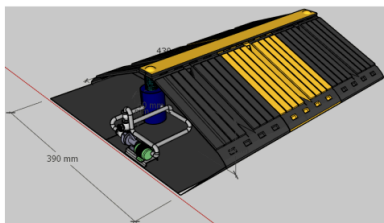
Gambar 32. Tampak atas



Gambar 33. Tampak depan

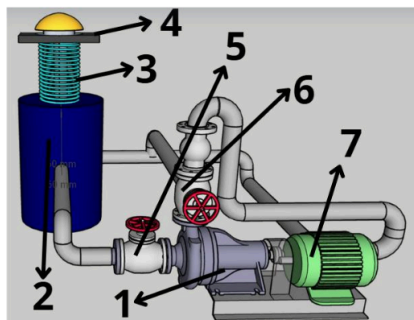


Gambar 34. Tampak samping



Gambar 35. Tampak isometrik

Secara struktural, sistem terdiri atas tujuh komponen utama, yaitu container, poros penekan (piston), pegas vertikal atau damper, pelat atas (*top plate*), *one-way valve*, *safety valve*, generator yang mengubah energi mekanis menjadi energi listrik, adapun rangkaian sistem hidrolik dapat dilihat pada Gambar 36. Ketujuh komponen ini berfungsi sebagai satu kesatuan sistem konversi energi yang dirancang untuk mengubah gaya tekan vertikal dari kendaraan menjadi energi listrik. Mekanisme kerja sistem dimulai ketika kendaraan melintasi pelat atas, menimbulkan gaya tekan vertikal yang diteruskan melalui poros penekan ke generator. Selama proses ini, pegas berfungsi sebagai penyeimbang gaya dan mengembalikan pelat ke posisi semula setelah kendaraan melintas. Berdasarkan simulasi gaya dan gerak dengan variasi beban dan kecepatan kendaraan pada Tabel 5. 6, diketahui bahwa satu unit piston RSV-P mampu menghasilkan energi sebesar 2,14 Wh untuk setiap 286 kendaraan yang melintasi sistem.



Gambar 36. Rangkaian sistem hidrolik

Adapun penjelasan mengenai tujuh komponen utama yang digunakan dalam sistem ini untuk mengonversi gaya tekan vertikal dari kendaraan menjadi energi listrik sebagai berikut:

1. *Container*

*Container* atau tabung penampung berisi fluida yang ditekan oleh poros piston saat kendaraan melintasi sistem. Tekanan fluida ini menjadi media transfer energi mekanik ke generator.

2. Poros penekan (piston)

Poros ini bergerak secara vertikal ketika pelat atas ditekan oleh beban kendaraan. Gerakan linier piston menekan fluida dalam *container*, menghasilkan tekanan hidrolik yang akan mengalir menuju generator. Piston juga didukung oleh sistem peredam (damper) atau pegas yang memungkinkan pemulihan posisi awal setelah tertekan.

3. Pegas vertikal (damper)

Damper berfungsi sebagai komponen yang meredam getaran dan mengontrol gerakan balik dari pelat atas setelah menerima gaya tekan dari kendaraan. Secara teknis, damper membantu menstabilkan sistem dengan menyerap energi kinetik berlebih, mencegah osilasi atau lonjakan gaya balik yang dapat merusak komponen mekanik lainnya.

4. Pelat atas (*top plate*)

Pelat atas merupakan bagian yang bersentuhan langsung dengan roda kendaraan. Pelat ini dirancang cukup kuat untuk menahan gaya tekan dari kendaraan hingga JBB > 8 ton, namun juga cukup fleksibel agar dapat tertekan dan mentransfer gaya tersebut ke piston secara efektif.

5. *One-way valve*

Katup ini mengarahkan aliran fluida hanya dalam satu arah menuju generator. Fungsinya adalah menjaga aliran tekanan tetap stabil dan mencegah fluida kembali ke container saat tekanan dari piston menurun.

6. *Safety valve*

Komponen ini berfungsi sebagai pengaman sistem jika terjadi tekanan berlebih dalam container atau saluran fluida. Safety valve secara otomatis membuka jalur pembuangan saat tekanan melebihi batas, sehingga mencegah kerusakan pada sistem.

## 7. Generator

Komponen ini berfungsi sebagai pengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Ketika fluida bertekanan tinggi masuk ke dalam generator, gaya tersebut dikonversi melalui mekanisme rotasi atau tekanan menjadi output listrik yang dapat disimpan atau digunakan langsung untuk beban tertentu.

### 5.3.2 Desain panel surya

Desain sistem panel surya dirancang sebagai solusi penyediaan energi terbarukan yang berkelanjutan dalam mendukung kebutuhan listrik operasional pada lokasi pengujian kendaraan. Pemanfaatan teknologi fotovoltaik dipilih karena karakteristiknya yang ramah lingkungan, efisien dalam konversi energi cahaya matahari menjadi energi listrik. Desain sistem panel surya dalam penelitian ini direncanakan untuk dipasang pada atap lajur 3, yang dapat dilihat pada Gambar 37.



Gambar 37. Lajur 3 sebagai tempat penerapan pemasangan panel surya

Pemilihan ini didasarkan pada keunggulan geometris atap lajur 3 yang berbentuk seperempat lingkaran dengan bidang datar di bagian atas, sehingga memungkinkan pemasangan panel secara stabil dan optimal. Secara umum, Lajur 1 dan lajur 2 memiliki desain atap berbentuk setengah lingkaran (semi-sirkular) yang tidak menyediakan bidang datar yang memadai untuk pemasangan modul fotovoltaik secara optimal. Sementara itu, lajur 4 memiliki ukuran atap yang relatif kecil, sehingga luas permukaan yang tersedia tidak mencukupi untuk mendukung

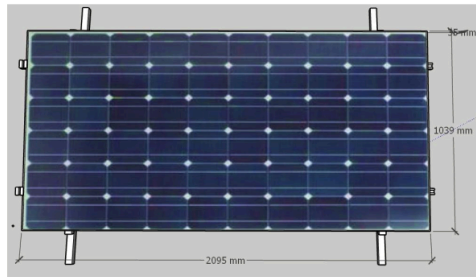
kapasitas panel surya sesuai kebutuhan beban. Dalam merancang sistem PV, dimensi fisik panel surya menjadi elemen krusial untuk menentukan kapasitas terpasang dan efisiensi pemanfaatan ruang atap, untuk memastikan konfigurasi instalasi yang optimal. Berdasarkan data operasional, luas bangunan Lajur 3 mencapai 428,4 m<sup>2</sup> dengan dimensi atap 10 m × 45 m, memberikan luas proyeksi horizontal sebesar 450 m<sup>2</sup> yang sangat potensial untuk pemanfaatan sistem PV.

Pada penelitian ini, menggunakan asumsi pemilihan panel surya yaitu dengan merk Solana Monocrystalline 450 Wp, diketahui bahwa spesifikasi per unit panel dapat dilihat pada Tabel 5. 7. Pemilihan panel ini bersifat representatif dan digunakan untuk analisis spasial serta estimasi kapasitas terpasang. Untuk keperluan simulasi kinerja energi, digunakan model *Generic Flat Plate PV* yang merupakan panel generik bawaan perangkat lunak HOMER Pro. Model ini menggambarkan performa sistem PV secara umum tanpa mengacu pada karakteristik spesifik dari merek tertentu.

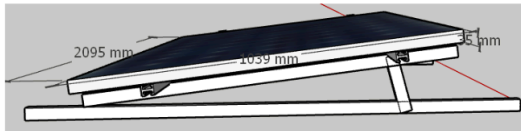
Tabel 5. 7 Spesifikasi panel surya Solana

Voltage at Pmax (Vmp)	41,4 V
Current at Pmax (Imp)	10,88 A
Open Circuit Voltage (Voc)	50,0 V
Short Circuit Current (Isc)	11,47 A
Dimensi panel surya	209,5 cm x 103,9 cm x 3,5 cm
Berat panel surya	24 kg

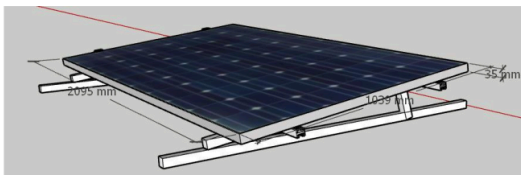
Berdasarkan hasil simulasi pada Gambar 28, panel surya dirancang untuk dipasang pada struktur dudukan dengan sudut kemiringan optimal 7° menghadap utara, sesuai kondisi lintang geografis Jakarta Timur, adapun desain perancangan panel surya secara perspektif dapat dilihat dari Gambar 38 sampai Gambar 40. Penggunaan *mounting*/rangka tidak hanya berfungsi sebagai penopang mekanis, tetapi juga merupakan elemen krusial dalam menentukan sudut insidensi sinar matahari terhadap permukaan modul. Sistem PV terdiri dari 22 unit panel surya masing-masing berdaya 450 Wp, sehingga total kapasitas PV mencapai 9,70 kWp.



