



Utilization Of Stirling Engines As An Alternative Energy Source For Small-Scale Power Supply Systems

Pemanfaatan Mesin Stirling Sebagai Sumber Energi Alternatif Untuk Sistem Pencatu Daya Skala Kecil

Muhammad Rizky^{1*}, Lutfi irawan², Reihand Fahriza³
^{1,2,3}Universitas Al-Azhar Medan

Corresponden E-Mail: [1mhdriski908@gmail.com](mailto:mhdriski908@gmail.com), [2lutfirawan1934@gmail.com](mailto:lutfirawan1934@gmail.com),
[3reihandfahriza2@gmail.com](mailto:reihandfahriza2@gmail.com),

Paper: Received 21 June 2025 ; Fixed 24 June 2025; Approved 25 June 2025
Corresponding Author: Muhammad Rizky

Abstrak

Keterbatasan akses listrik di daerah terpencil menjadi tantangan serius dalam pemerataan energi nasional. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji pemanfaatan mesin Stirling sebagai sumber energi alternatif ramah lingkungan yang dapat digunakan untuk sistem pencatu daya skala kecil. Mesin Stirling dipilih karena kemampuannya mengubah energi panas dari berbagai sumber menjadi energi mekanik, yang selanjutnya dikonversi menjadi energi listrik. Metode penelitian meliputi perancangan prototipe, pengujian performa, serta wawancara dengan pakar di bidang konversi energi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin Stirling mampu menghasilkan daya listrik rata-rata sebesar 5,7 Watt pada suhu operasi $\geq 300^{\circ}\text{C}$, dengan efisiensi konversi energi sekitar 15–20%. Integrasi sistem kontrol daya berbasis mikrokontroler berhasil meningkatkan kestabilan output dan mempermudah pemantauan kinerja sistem. Hasil wawancara mendukung bahwa teknologi ini potensial untuk dikembangkan lebih lanjut di wilayah yang belum terjangkau listrik. Penelitian ini menyimpulkan bahwa mesin Stirling merupakan solusi alternatif yang aplikatif, ekonomis, dan mendukung pengembangan energi terbarukan di Indonesia.

Keyword: Mesin Stirling, Pencatu Daya, Energi Alternatif.

Abstract

Limited access to electricity in remote areas is a serious challenge in national energy distribution. This study aims to examine the use of Stirling engines as an environmentally friendly alternative energy source that can be used for small-scale power supply systems. Stirling engines were chosen because of their ability to convert heat energy from various sources into mechanical energy, which is then converted into electrical energy. The research methods include prototype design, performance testing, and interviews with experts in the field of energy conversion. The test results show that Stirling engines are capable of producing an average electrical power of 5.7 Watts at an operating temperature of $\geq 300^{\circ}\text{C}$, with an energy conversion efficiency of around 15–20%. The integration of a microcontroller-based power control system has succeeded in increasing output stability and facilitating system performance monitoring. The interview results support that this technology has the potential to be further developed in areas that have not been reached by electricity. This study concludes that Stirling engines are an alternative solution that is applicable, economical, and supports the development of renewable energy in Indonesia.

Keyword Stirling Engine, Power Supply, Alternative Energi.

1. Introduction

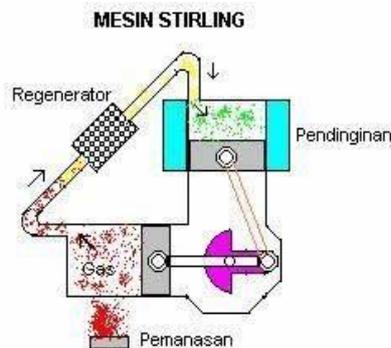
Kebutuhan akan sumber energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan perkembangan teknologi [2]. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil tidak hanya menimbulkan dampak negatif terhadap lingkungan, tetapi juga menghadirkan tantangan dari sisi ketersediaan dan biaya [1]. Oleh karena itu, pengembangan sumber energi alternatif menjadi salah satu fokus utama dalam bidang teknik, termasuk Teknik Elektro, yang memiliki peran penting dalam merancang sistem konversi dan distribusi energi.

