

**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 DIPLOMA 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 DIPLOMA 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., M.T.
NIP. 19851102 201902 1 003
Tanggal: 01 Juli 2025



Surva Aji Ermanto, M.Si.
NIP. 19910207 201902 1 002
Tanggal: 01 Juli 2025

Ditetapkan di: Tabanan

**HALAMAN PENGESAHAN
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**

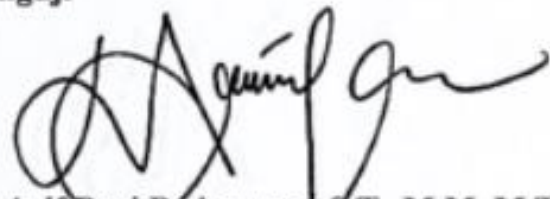
Telah dipersiapkan dan disusun oleh :
MADE INDIRA PRAMESTI
2201011

**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 Dwipayana, S.T., M.M., M.T.
NIP. 19851102 201902 1 003



Ir. Aris Budi Sulistyo, 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, 01 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, penulis 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.

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

Kepada seseorang yang telah menemani perjalanan ini, orang-orang di sekitar penulis, sahabat, rekan, dosen pembimbing Bapak Arif Devi Dwipayana, S.T., M.M., dan Bapak Surya Aji Ermanto, M.Si. 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, penulis belajar tentang makna keberadaan.

”Kita Adalah Penentu Nasib Kita Sendiri, Sekarang Atau Tidak Selamanya”.

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 Kajen 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. Bapak M. Beny Dwifa, S.Pd., M.T., selaku dosen Penguji 1 yang telah memberikan nasehat, saran dan kritik yng membangun untuk penyempurnaan laporan Kertas Kerja Wajib ini;
7. Bapak Ir. Aris Budi Sulistyono, S.T., M.T., selaku dosen Penguji 2 yang telah memberikan nasehat, saran dan kritik yng membangun untuk penyempurnaan laporan Kertas Kerja Wajib ini;
8. Seluruh Dosen dan Staff Program Studi Diploma III Teknologi Otomotif di Politeknik Transportasi Darat Bali atas ilmu yang telah diajarkan;

9. Kakak-kakak pegawai di UP PKB Pulo Gadung atas arahan dan bimbingannya selama penyusunan Kertas Kerja Wajib ini;
10. Seluruh rekan-rekan mahasiswa/i Program Studi D-III Teknologi Otomotif Politeknik Transportasi Darat Bali yang telah memberikan dukungannya kepada penulis;
11. Rekan-rekan kamar 3.3, Cahya Setia Ningrum, Jesika Arnetta Nainggolan dan Nurtalita Fazura Damayanti yang selalu mendukung dan mendengar keluh kesah penulis selama penyusunan Kertas Kerja Wajib ini;
12. Serta seluruh pihak yang telah terlibat dan telah berupaya membantu penyusunan Kertas Kerja Wajib ini.

Tabanan, 01 Juli 2025

Penulis,



Made Indira Pramesti

Notar. 2201011

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN MOTTO DAN PERSEMBAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xii
INTISARI.....	xv
<i>ABSTRACT</i>	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
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
BAB II GAMBARAN UMUM.....	6
2.1 Kondisi Wilayah.....	6
2.2 Objek yang Dikaji.....	7
BAB III TINJAUAN PUSTAKA.....	9
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
BAB IV METODE PENELITIAN	22
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.....	31
4.6 Model Teoritis Sistem Panel Surya.....	41
4.7 Perancangan Model Simulasi Panel Surya Menggunakan HOMER Pro	49
4.8 <i>Timeline</i> Kegiatan.....	55
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.....	56
5.1 Estimasi Distribusi Jumlah Kendaraan Harian Berdasarkan Kategori Berat	56
5.2 Hasil Perhitungan Simulasi Konversi Energi RSV-P dan Potensi Panel Surya.....	57
5.3 Desain Sistem RSV-P dan Panel Surya.....	68
5.4 Evaluasi Efisiensi dan Kesesuaian Pasokan Energi terhadap Kebutuhan Listrik Lajur IV.....	78
BAB VI PENUTUP	82
6.1 Kesimpulan	82
6.2 Saran.....	83
DAFTAR PUSTAKA	85
LAMPIRAN.....	88