Gambar 38. PV tampak atas



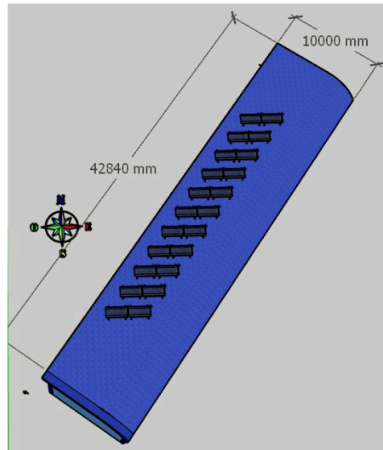
Gambar 39. PV tampak samping



Gambar 40. PV tampak isometrik

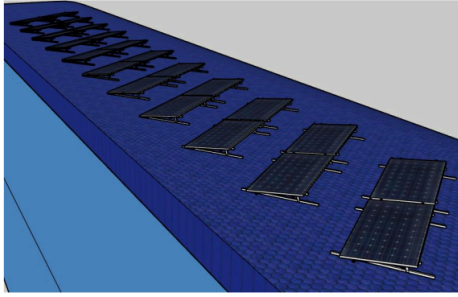
Tata letak panel pada atap dirancang mengikuti kontur permukaan bidang datar atap, dengan susunan diagonal berpasangan dalam formasi baris sejajar, adapun *layout* dimensi PV pada gedung lajur 3 dapat dilihat pada Gambar 41. Penataan ini memperhatikan efisiensi ruang, kemudahan pemeliharaan, serta mitigasi bayangan antar panel. Hasil simulasi dari perangkat HOMER Pro menunjukkan bahwa sistem ini mampu menghasilkan output energi tahunan

sebesar 15.050 kWh, atau rata-rata 41,2 kWh per hari. Nilai ini melebihi kebutuhan konsumsi listrik harian Lajur 4 yang tercatat sebesar 27,6 kWh per hari, sehingga sistem PV dinilai memadai untuk mendukung operasional secara mandiri dari sumber energi terbarukan.



**Gambar 41.** *Layout* dimensi PV di atas gedung lajur 3

Rancangan tata letak sistem PV pada atap lajur 3 disusun dengan mempertimbangkan aspek spasial, orientasi matahari, serta efisiensi pemanfaatan permukaan atap datar. Setiap modul disusun secara diagonal dalam formasi baris sejajar, dengan konfigurasi berpasangan yang mengikuti geometri struktur atap dan mempertahankan sudut kemiringan tetap sebesar  $7^\circ$  menghadap utara. Penempatan ini dirancang untuk menghindari bayangan antar panel serta memaksimalkan penerimaan radiasi matahari sepanjang hari. Adapun rancangan letak PV pada atap lajur 3 dapat dilihat pada Gambar 42.



Gambar 42. Rancangan letak PV pada atap lajur 3

#### 5.4 Evaluasi Efisiensi dan Kesesuaian Pasokan Energi terhadap Kebutuhan Listrik Lajur IV

##### 5.4.1 Potensi daya sistem RSV-P

Sistem RSV-P merupakan rancangan teknologi konversi energi mekanik menjadi energi listrik yang memanfaatkan interaksi langsung antara kendaraan yang melintas dengan *speed bump* yang telah dimodifikasi. Dalam sistem ini, setiap lintasan kendaraan menyebabkan deformasi vertikal pada pelat tekan, yang kemudian menggerakkan piston hidrolik untuk menghasilkan gerak linier, yang selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik melalui mekanisme rotasi dan generator. Simulasi teknik dilakukan pada kecepatan kendaraan konstan sebesar 12,5 km/jam, yang mencerminkan kondisi aktual pada jalur pengujian.

Berdasarkan hasil simulasi, energi yang dihasilkan sangat dipengaruhi oleh berat kendaraan. Kendaraan dengan JBB < 8 ton menghasilkan energi berkisar antara 0,047 Joule hingga 21,2 Joule per lintasan, sedangkan kendaraan berat (JBB > 8 ton) dapat menghasilkan energi hingga 135,5 Joule. Estimasi total energi listrik harian dari satu unit piston RSV-P adalah sebesar 7.702,45 Joule atau setara dengan 2,14 Wh, berdasarkan distribusi lalu lintas aktual sebanyak 286 unit kendaraan per hari. Meskipun daya listrik yang dihasilkan dari satu unit piston masih relatif kecil terhadap kebutuhan operasional infrastruktur Lajur IV, sistem

RSV-P dirancang secara modular dan dapat diperbanyak secara paralel. Dengan demikian, total energi yang dihasilkan dapat ditingkatkan secara linier sesuai dengan jumlah unit yang terpasang.

Sistem ini mencerminkan penerapan teknologi hijau (*green technology*) karena mengandalkan energi dari aktivitas yang sudah terjadi secara alami tanpa menambah beban lingkungan, yaitu lintasan kendaraan. RSV-P memanfaatkan energi terbuang (*wasted mechanical energy*) yang selama ini hilang tanpa dimanfaatkan, lalu mengubahnya menjadi sumber energi terbarukan skala kecil. Selain bersifat pasif, tidak mengganggu alur lalu lintas, dan tidak menghasilkan emisi tambahan, RSV-P dapat diintegrasikan dalam sistem pembangkit hibrida sehingga mendukung transisi menuju infrastruktur energi yang lebih bersih, efisien, dan berkelanjutan. Teknologi ini bukan hanya memberikan kontribusi langsung terhadap pengurangan ketergantungan energi fosil, tetapi juga mendukung prinsip pembangunan berwawasan lingkungan pada sektor transportasi dan pengujian kendaraan.

Meskipun daya keluaran yang dihasilkan oleh satu unit RSV-P masih relatif rendah, sistem ini memiliki karakteristik modular dan dapat diskalakan. Artinya, dengan menambah jumlah unit piston yang dipasang secara paralel pada lintasan kendaraan, kapasitas total energi yang dihasilkan dapat ditingkatkan secara proporsional dan signifikan sesuai dengan kebutuhan sistem.

#### 5.4.2 Potensi daya sistem panel surya

Panel surya berperan sebagai sistem pendukung dalam memenuhi kebutuhan energi listrik harian sebesar 27,6 kWh di Lajur IV UP PKB Pulo Gadung. Hasil simulasi menggunakan perangkat lunak HOMER Pro menunjukkan bahwa konfigurasi sistem dengan kapasitas panel sebesar 9,70 kWp, baterai timbal-asam 92 kWh, dan konverter AC sebesar 5,17 kW<sub>AC</sub> menghasilkan luaran energi sebesar 41,2 kWh per hari. Daya panel surya yang diperoleh mencukupi kebutuhan beban harian sebesar 27,6 kWh, serta menghasilkan surplus energi harian sebesar ±13,6 kWh yang dapat disimpan dalam baterai atau digunakan untuk beban tambahan. Dengan derating sistem sebesar 72,2%, panel surya tetap mampu menghasilkan energi bersih secara konsisten berkat

ketersediaan data iradiasi rata-rata harian sebesar 4,76 kWh/m<sup>2</sup>. Keandalan sistem PV diperkuat oleh penggunaan baterai berkapasitas tinggi dan konverter yang memiliki margin terhadap beban puncak. Oleh karena itu, meskipun sistem ini bersifat pendukung terhadap RSV-P, perannya sangat penting dalam menjamin operasional yang stabil, efisien, dan berkelanjutan, serta memungkinkan implementasi sistem hibrida energi terbarukan yang lebih tangguh dan fleksibel, serta membuka peluang untuk integrasi energi terbarukan skala menengah di lingkungan pengujian kendaraan bermotor.

#### 5.4.3 Analisis kecukupan daya dan sinergi sistem RSV-P dan panel surya

Hasil simulasi menunjukkan bahwa total energi harian yang dihasilkan dari kombinasi dua sistem, yakni RSV-P dan sistem panel surya, mencapai 41,20214 kWh per hari, yang terdiri dari 41,2 kWh dari panel surya dan sekitar 0,00214 kWh dari sistem RSV-P. Sementara itu, kebutuhan energi listrik operasional di Lajur IV tercatat sebesar 27,6 kWh per hari. Dengan demikian, terdapat surplus energi sebesar 13,60 kWh per hari, yang dapat disimpan dalam baterai atau dialokasikan untuk beban tambahan.

Secara kuantitatif, hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi kedua sistem tidak hanya mencukupi, tetapi juga melebihi kebutuhan beban harian secara signifikan. Sistem panel surya berperan sebagai sumber energi utama dengan kapasitas produksi yang besar, berkelanjutan, dan stabil. Di sisi lain, meskipun kontribusi RSV-P relatif kecil secara energi, ia tetap memiliki nilai strategis, khususnya sebagai teknologi *green micro energy harvester* yang dapat mengonversi energi mekanik sisa dari lintasan kendaraan menjadi listrik. Keunggulan sistem RSV-P terletak pada kemampuannya untuk beroperasi pasif dan simultan dengan aktivitas kendaraan tanpa memerlukan sumber daya primer tambahan. Ini menjadikannya sebagai pelengkap ideal bagi sistem PV, terutama pada konteks hibrida. Kedua sistem ini merupakan bentuk implementasi energi hijau (*green energy*) karena tidak menghasilkan emisi karbon, tidak menimbulkan polusi udara atau suara, dan memanfaatkan sumber daya yang terbarukan yakni cahaya matahari dan energi mekanik yang selama ini terbuang. Sinergi antara kedua sistem membentuk model sistem energi terdistribusi (*distributed*

*generation*) yang fleksibel, dan berbasis sumber energi terbarukan sehingga mendukung prinsip keberlanjutan dalam pengembangan infrastruktur transportasi dan pengujian kendaraan bermotor. Dengan demikian, sistem RSV-P dan panel surya tidak hanya berpotensi mendukung, tetapi juga memenuhi secara penuh kebutuhan listrik Lajur IV UP PKB Pulo Gadung secara berkelanjutan dan ramah lingkungan.