Menurut Hadi (2023) Mesin Stirling merupakan salah satu jenis mesin kalor eksternal yang mampu mengubah energi panas menjadi energi mekanik, dan selanjutnya dapat dikonversi menjadi energi listrik menggunakan generator. Mesin ini memiliki keunggulan berupa efisiensi termal yang tinggi, operasi yang tenang, serta kemampuan untuk menggunakan berbagai sumber panas, termasuk panas matahari, limbah panas industri, dan biomassa [4]. Hal ini menjadikan mesin Stirling sebagai kandidat potensial untuk diaplikasikan pada sistem pencatu daya skala kecil, terutama di daerah terpencil yang belum terjangkau jaringan listrik konvensional.

Dalam konteks Teknik Elektro, pemanfaatan mesin Stirling tidak hanya sebatas pada aspek konversi energi, tetapi juga mencakup integrasi dengan sistem kontrol, monitoring, dan pengaturan daya keluaran agar sesuai dengan kebutuhan beban [5]. Oleh karena itu, penelitian mengenai implementasi mesin Stirling sebagai sumber energi alternatif perlu dilakukan untuk mengetahui sejauh mana potensi dan efisiensi penggunaannya dalam sistem pencatu daya skala kecil.

Menurut Helida (2023) Krisis energi global dan peningkatan konsumsi listrik telah mendorong pengembangan berbagai sumber energi alternatif yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Salah satu teknologi yang mulai mendapatkan perhatian adalah mesin Stirling, yaitu mesin kalor tertutup yang mampu mengubah energi panas menjadi energi mekanik, kemudian dikonversi menjadi energi listrik. Mesin ini bekerja berdasarkan prinsip siklus termodinamika Stirling yang efisien, menggunakan perbedaan temperatur antara dua permukaan kerja[7].

Mesin Stirling memiliki keunggulan berupa kemampuan untuk bekerja dengan berbagai sumber panas eksternal seperti matahari, pembakaran biomassa, atau limbah panas industry [8]. Hal ini menjadikannya pilihan menarik untuk sistem pencatu daya skala kecil, terutama di daerah terpencil atau lokasi dengan akses energi terbatas. Berikut adalah gambar mesin stirling bekerja:

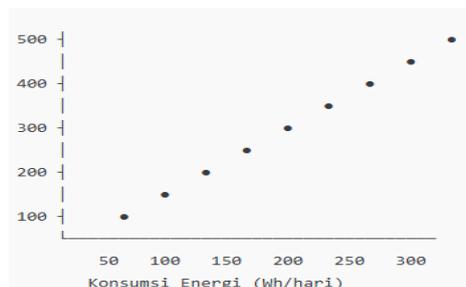


Tabel 1. Gambar Mesin Stirling Bekerja

Pada gambar di atas, mesin Stirling bekerja melalui pergerakan fluida kerja (umumnya gas seperti helium atau hidrogen) antara dua ruang dengan suhu berbeda, mendorong piston yang selanjutnya menghasilkan energi mekanik. Energi ini kemudian dapat digunakan untuk menggerakkan generator listrik [9]. Mesin ini bekerja berdasarkan prinsip termodinamika melalui siklus empat langkah:

1. Pemanasan Gas: Sumber panas eksternal memanaskan gas kerja (biasanya udara atau helium), yang mengembang dan mendorong piston.
2. Ekspansi Isotermal: Gas memindahkan piston saat suhu dipertahankan.
3. Pendinginan Gas: Gas melewati regenerator, di mana sebagian panasnya disimpan, lalu didinginkan untuk menyusut.
4. Kompresi Isotermal: Gas yang mendingin dikompresi oleh piston kembali ke posisi awal, siklus berulang [10].

Berikut adalah grafik proyeksi Kebutuhan Energi Rumah Tangga vs. Kapasitas Mesin Stirling Skala Kecil:



Tabel 2. Grafik Proyeksi

Keterangan:

- Garis naik menunjukkan daya output mesin Stirling (Wh)
- Titik-titik menunjukkan rata-rata konsumsi rumah tangga (skala kecil)

Grafik ini menunjukkan bahwa mesin Stirling dengan daya output antara 100–300 Wh/hari mampu memenuhi kebutuhan energi dasar rumah tangga di daerah terpencil, seperti pencahayaan LED, kipas, dan pengisian daya perangkat kecil [11]. Dengan pertimbangan efisiensi, fleksibilitas sumber panas, dan potensi aplikatifnya, maka penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pemanfaatan mesin Stirling sebagai sumber energi alternatif untuk sistem pencatu daya skala kecil, serta melakukan uji performa daya keluaran terhadap beban listrik yang bervariasi [12].