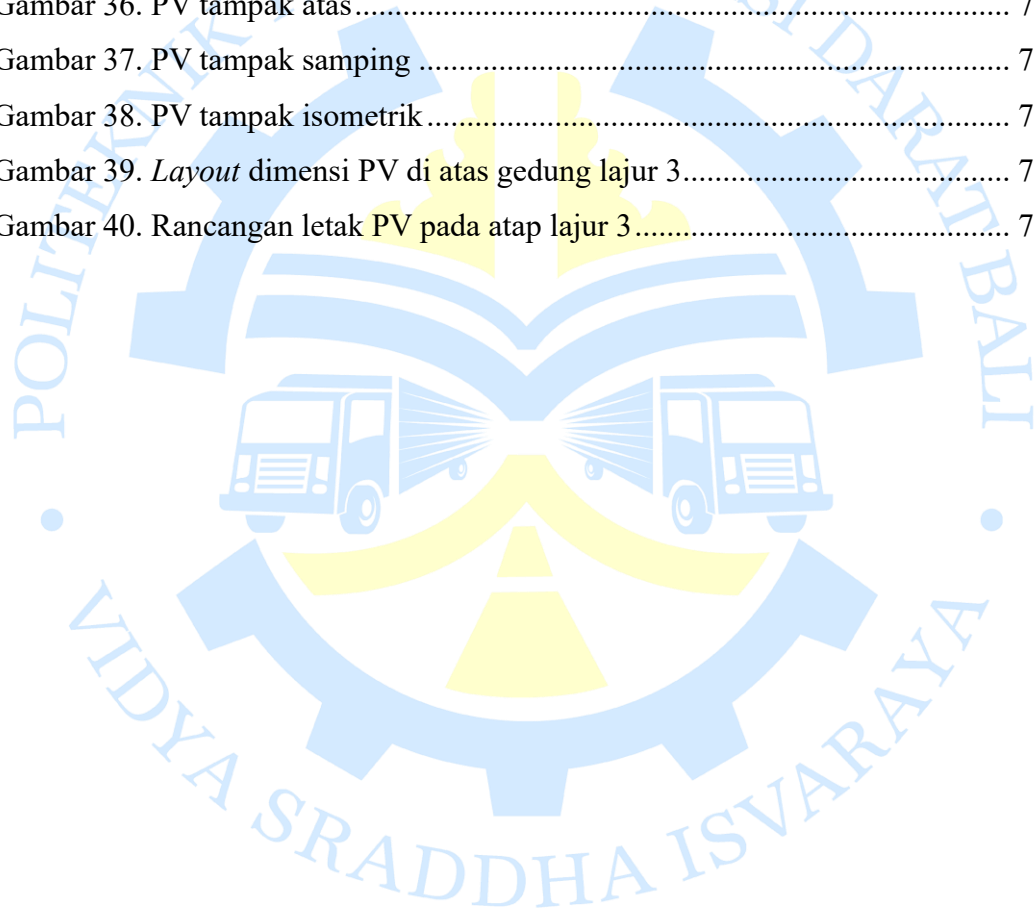
DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Data kendaraan yang melaksanakan uji Tahun 2024	7
Tabel 2. 2 Kebutuhan daya listrik lajur 4	8
Tabel 3. 1 Perbandingan jenis mekanisme <i>speed bump</i>	13
Tabel 3. 2 Penelitian terdahulu	19
Tabel 4. 1 Temperatur rata-rata di wilayah Jakarta Timur	44
Tabel 4. 2 Intensitas iradiasi matahari di wilayah UP PKB Pulo Gadung	45
Tabel 4. 3 Faktor kerugian sistem	47
Tabel 4. 4 Timeline kegiatan	55
Tabel 5. 1 Jumlah kendaraan berdasarkan kelompok JBB.....	56
Tabel 5. 2 Estimasi distribusi jumlah kendaraan harian.....	57
Tabel 5. 3 Hasil simulasi kombinasi variasi berat dan kecepatan untuk JBB < 8 ton	58
Tabel 5. 4 Hasil simulasi kombinasi variasi berat dan kecepatan untuk JBB > 8 ton	59
Tabel 5. 5 Energi listrik yang dihasilkan per kategori berat kendaraan	63
Tabel 5. 6 Total energi listrik yang dihasilkan per hari	63
Tabel 5. 7 Spesifikasi panel surya Solana	75