## BAB VI PENUTUP

### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil uraian proses desain dan simulasi sistem RSV-P serta sistem panel surya guna mendukung kebutuhan energi listrik infrastruktur Lajur IV UP PKB Pulo Gadung, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan dan simulasi, sistem RSV-P dengan satu unit piston menghasilkan energi listrik sebesar 7.702,45 Joule atau setara dengan 2,14 Wh per hari dari 286 kendaraan. Unit RSV-P dirancang dengan dimensi 5.000 mm × 390 mm × 90 mm, dengan mekanisme hidrolik yang ditempatkan di sisi samping *speed bump* guna memfasilitasi kemudahan inspeksi, pemeliharaan, dan penggantian komponen. Sementara itu, sistem panel surya berkapasitas total 9,90 kWp yang terdiri dari 22 unit modul 450 Wp, dipasang pada dudukan dengan kemiringan optimal 7° menghadap utara sesuai dengan lintang geografis Jakarta Timur, mampu menghasilkan energi sebesar 15.050 kWh per tahun atau 41,2 kWh per hari berdasarkan rata-rata iradiasi 4,76 kWh/m<sup>2</sup>-hari dan temperatur 25,93°C.
2. Sistem RSV-P memiliki potensi sebagai *green micro energy harvester* dengan prinsip kerja konversi energi mekanik akibat lintasan kendaraan menjadi energi listrik. Meskipun daya yang dihasilkan oleh satu unit relatif kecil (2,14 Wh/hari), sifat modular dan pasifnya memungkinkan pengembangan sistem secara linier tanpa mengganggu alur lalu lintas. Di sisi lain, sistem panel surya berkapasitas 9,70 kWp yang didesain berdasarkan karakteristik iradiasi di Jakarta Timur mampu menghasilkan energi sebesar 41,2 kWh per hari. Jumlah ini melampaui kebutuhan listrik harian operasional Lajur IV sebesar 27,6 kWh, sehingga menghasilkan surplus energi sebesar 13,6 kWh yang dapat dimanfaatkan lebih lanjut.

## 6.2 Saran

Berdasarkan hasil uraian proses desain dan simulasi sistem RSV-P serta sistem panel surya guna mendukung kebutuhan energi listrik infrastruktur Lajur IV UP PKB Pulo Gadung, maka beberapa saran berikut diajukan guna mendukung pengembangan lebih lanjut sebagai berikut:

### 1. Pengembangan skala sistem RSV-P

Berdasarkan hasil simulasi, sistem RSV-P dalam konfigurasi satu unit piston menghasilkan energi listrik harian yang relatif kecil, yaitu sebesar 2,14 Wh. Oleh karena itu, disarankan agar pengembangan lebih lanjut dilakukan dengan pendekatan modular, yakni menambah jumlah unit piston yang dipasang secara paralel pada lintasan kendaraan. Dengan demikian, potensi daya dapat ditingkatkan secara linier sesuai dengan kebutuhan energi aktual, terutama jika sistem ditargetkan untuk menyuplai beban yang lebih besar atau beroperasi secara independen.

### 2. Simulasi dan validasi eksperimental di lapangan

Penelitian ini masih berfokus pada hasil simulasi numerik. Oleh karena itu, disarankan agar dilakukan uji coba lapangan (*field test*) untuk memvalidasi akurasi model terhadap kondisi aktual, termasuk variabilitas kecepatan kendaraan, fluktuasi beban, dan respons dinamis sistem RSV-P.

### 3. Analisis *cost and benefit*

Untuk mendukung implementasi lebih lanjut, penelitian lanjutan sebaiknya mencakup analisis kelayakan ekonomi (*feasibility study*), termasuk estimasi biaya investasi awal, biaya perawatan, umur sistem, dan nilai keekonomian dari energi yang dihasilkan. Hal ini diperlukan untuk mengkaji *return on investment* (ROI) dan *net present value* (NPV), khususnya dalam konteks penerapan sistem energi terbarukan skala kecil di lingkungan publik.

### 4. Untuk meningkatkan akurasi dalam analisis hubungan antara kecepatan kendaraan dan energi listrik yang dihasilkan oleh sistem RSV-P, disarankan agar penelitian lanjutan mengumpulkan dan menganalisis data kecepatan aktual kendaraan berdasarkan kategori JBB.

## DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2022, Undang-Undang Republik Indonesia, tentang Hubungan Keuangan antara Pemerintah Pusat dan Pemerintah Daerah, Undang-Undang No. 1 Tahun 2022.
- Anonim, 2014, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, tentang Kebijakan Energi Nasional (KEN), Peraturan Pemerintah No. 79 Tahun 2014.
- Anonim, 2021, Peraturan Pemerintah Republik Indonesia, tentang Kendaraan, Peraturan Pemerintah No. 19 Tahun 2021.
- Abidin, Z., Ulul Ilmi and M. Feri Bani Ashari (2022) 'Desain Speed Bump Penyimpan Energi Berbasis Sensor Piezoelektrik', *Jurnal JEETech*, 3(2), pp. 84–89. Available at: <https://doi.org/10.48056/jeetech.v3i2.204>.
- Admin, Bela Purnama Dewi and Elsa Mayora (2021) 'Literatur Review Kombinasi Senam Hipertensi Dan Slow Deep Breathing Terhadap Penurunan Tekanan Darah Pasien Hipertensi', *Jurnal Kesehatan dan Pembangunan*, 11(22), pp. 7–14. Available at: <https://doi.org/10.52047/jkp.v11i22.107>.
- Azhar, M. and Satriawan, D.A. (2018) 'Implementasi Kebijakan Energi Baru dan Energi Terbarukan Dalam Rangka Ketahanan Energi Nasional', *Administrative Law and Governance Journal*, 1(4), pp. 398–412. Available at: <https://doi.org/10.14710/alj.v1i4.398-412>.
- del Castillo García, G. (no date) *Energy harvesting from vehicular traffic over 1 speed bumps: A review 2 3*.
- Chamdareno, P.G., Nuryanto, E. and Dermawan, E. (2019) 'Perencanaan Sistem Pembangkit Listrik Hybrid (Panel Surya dan Diesel Generator) pada Kapal KM. Kelud', *RESISTOR (elektronika kEndali telekomunikaSI tenaga liSTrik kOmputeR)*, 2(1), p. 59. Available at: <https://doi.org/10.24853/resistor.2.1.59-64>.
- Cochran, W.G.. (2005) *Sampling techniques*. Wiley.
- Dare, A.T. *et al.* (2023) 'Design methodology and implementation of stand-alone solar photovoltaic power system for daily energy consumption of 9.16 kWh', *Engineering Research Express*, 5(4). Available at: <https://doi.org/10.1088/2631-8695/acfd5>.
- Ennawaoui, C. *et al.* (2021) 'Smart speed bump for mechanical energy harvesting from roads', *International Journal of Engineering and Applied Physics (IJEAP)*, 1(1), pp. 61–66.


- Harahap, P. (2020) 'Pengaruh Temperatur Permukaan Panel Surya Terhadap Daya Yang Dihasilkan Dari Berbagai Jenis Sel Surya', *RELE (Rekayasa Elektrikal dan Energi) : Jurnal Teknik Elektro*, 2(2), pp. 73–80. Available at: <https://doi.org/10.30596/rele.v2i2.4420>.
- Jensen, B.D. and Mclain, T.W. (no date) *MeEn 335: System Dynamics*.
- Agung, M. and Widiawati, Y. (2025) *Kajian Pemasangan PLTS dengan Menggunakan ... Kajian Pemasangan PLTS dengan Menggunakan Software PVSyst The study of Solar Power Plant Installation Using PVSyst Software*. Jurnal Otomasi Kelistrikan dan Energi Terbarukan, E.,
- Lahope, G. et al. (2024) 'Implementasi Kebijakan Energi Nasional (Ken) Indonesia Menuju 23% Target Bauran Energi Baru Terbarukan (Ebt) 2025', *Jurnal Darma Agung*, (2024), pp. 124–135.
- Movellan, J.R. (2010) *DC Motors*.
- Nizamudin, aulia ghifary (2019) 'Pembuatan Desain Gedung Asrama Untuk MAN 1 Pasuruan Dengan Menggunakan Software Google Sketchup 2019', *Academia.Edu* [Preprint].
- Nugroho, N., Khwee, K.H. and Yandri (2022) 'Studi Teknis Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sistem Off Grid Dan On Grid (Studi kasus :PT Arif Borneo Azzara)', *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, 1(1), pp. 1–11.
- Putri, A.D., Sasongko, N.A. and Yoesgiantoro, D. (2024) 'Carbon Capture Storage dan Carbon Capture Utilization Storage ( CCS / CCUS ) sebagai Solusi Transisi Energi Fosil di Indonesia', 8(2), pp. 191–203.
- Raharjo, E.P. et al. (2024) 'Towards Greener Airports: Landscape of Electric Vehicle Charging Stations Based on RSV-P (Road Speed Bump's Vibration Power Plant)', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1384(1). Available at: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1384/1/012034>.
- Rahman, D.R. et al. (2022) 'Rsv-P (Road Speed Bump'S Vibration Power Plant): Pemanfaatan Speed Bump Sebagai Media Konversi Getaran Jalan Menjadi Energi Listrik Alternatif Ebt Berbasis lot', *Lomba Karya Tulis Ilmiah*, 3(1), pp. 1–16.
- Rahmayani, D. (2021) 'Analisis Kausalitas Pariwisata, Konsumsi Energi Fosil, Pertumbuhan Ekonomi Dan Emisi Co2 Di Indonesia', *Jurnal Dinamika Ekonomi Pembangunan*, 4(2), pp. 124–139. Available at: <https://doi.org/10.14710/jdep.4.2.124-139>.
- Republik Indonesia, K.S.E. dan S.D.M. (2024) *Konferensi Pers Capaian 2023, Konsumsi Energi Listrik Per Kapita Lebih Target*. Available at: <https://www.esdm.go.id/id/berita-unit/direktorat-jenderal->

ketenagalistrikan/konferensi-pers-capaian-2023-konsumsi-listrik-perkapita-lebihi-target#:~:text=Konsumsi listrik perkapita Indonesia pada,dari target 1.336 kWh%2Fkapita.

- Sarmah, P. *et al.* (2023) 'Comprehensive Analysis of Solar Panel Performance and Correlations with Meteorological Parameters', *ACS Omega*, 8(50), pp. 47897–47904. Available at: <https://doi.org/10.1021/acsomega.3c06442>.
- Setianto, S., Men, L.K. and Abdurrochman, A. (2017) 'DESAIN DAN PEMODELAN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK BERBASIS POLISI TIDUR (studi pengaruh variasi kecepatan kendaraan terhadap respon speed bump model massa-pegas-peredam)', *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, 1(1), pp. 1–5. Available at: <https://doi.org/10.24198/jiif.v1n1.1>.
- Usman, M. (2020) 'Analisis Intensitas Cahaya Terhadap Energi Listrik Yang Dihasilkan Panel Surya', *Power Elektronik: Jurnal Orang Elektro*, 9(2), pp. 52–57. Available at: <https://doi.org/10.30591/polekro.v9i2.2047>.
- Zerom Khasay Advisor, B. and Aman, A. (2020) *Development and Experimental Investigation of Electricity Generation from Hydraulic System Speed Breaker*.




## LAMPIRAN

*Lampiran 1. Asistensi bimbingan*

	<b>KEMENTERIAN PERHUBUNGAN</b> <b>BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN</b> <b>POLITEKNIK TRANSPORTASI DARAT BALI</b>		
	<b>FORMULIR ASISTENSI BIMBINGAN</b> <b>KERTAS KERJA WAJIB/TUGAS AKHIR</b>		
KODE FR.01.011	Tanggal Berkas : 16 Mei 2023	Revisi : -	Hal : 1 / 4


**LAMPIRAN ASISTENSI KERTAS KERJA WAJIB/TUGAS AKHIR  
POLITEKNIK TRANSPORTASI DARAT BALI**

Nama : Made Indira Pramesti  
 Notar : 2201011  
 Program Studi : D-III Teknologi Otomotif  
 Dosen Pembimbing I : Arif Devi Dwipayana, S.T., M.M  
 Judul KKW : Desain Simulasi RSV-P (*Road Speed Bump's Vibration Power Plot*) Dan Panel Surya Dalam Mendukung Infrastruktur Pengujian Kendaraan Bermotor Lajur Kajian IV (Bajaj) Di Unit Pengelola Pengujian Kendaraan Bermotor Pulo Gadung




Asistensi Ke-	Tanggal Asistensi	Evaluasi	Revisi	Tanda Tangan Dosen Pembimbing
1	Rabu, 27 Mei 2025	Mohon izin arahan terdapat <i>error</i> pada simulasi yang tidak dapat diatasi	-	
2	Sabtu, 07 Juni 2025	Hasil simulasi untuk V dan I menggunakan nilai yang berada pada osilasi bukan menggunakan <i>peak power</i> .	Memperbaiki nilai V dan I yang digunakan adalah nilai yang berada pada daerah didalam osilasi.	
3	Senin, 09 Juni 2025	Terdapat permasalahan pada penentuan perhitungan untuk menghitung daya listrik yang dihasilkan (menggunakan rumus P~V.I atau memasukkan	Memasukkan rumus langsung pada simulasi	

	<b>KEMENTERIAN PERHUBUNGAN</b> <b>BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN</b> <b>POLITEKNIK TRANSPORTASI DARAT BALI</b>		
	<b>FORMULIR ASISTENSI BIMBINGAN</b> <b>KERTAS KERJA WAJIB/TUGAS AKHIR</b>		
<b>KODE</b> <b>FR.01.011</b>	<b>Tanggal Berlaku : 16 Mei 2023</b>	<b>Revisi : -</b>	<b>Hal. : 2 / 4</b>

		rumus langsung pada simulasi)		
4	Rabu, 11 Juni 2025	Dalam perhitungan rata-rata dan jumlah sampel kendaraan ditemukan selisih 1 unit kendaraan karena pembulatan pada bilangan desimal.	Menggunakan sampel kendaraan secara nyata di lapangan	
5	Jumat, 14 Juni 2025	Terdapat kendala pada perancangan simulasi panel surya	.	
6	Sabtu, 26 Juni 2025	Pelaporan progres BAB III, BAB IV, BAB V, BAB VI	Penyesuaian tata naskah, dan tambahan narasi pada pembahasan desain	

	<b>KEMENTERIAN PERHUBUNGAN BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN POLITEKNIK TRANSPORTASI DARAT BALI</b>		
	<b>FORMULIR ASISTENSI BIMBINGAN KERTAS KERJA WAJIB/TUGAS AKHIR</b>		
<b>KODE</b> FR.01.011	<b>Tanggal Berlaku :</b> 16 Mei 2023	<b>Revisi :</b> -	<b>Hal. :</b> 3 / 4

**LAMPIRAN ASISTENSI KERTAS KERJA WAJIB/TUGAS AKHIR  
POLITEKNIK TRANSPORTASI DARAT BALI**

Asistensi Ke-	Dokumentasi
1	
2	
3	

	<b>KEMENTERIAN PERHUBUNGAN</b> <b>BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN</b> <b>POLITEKNIK TRANSPORTASI DARAT BALI</b>		
	<b>FORMULIR ASISTENSI BIMBINGAN</b> <b>KERTAS KERJA WAJIB/TUGAS AKHIR</b>		
<b>KODE</b> FR.01.011	<b>Tanggal Berkas :</b> 16 Mei 2023	<b>Revisi :</b> -	<b>Hal :</b> 4 / 4


4	
5	
6	



	<b>KEMENTERIAN PERHUBUNGAN</b> <b>BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN</b> <b>POLITEKNIK TRANSPORTASI DARAT BALI</b>		
	<b>FORMULIR ASISTENSI BIMBINGAN</b> <b>KERTAS KERJA WAJIB/TUGAS AKHIR</b>		
<b>KODE</b> <b>FR.01.011</b>	<b>Tanggal Berlaku :</b> 16 Mei 2023	<b>Revisi :</b> -	<b>Hal :</b> 1 / 3


**LAMPIRAN ASISTENSI KERTAS KERJA WAJIB/TUGAS AKHIR**  
**POLITEKNIK TRANSPORTASI DARAT BALI**

Nama : Made Indira Pramesti  
 Notar : 2201011  
 Program Studi : D-III Teknologi Otomotif  
 Dosen Pembimbing 2 : Surya Aji Ermanto, M.Si.  
 Judul KKW : Desain Simulasi RSV-P (*Road Speed Bump's Vibration Power Plant*) Dan Panel Surya Dalam Mendukung Infrastruktur Pengujian Kendaraan Bermotor Lajur Kajen IV (Bajaj) Di Unit Pengelola Pengujian Kendaraan Bermotor Palo Gadung

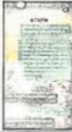

Asistensi Ke-	Tanggal Asistensi	Evaluasi	Revisi	Tanda Tangan Dosen Pembimbing
1	Rabu, 11 Juni 2025	Hasil simulasi untuk V dan I menggunakan nilai yang berada pada osilasi bukan menggunakan <i>peak power</i> .	Memperbaiki nilai V dan I yang digunakan adalah nilai yang berada pada daerah didalam osilasi.	
2	Senin, 23 Juni 2025	Penentuan penggunaan estimasi distribusi jumlah rata-rata kendaraan dimana hasil perhitungannya menggunakan nilai desimal atau dibulatkan.	Menggunakan nilai desimal hasil perhitungan	