DAFTAR GAMBAR

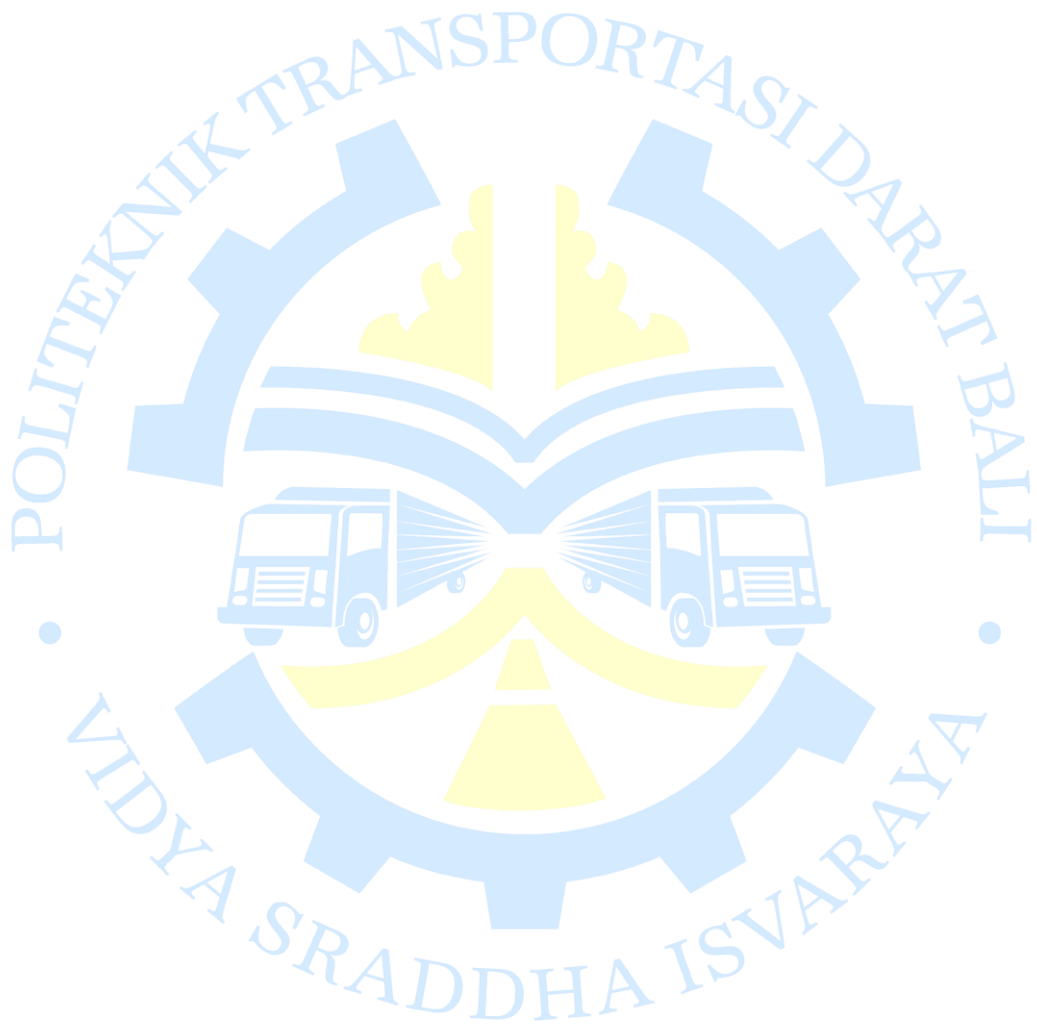
Gambar 1. Lokasi UP PKB Pulo Gadung	6
Gambar 2. Lajur 4	10
Gambar 3. Teknologi RSV-P	15
Gambar 4. MATLAB-Simulink	16
Gambar 5. Perangkat lunak HOMER	17
Gambar 6. SketchUp	18
Gambar 7. Bagan alir penelitian	25
Gambar 8. Diagram blok konseptual	30
Gambar 9. Kode inisiasi lingkungan kerja MATLAB	32
Gambar 10. Kode definisi parameter	33
Gambar 11. Kode untuk membuat blok input model	35
Gambar 12. Kode untuk subsistem <i>HydraulicActuator</i>	36
Gambar 13. Kode untuk subsistem <i>Generator</i>	39
Gambar 14. Blok <i>To Workspace</i>	40
Gambar 15. Kode untuk perhitungan daya instan dan energi total	41
Gambar 16. Distribusi beban harian PV	43
Gambar 17. Grafik beban bulanan PV	44
Gambar 18. Data GHI	46
Gambar 19. Pemodelan sistem PV	50
Gambar 20. Pengaturan PV pada aplikasi HOMER	51
Gambar 21. Pengaturan konverter pada aplikasi HOMER	52
Gambar 22. Pengaturan baterai pada aplikasi HOMER	54
Gambar 23. Grafik hubungan variasi berat, kecepatan, dan total energi untuk JBB < 8 ton	59
Gambar 24. Grafik hubungan variasi berat, kecepatan, dan total energi untuk JBB > 8 ton	60
Gambar 25. Diagram blok hasil simulasi RSV-P	66
Gambar 26. Hasil simulasi panel surya menggunakan HOMER Pro	67
Gambar 27. Jalur loket <i>drive thru in</i>	69