	<b>KEMENTERIAN PERHUBUNGAN</b> <b>BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN</b> <b>POLITEKNIK TRANSPORTASI DARAT BALI</b>		
	<b>FORMULIR ASISTENSI BIMBINGAN</b> <b>KERTAS KERJA WAJIB/TUGAS AKHIR</b>		
<b>KODE</b> <b>FR.01.011</b>	<b>Tanggal Berlaku :</b> 16 Mei 2023	<b>Revisi :</b> -	<b>Hal. :</b> 2 / 3

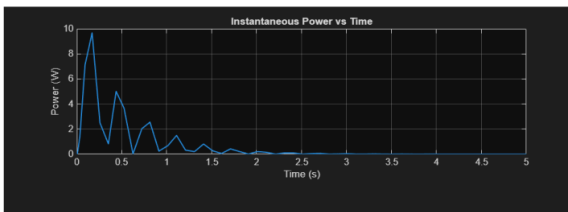
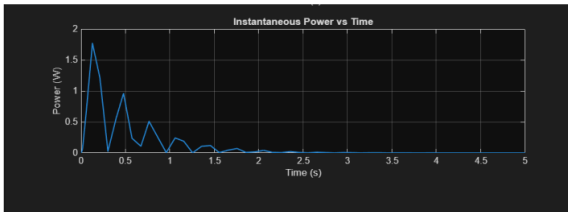
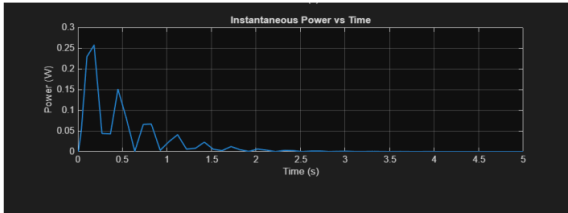
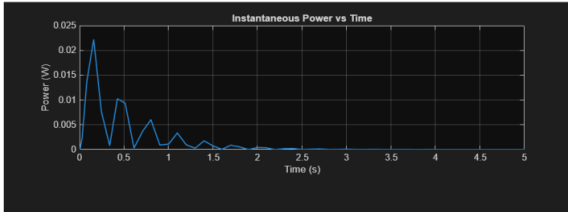
3	Rabu, 25 Juni 2025	- Pelaporan progres BAB IV - Konsistensi penggunaan satuan sesuai standar SI	- Perbaikan terhadap tata naskah - Disesuaikan dengan standar SI	
4	Senin, 30 Juni 2025	- Pelaporan progres BAB V dan BAB VI	- Tabel hubungan kecepatan dan berat diganti menggunakan grafik	

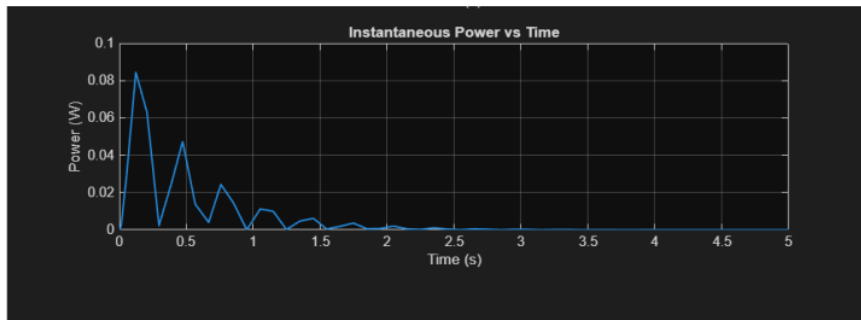
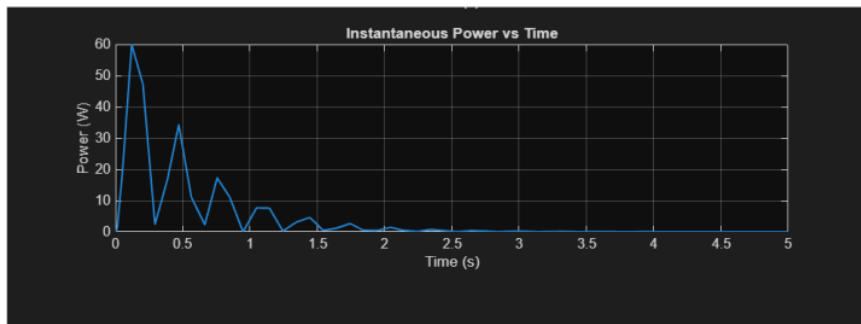
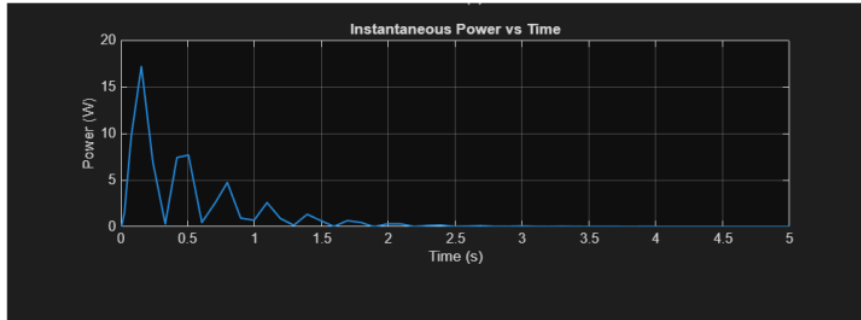
	<b>KEMENTERIAN PERHUBUNGAN          BADAN PENGEMBANGAN SUMBER DAYA MANUSIA PERHUBUNGAN          POLITEKNIK TRANSPORTASI DARAT BALI</b>		
	<b>FORMULIR ASISTENSI BIMBINGAN          KERTAS KERJA WAJIB/TUGAS AKHIR</b>		
<b>KODE</b> FR.01.011	Tanggal Berlaku : 16 Mei 2023	Revisi : -	Hal. : 3 / 3

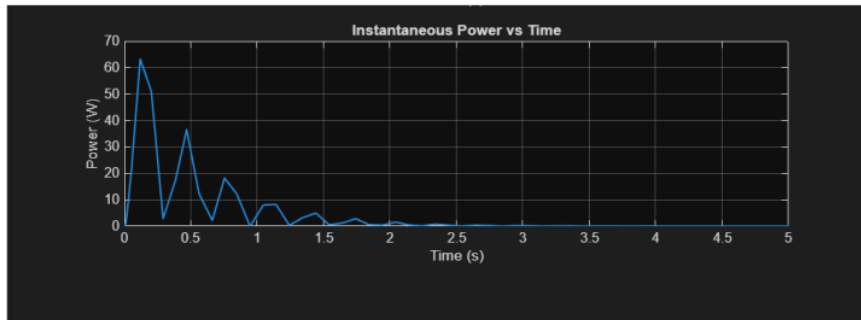
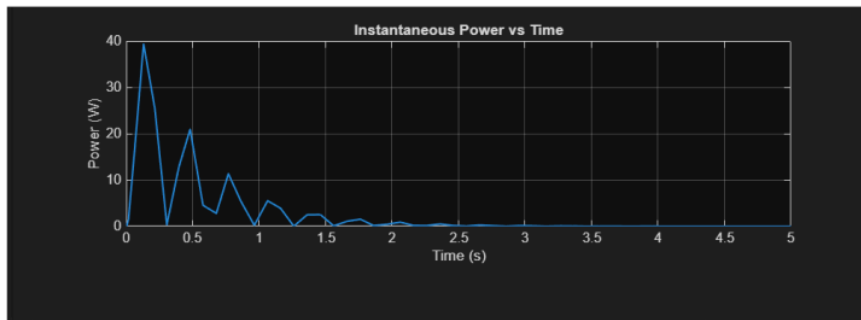
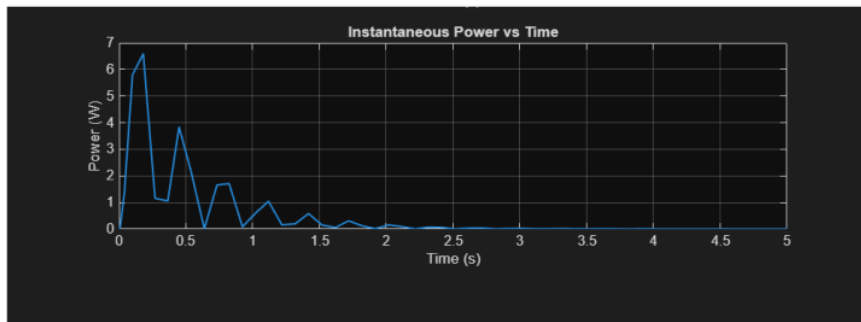
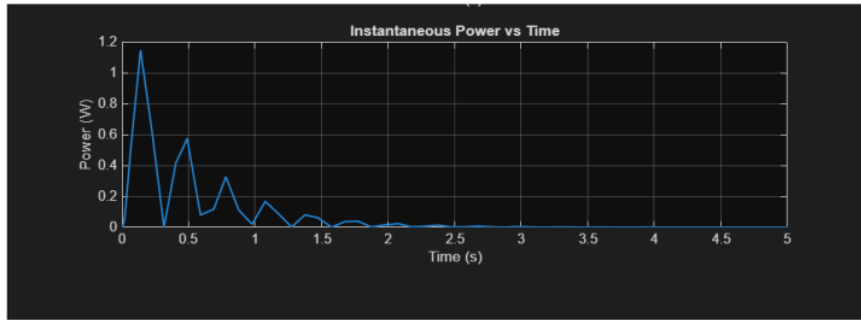
**LAMPIRAN ASISTENSI KERTAS KERJA WAJIB/TUGAS AKHIR  
 POLITEKNIK TRANSPORTASI DARAT BALI**

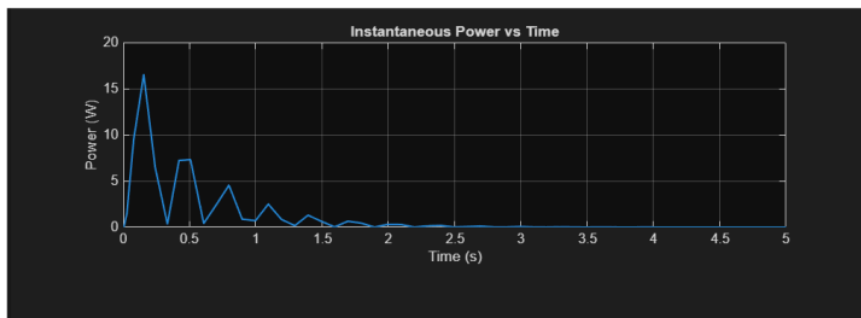
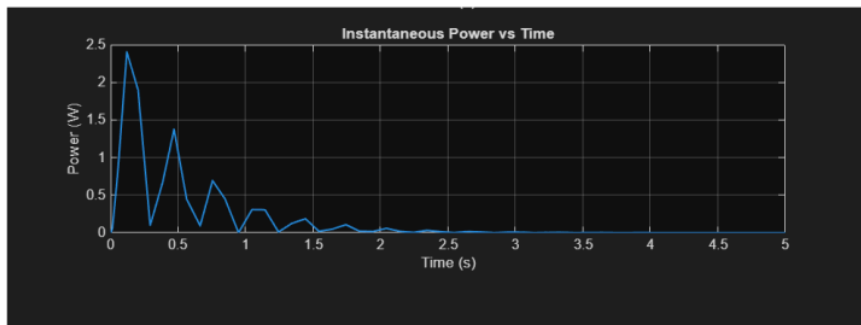
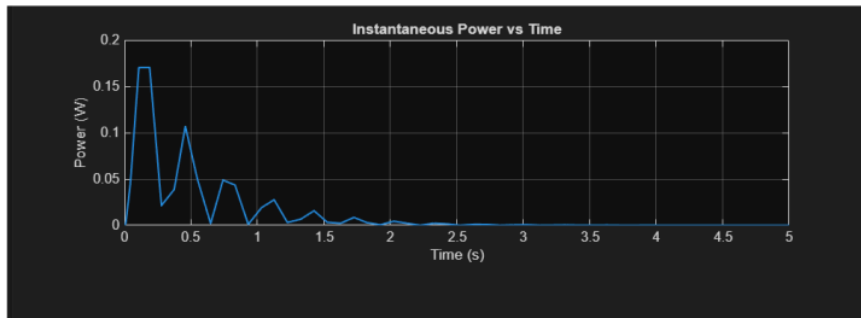
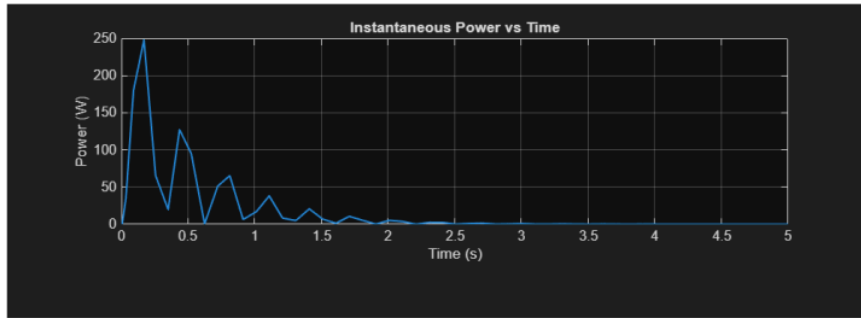
Asistensi Ke-	Dokumentasi
1	
2	

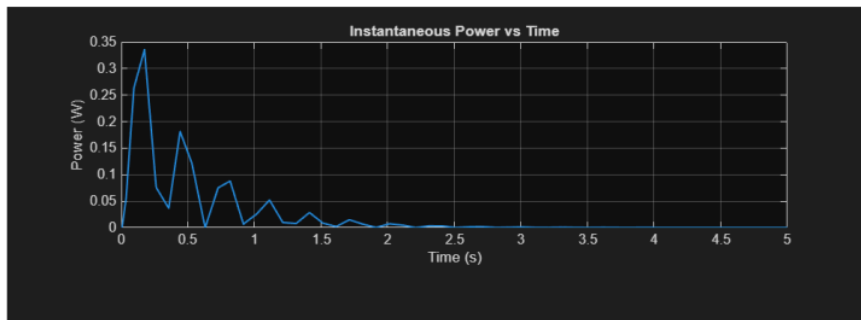
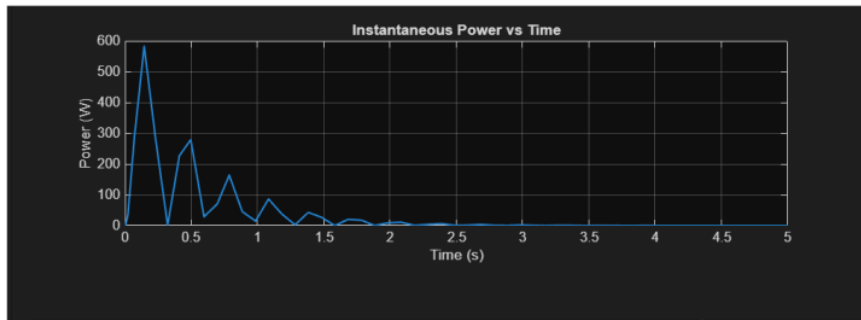
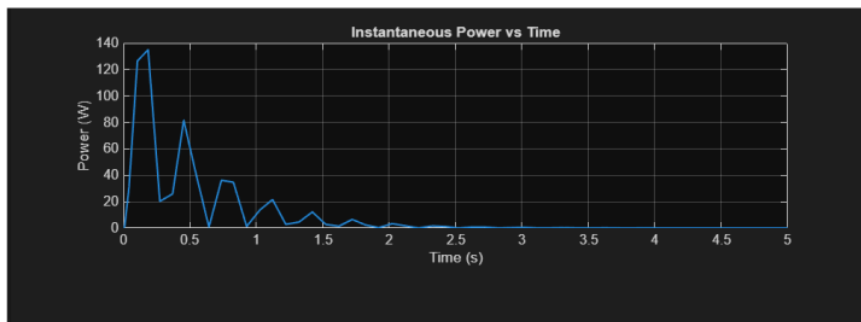
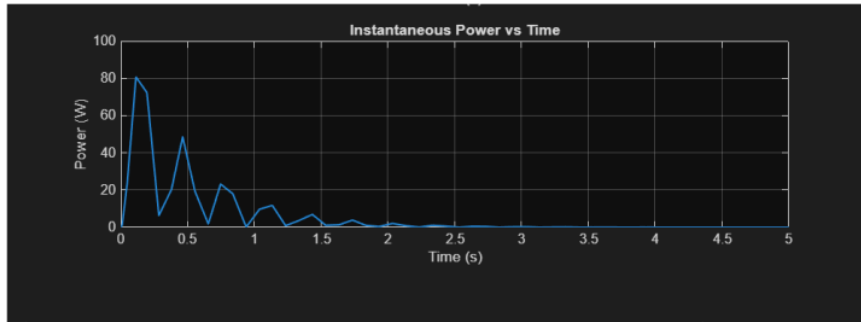
Lampiran 2. Grafik antara daya Instantaneous Power terhadap waktu