Gambar 28. Lokasi penerapan sistem RSV-P	69
Gambar 29. Visualisasi desain RSV-P	70
Gambar 30. Tampak atas	71
Gambar 31. Tampak depan.....	71
Gambar 32. Tampak samping.....	71
Gambar 33. Tampak isometrik	71
Gambar 34. Rangkaian sistem hidrolik.....	72
Gambar 35. Lajur 3 sebagai tempat penerapan pemasangan panel surya.....	74
Gambar 36. PV tampak atas.....	76
Gambar 37. PV tampak samping	76
Gambar 38. PV tampak isometrik.....	76
Gambar 39. <i>Layout</i> dimensi PV di atas gedung lajur 3.....	77
Gambar 40. Rancangan letak PV pada atap lajur 3.....	78



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Asistensi bimbingan.....	88
Lampiran 2. Grafik antara daya <i>Instantaneous Power</i> terhadap waktu.....	95



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

Peningkatan konsumsi listrik dan penghapusan retribusi uji kendaraan mendorong perlunya solusi energi alternatif yang efisien dan berkelanjutan. UP PKB Pulo Gadung menghadapi tantangan ketergantungan pada listrik fosil. Penelitian ini merancang dan mensimulasikan sistem hibrida berbasis *Road Speed Bump's Vibration Power Plant* (RSV-P) dengan model hidrolis dan panel surya untuk memenuhi kebutuhan listrik Lajur IV. Metode yang digunakan adalah analisis simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB-Simulink serta HOMER Pro. Hasilnya menunjukkan satu unit RSV-P menghasilkan 0,8102 Wh per hari dari 286 kendaraan, sementara sistem panel surya berkapasitas 9,70 kWp mampu menghasilkan 41,2 kWh per hari, melebihi konsumsi harian sebesar 27,6 kWh. Surplus energi sebesar 13,6 kWh berpotensi disimpan sebagai cadangan. RSV-P yang bersifat modular dan pasif bertindak sebagai *green micro energy harvester* dan sistem fotovoltaik dalam membentuk skema energi terdistribusi. Temuan ini menunjukkan bahwa sistem gabungan RSV-P dan panel surya tidak hanya layak diterapkan, tetapi juga mampu memenuhi kebutuhan listrik Lajur IV secara mandiri, 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

The increasing demand for electricity and the abolition of vehicle inspection retribution fees highlight the urgent need for efficient and sustainable alternative energy solutions. UP PKB Pulo Gadung faces challenges related to its reliance on fossil-based electricity. This study designs and simulates a hybrid system combining a Road Speed Bump's Vibration Power Plant (RSV-P) using a hydraulic model and solar panels to meet the electricity needs of Lane IV. The methodology involves simulation-based analysis using MATLAB-Simulink and HOMER Pro. The results show that a single RSV-P unit generates 0.8102 Wh per day from 286 vehicles, while the 9.70 kWp solar panel system produces 41.2 kWh per day exceeding the daily electricity demand of 27.6 kWh. The resulting energy surplus of 13.6 kWh can potentially be stored for backup use. The modular and passive RSV-P functions as a green micro energy harvester and the photovoltaic system in forming an efficient distributed energy scheme. The findings indicate that the integrated RSV-P and solar power system is not only feasible for implementation but also capable of fully meeting the electricity demand of Lane IV in a self-sufficient, 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 CO₂ (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

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.*, 2021a) 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 CO₂ sebesar 26% pada tahun 2050, diperlukan optimalisasi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang digunakan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil (Putri, et al., 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 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 fosil dalam mendukung implementasi teknologi hijau di lingkungan pengujian kendaraan bermotor.