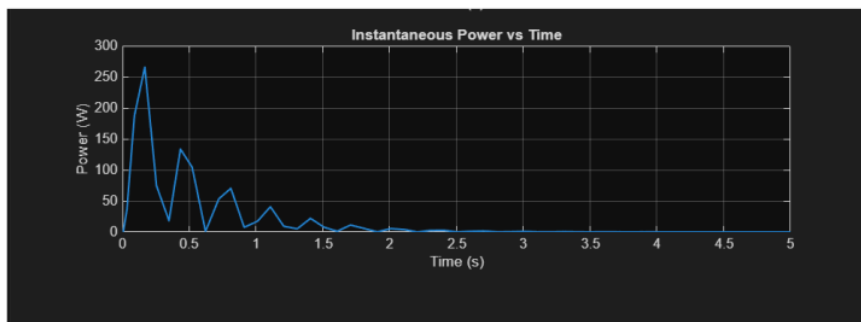
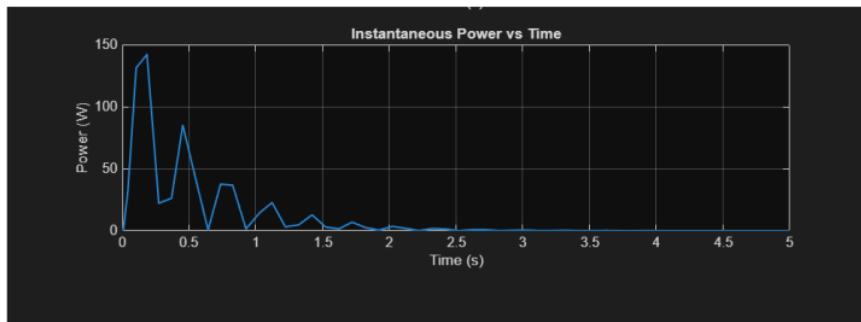
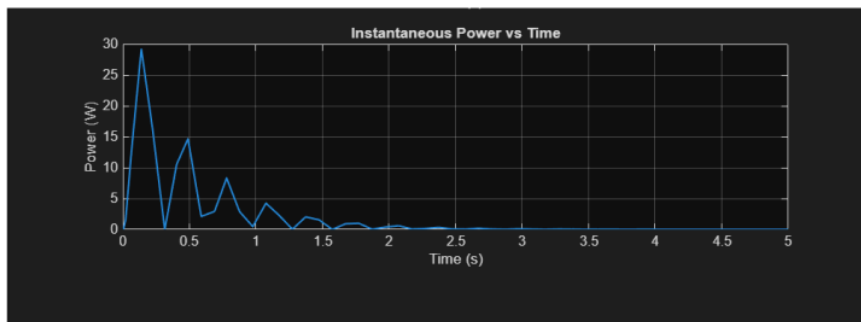
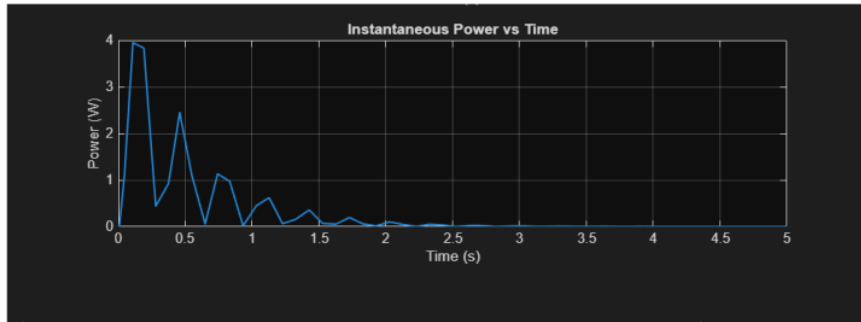


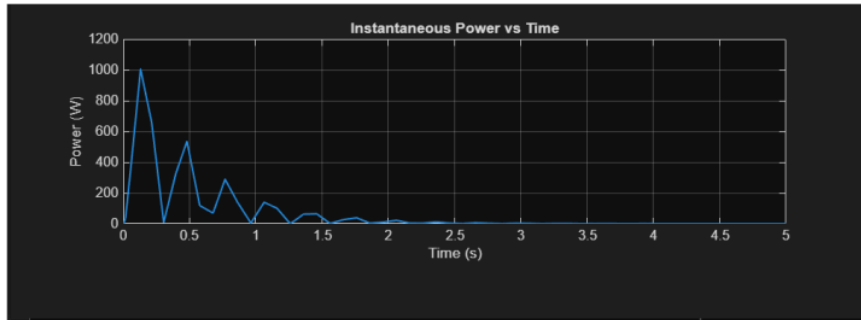












## ORIGINALITY REPORT

11%

SIMILARITY INDEX

10%

INTERNET SOURCES

5%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="http://repository.umsu.ac.id">repository.umsu.ac.id</a> Internet Source	1%
2	<a href="http://eprints.pktj.ac.id">eprints.pktj.ac.id</a> Internet Source	<1%
3	<a href="http://pdfcoffee.com">pdfcoffee.com</a> Internet Source	<1%
4	<a href="http://repository.unj.ac.id">repository.unj.ac.id</a> Internet Source	<1%
5	<a href="http://e-katalog.lkpp.go.id">e-katalog.lkpp.go.id</a> Internet Source	<1%
6	<a href="http://digilib.ptdisttd.ac.id">digilib.ptdisttd.ac.id</a> Internet Source	<1%
7	<a href="http://repository.its.ac.id">repository.its.ac.id</a> Internet Source	<1%
8	<a href="http://repo.palcomtech.ac.id">repo.palcomtech.ac.id</a> Internet Source	<1%
9	<a href="http://eprints.perbanas.ac.id">eprints.perbanas.ac.id</a> Internet Source	<1%

10	<a href="http://teacher.ilmci.com">teacher.ilmci.com</a> Internet Source	<1 %
11	<a href="http://jurnal.borneo.ac.id">jurnal.borneo.ac.id</a> Internet Source	<1 %
12	<a href="http://eprints.uny.ac.id">eprints.uny.ac.id</a> Internet Source	<1 %
13	<a href="http://id.scribd.com">id.scribd.com</a> Internet Source	<1 %
14	<a href="http://repository.uin-suska.ac.id">repository.uin-suska.ac.id</a> Internet Source	<1 %
15	Submitted to Fakultas Teknologi Kebumihan dan Energi Universitas Trisakti Student Paper	<1 %
16	<a href="http://www.fortuneidn.com">www.fortuneidn.com</a> Internet Source	<1 %
17	<a href="http://docplayer.info">docplayer.info</a> Internet Source	<1 %
18	E P Raharjo, A D Dwipayana, A B Sulisty, R Ahmad. "Towards Greener Airports: Landscape of Electric Vehicle Charging Stations Based on RSV-P (Road Speed Bump's Vibration Power Plant)", IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2024 Publication	<1 %

19	Ervan Hasan Harun, Fiqry Ahmad, Jumiati Ilham. "PENGARUH TEMPERATUR PERMUKAAN PANEL SURYA TERHADAP KAPASITAS DAYA YANG DIHASILKAN", Journal Of Renewable Energy Engineering, 2023 Publication	<1 %
20	id.123dok.com Internet Source	<1 %
21	Submitted to Sriwijaya University Student Paper	<1 %
22	Submitted to Universitas Islam Indonesia Student Paper	<1 %
23	repository.najah.edu Internet Source	<1 %
24	Submitted to University of North Carolina, Greensboro Student Paper	<1 %
25	journal.lppmunindra.ac.id Internet Source	<1 %
26	Oo Abdul Rosyid, Yogie Probo Sibagariang, Adjat Sudrajat, Ma'arif Hasan et al. "Effects of cleaning interval of PV module and pyranometer on PV system performances in tropical climate of Indonesia", Results in Engineering, 2025 Publication	<1 %

27 Arief Darmawan, Edi Nyoto, Dhina Setyo, Yunanda Raharjanto. "Analisis Keekonomian Pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Atap pada Stasiun Yogyakarta", AL-MIKRAJ Jurnal Studi Islam dan Humaniora (E-ISSN 2745-4584), 2024  
Publication

---

28 Submitted to Politeknik Negeri Jember  
Student Paper

---

29 Submitted to University of Central Lancashire  
Student Paper

---

30 doku.pub  
Internet Source

---

31 jurnal.untan.ac.id  
Internet Source

---

32 warta.jogjakota.go.id  
Internet Source

---

33 Submitted to Universitas Muhammadiyah Surakarta  
Student Paper

---

34 anzdoc.com  
Internet Source

---

35 ejournal3.undip.ac.id  
Internet Source

---

[etheses.uin-malang.ac.id](http://etheses.uin-malang.ac.id)

36

Internet Source

<1 %

37

[informatika.uin-suka.ac.id](http://informatika.uin-suka.ac.id)

Internet Source

<1 %

38

[ppid.jakarta.go.id](http://ppid.jakarta.go.id)

Internet Source

<1 %

39

[123dok.com](http://123dok.com)

Internet Source

<1 %

40

Submitted to National Institute Of  
Technology, Tiruchirappalli

Student Paper

<1 %

41

Submitted to Submitted on 1691568188898

Student Paper

<1 %

42

Submitted to Universitas 17 Agustus 1945  
Surabaya

Student Paper

<1 %

43

[repository.unsri.ac.id](http://repository.unsri.ac.id)

Internet Source

<1 %

44

[adoc.pub](http://adoc.pub)

Internet Source

<1 %

45

[es.scribd.com](http://es.scribd.com)

Internet Source

<1 %

46

[text-id.123dok.com](http://text-id.123dok.com)

Internet Source

<1 %

47	Submitted to Landmark University Student Paper	<1 %
48	vdocuments.mx Internet Source	<1 %
49	langkah-belajar.blogspot.com Internet Source	<1 %
50	ninditikans24.blogspot.com Internet Source	<1 %
51	repository.upstegal.ac.id Internet Source	<1 %
52	etd.unsam.ac.id Internet Source	<1 %
53	medikom.fkominfo.uniga.ac.id Internet Source	<1 %
54	repository.ar-raniry.ac.id Internet Source	<1 %
55	www.researchgate.net Internet Source	<1 %
56	Submitted to SDM Universitas Gadjah Mada Student Paper	<1 %
57	Submitted to United International University Student Paper	<1 %
58	Submitted to Universitas Diponegoro Student Paper	<1 %