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:

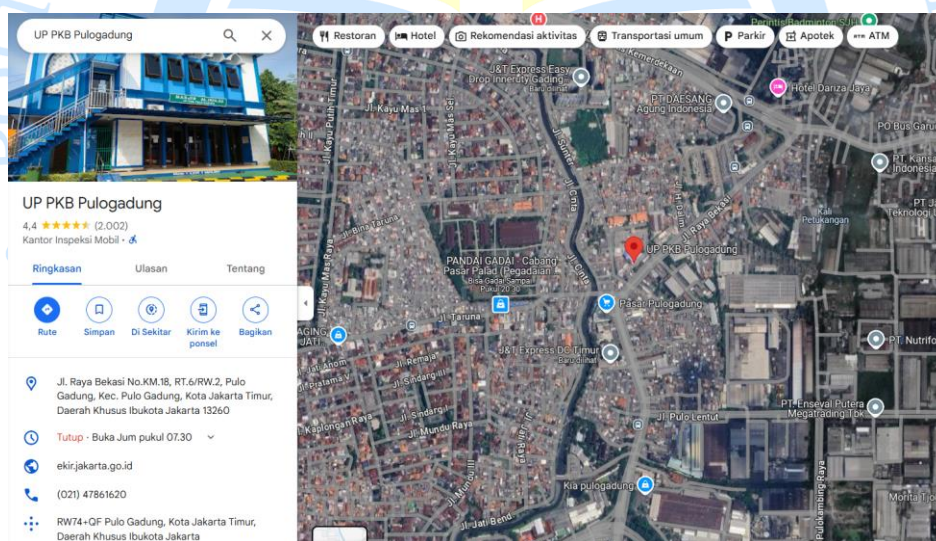
1. Penelitian dilakukan dengan studi kasus pada UP PKB Pulo Gadung sebagai lokasi implementasi sistem RSV-P dan sistem panel surya.
2. Penelitian ini hanya berfokus pada perancangan desain menggunakan SketchUP dan simulasi sistem konversi energi kinetik menjadi energi listrik dengan RSV-P menggunakan 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 Kajan 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.



(Sumber: <https://www.google.com/maps>)

Gambar 1. Lokasi UP PKB Pulo Gadung

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 Kajan (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, et al., 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, PC, dan 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

(Sumber: Data Operasional UP PKB Pulo Gadung)

BAB III

TINJAUAN PUSTAKA

3.1 Energi Baru Terbarukan

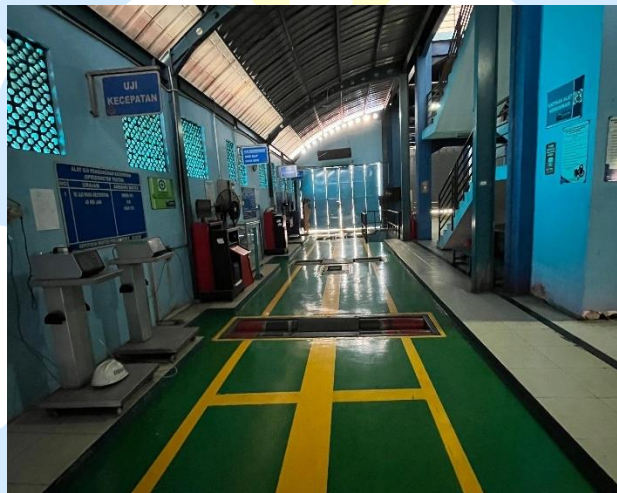
Energi Baru Terbarukan (EBT) adalah sumber energi yang dapat diperbarui dari proses alami dalam waktu singkat, seperti energi surya, angin, hidro, biomassa, dan panas bumi. Dibandingkan dengan bahan bakar fosil, EBT lebih mudah didapatkan dan menghasilkan emisi yang lebih rendah, sehingga berperan penting 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 Kaje 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 Kaje (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 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.