59	<a href="http://en.indonetwork.co.id">en.indonetwork.co.id</a> Internet Source	<1 %
60	<a href="http://eprints.umpo.ac.id">eprints.umpo.ac.id</a> Internet Source	<1 %
61	<a href="http://moam.info">moam.info</a> Internet Source	<1 %
62	<a href="http://repository.itk.ac.id">repository.itk.ac.id</a> Internet Source	<1 %
63	<a href="http://repository.pnj.ac.id">repository.pnj.ac.id</a> Internet Source	<1 %
64	<a href="http://jurnal.ppi.ac.id">jurnal.ppi.ac.id</a> Internet Source	<1 %
65	<a href="http://repository.usd.ac.id">repository.usd.ac.id</a> Internet Source	<1 %
66	<a href="http://www.diplomarbeiten24.de">www.diplomarbeiten24.de</a> Internet Source	<1 %
67	<a href="http://abstrak.uns.ac.id">abstrak.uns.ac.id</a> Internet Source	<1 %
68	<a href="http://eprints.umm.ac.id">eprints.umm.ac.id</a> Internet Source	<1 %
69	<a href="http://hes-gotappointment-newspaper.icu">hes-gotappointment-newspaper.icu</a> Internet Source	<1 %
70	<a href="http://jnewsonline.com">jnewsonline.com</a> Internet Source	<1 %

71	<a href="http://journal.unilak.ac.id">journal.unilak.ac.id</a> Internet Source	<1 %
72	<a href="http://jurnal.poltekba.ac.id">jurnal.poltekba.ac.id</a> Internet Source	<1 %
73	<a href="http://money.kompas.com">money.kompas.com</a> Internet Source	<1 %
74	<a href="http://repositori.usu.ac.id">repositori.usu.ac.id</a> Internet Source	<1 %
75	<a href="http://repository.poliupg.ac.id">repository.poliupg.ac.id</a> Internet Source	<1 %
76	<a href="http://repository.stienobel-indonesia.ac.id">repository.stienobel-indonesia.ac.id</a> Internet Source	<1 %
77	<a href="http://repository.ub.ac.id">repository.ub.ac.id</a> Internet Source	<1 %
78	<a href="http://repository.uir.ac.id">repository.uir.ac.id</a> Internet Source	<1 %
79	<a href="http://vidya.wisnuwardhana.ac.id">vidya.wisnuwardhana.ac.id</a> Internet Source	<1 %
80	Buana, Arya Sula Cakra. "Desain Kendali PID-MPSO pada Sistem Dual Axis Solar Tracking.", Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia) Publication	<1 %
81	Maulida, Yuni. "IT for E-Commerce, Financial Literacy and Financial Inclusion: Determinants	<1 %

of SMEs Performance", Universitas Islam  
Sultan Agung (Indonesia), 2023

Publication

82

Nanda Utama, Marhama Jelita. "Analisis Perbandingan Bahan Bakar Gas dan Energi Listrik Dari Biogas Dengan Memanfaatkan Feses Manusia", JURNAL AL-AZHAR INDONESIA SERI SAINS DAN TEKNOLOGI, 2024

Publication

<1 %

83

[bappeda.mojokertokab.go.id](http://bappeda.mojokertokab.go.id)

Internet Source

<1 %

84

[berkas.dpr.go.id](http://berkas.dpr.go.id)

Internet Source

<1 %

85

[digilib.poliupg.ac.id](http://digilib.poliupg.ac.id)

Internet Source

<1 %

86

[e-gov.gunungkidulkab.go.id](http://e-gov.gunungkidulkab.go.id)

Internet Source

<1 %

87

[eprints.umk.ac.id](http://eprints.umk.ac.id)

Internet Source

<1 %

88

[eprints.undip.ac.id](http://eprints.undip.ac.id)

Internet Source

<1 %

89

[eprints.uniska-bjm.ac.id](http://eprints.uniska-bjm.ac.id)

Internet Source

<1 %

90

[journal.unhas.ac.id](http://journal.unhas.ac.id)

Internet Source

<1 %

91	<a href="http://jurnal.unej.ac.id">jurnal.unej.ac.id</a> Internet Source	<1 %
92	<a href="http://library.binus.ac.id">library.binus.ac.id</a> Internet Source	<1 %
93	<a href="http://radarbanyumas.co.id">radarbanyumas.co.id</a> Internet Source	<1 %
94	<a href="http://repositori.unsil.ac.id">repositori.unsil.ac.id</a> Internet Source	<1 %
95	<a href="http://repositori.unair.ac.id">repositori.unair.ac.id</a> Internet Source	<1 %
96	<a href="http://repositori.unej.ac.id">repositori.unej.ac.id</a> Internet Source	<1 %
97	<a href="http://repositori.unjaya.ac.id">repositori.unjaya.ac.id</a> Internet Source	<1 %
98	<a href="http://repositori.unpar.ac.id">repositori.unpar.ac.id</a> Internet Source	<1 %
99	Alpian Jayadi. "PERBANDINGAN PEMERIKSAAN IgM ANTI SALMONELLA TYPHI DENGAN METODE ICT DAN ELISA PADA PASIEN WIDAL POSITIF", Jurnal Biosains Pascasarjana, 2015 Publication	<1 %
100	Darmadi, Darmadi. "Perhitungan Kapasitas Jalan Dengan Model Lalu Lintas Mjcroscopics (Studi Kasus Jalan tol Jabotabek)", Universitas Islam Sultan Agung (Indonesia), 2024	<1 %

---

101	<a href="http://bogordaily.net">bogordaily.net</a> Internet Source	<1 %
102	de Jesus Junior, Juracy Marques. "Uso das Energias Renováveis: Estudo Sobre a Implementação em Empresa de Pequena Dimensão", Instituto Politecnico de Leiria (Portugal), 2024 Publication	<1 %
103	<a href="http://dosen.perbanas.id">dosen.perbanas.id</a> Internet Source	<1 %
104	<a href="http://ejournal.ft-undar.ac.id">ejournal.ft-undar.ac.id</a> Internet Source	<1 %
105	<a href="http://ejurnal.dipaneegara.ac.id">ejurnal.dipaneegara.ac.id</a> Internet Source	<1 %
106	<a href="http://jurnal.stiq-amuntai.ac.id">jurnal.stiq-amuntai.ac.id</a> Internet Source	<1 %
107	<a href="http://jurnal.unismabekasi.ac.id">jurnal.unismabekasi.ac.id</a> Internet Source	<1 %
108	<a href="http://mhn.bphn.go.id">mhn.bphn.go.id</a> Internet Source	<1 %
109	<a href="http://ojs.bakrie.ac.id">ojs.bakrie.ac.id</a> Internet Source	<1 %
110	<a href="http://repository.pnb.ac.id">repository.pnb.ac.id</a> Internet Source	<1 %

---

111	<a href="https://repository.trisakti.ac.id">repository.trisakti.ac.id</a> Internet Source	<1 %
112	<a href="https://repository.unika.ac.id">repository.unika.ac.id</a> Internet Source	<1 %
113	<a href="https://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Internet Source	<1 %
114	<a href="https://www.grafiati.com">www.grafiati.com</a> Internet Source	<1 %
115	<a href="https://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Internet Source	<1 %
116	Budi Sitorus. "Pengawasan Kegiatan Pengujian Kendaraan Bermotor Untuk Meningkatkan Keselamatan Dan Kelaiakan Jalan", <i>Warta Penelitian Perhubungan</i> , 2013 Publication	<1 %
117	Erick Darmansyah, Ariawan Gunadi. "Dinamika Hukum dan Politik dalam Dugaan Kasus Korupsi yang Melibatkan Pertamina: Analisis Yuridis dan Implikasinya terhadap Kebijakan Energi Nasional", <i>Jurnal Hukum Lex Generalis</i> , 2025 Publication	<1 %
118	<a href="https://journal.univpancasila.ac.id">journal.univpancasila.ac.id</a> Internet Source	<1 %
119	<a href="https://repository.radenintan.ac.id">repository.radenintan.ac.id</a> Internet Source	

<1 %

120

Haryanti Arman, Stanley Kho Walandouw, Anneke Wangkar. "Analisis penerimaan pajak reklame pada Badan Pendapatan Daerah Kota Manado", Riset Akuntansi dan Portofolio Investasi, 2025

Publication

<1 %

121

Mohammadreza Gholikhani, Mohammadali Sharzehee, Seyed Amid Tahami, Frances Martinez, Samer Dessouky, Lubinda F. Walubita. "Effect of electromagnetic energy harvesting technology on safety and low power generation in sustainable transportation: a feasibility study", International Journal of Sustainable Engineering, 2019

Publication

<1 %

122

[journal.umy.ac.id](http://journal.umy.ac.id)

Internet Source

<1 %

Exclude quotes On

Exclude matches Off

Exclude bibliography On