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 (Zerom Khasay Advisor and Aman, 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, efisiensi 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 3.1, 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*

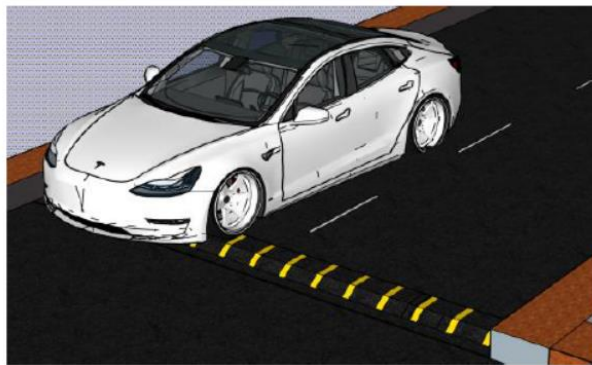
No	Model	Kelebihan	Kekurangan	Modal	Hemat/ Tahun	Balik Modal
1.	Hidrolik	<ul style="list-style-type: none"> - Efisiensi tinggi untuk kendaraan berat. - Kapasitas luaran harian tinggi (160–200 W/kendaraan) 	<ul style="list-style-type: none"> - Biaya instalasi dan perawatan tinggi. - Potensi kebocoran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

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

(Sumber: del Castillo Garcia, 2018)

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.



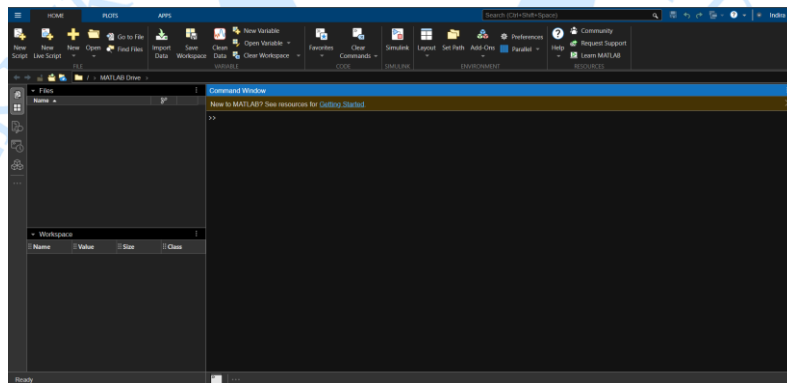
(Sumber : Raharjo et al., 2024)

Gambar 3. Teknologi RSV-P

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:

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

Keterangan:

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

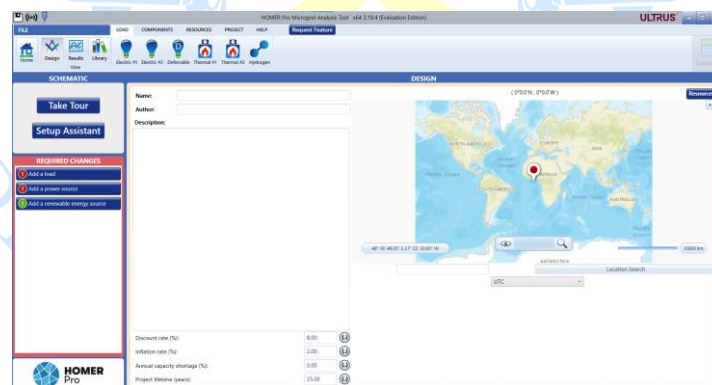
n_i = jumlah kendaraan kategori ke- i dalam sampel

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.

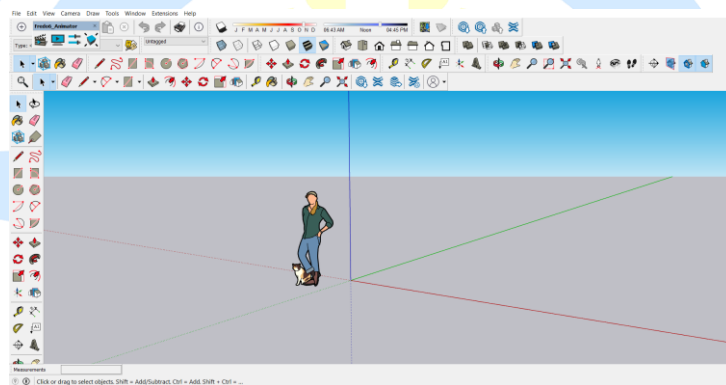


Gambar 5. Perangkat lunak HOMER

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 electron (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 et al., 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, 2020), Rancang Bangun <i>Speed bump</i> Sebagai Penghasil Energi Listrik	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, Gautama Putrada and Abdurohman, 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 transducer 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 <i>et al.</i> , 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	(Said Fadillah and Christian, 2023), <i>Speed bump 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 *Internet of Things (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.