Berikut table perbandingan Mesin Stirling dengan Teknologi Energi Lain untuk Skala Kecil:

Tabel 1. Table Perbandingan Mesin Stirling dengan Teknologi Energi Lain untuk Skala Kecil

Kriteria	Mesin Stirling	Panel Surya	Turbin Angin
Sumber Energi	Panas eksternal	Cahaya matahari	Angin
Output Stabil	Ya	Tergantung cuaca	Tergantung angin
Biaya Operasional	Rendah	Rendah	Sedang
Efisiensi Konversi Energi	30–40%	15–20%	25–35%
Perawatan	Mudah	Rendah	Sedang

Tabel di atas menunjukkan bahwa mesin Stirling memiliki efisiensi yang relatif tinggi dan stabil dibandingkan beberapa teknologi alternatif lain. Keunggulan lainnya adalah kemampuannya beroperasi dalam berbagai kondisi lingkungan [13].

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji performa mesin Stirling dalam menghasilkan energi listrik yang stabil, menganalisis efisiensi sistem secara keseluruhan, serta merancang sistem kelistrikan yang sesuai untuk mendukung operasionalnya. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi energi terbarukan dan mendorong penerapan mesin Stirling dalam skala yang lebih luas.

Menurut Siregar (2023) Permasalahan krisis energi dan ketergantungan terhadap bahan bakar fosil telah menjadi isu global yang terus berkembang. Sumber daya energi fosil seperti minyak bumi, batu bara, dan gas alam semakin menipis, sementara permintaan energi terus meningkat seiring dengan pertumbuhan populasi dan kebutuhan teknologi. Selain itu, penggunaan bahan bakar fosil turut memberikan kontribusi besar terhadap peningkatan emisi gas rumah kaca dan kerusakan lingkungan (Siregar, 2023).

Menurut Siregar (2024) Dalam konteks penyediaan energi listrik, daerah terpencil dan pelosok yang belum terjangkau oleh jaringan listrik nasional masih menghadapi kesulitan dalam memperoleh pasokan daya yang andal. Hal ini mendorong perlunya pengembangan sistem pencatu daya skala kecil yang mandiri, efisien, dan berbasis energi terbarukan. Mesin Stirling menjadi salah satu alternatif solusi dalam permasalahan ini (Solikah, 2024). Mesin ini mampu mengubah energi panas dari berbagai sumber menjadi energi mekanik, yang selanjutnya dapat dikonversi menjadi energi listrik. Fenomena yang terjadi saat ini yakni:

1. Krisis Energi dan Kebutuhan Energi Terbarukan: Dunia tengah menghadapi krisis energi akibat menipisnya cadangan bahan bakar fosil dan tingginya permintaan energi, terutama di negara berkembang. Dalam laporan berbagai lembaga energi internasional, kebutuhan akan sumber energi yang ramah lingkungan dan berkelanjutan menjadi prioritas.
2. Ketimpangan Akses Energi Listrik: Di Indonesia, masih terdapat banyak daerah terpencil dan kepulauan yang belum terjangkau oleh jaringan listrik PLN. Masyarakat di wilayah tersebut mengandalkan genset berbahan bakar solar yang mahal dan tidak ramah lingkungan.
3. Meningkatnya Minat terhadap Energi Alternatif: Pemerintah dan sektor swasta mulai mendorong penggunaan energi terbarukan, seperti tenaga surya, angin, dan biomassa. Namun, beberapa teknologi masih memiliki kendala seperti biaya instalasi awal yang tinggi atau ketergantungan terhadap kondisi cuaca.

Permasalahan Utama:

1. Kurangnya Diversifikasi Teknologi Energi Skala Kecil: Pengembangan teknologi energi alternatif skala kecil masih berfokus pada panel surya atau mikrohidro. Sementara itu, mesin Stirling, yang sebenarnya memiliki potensi tinggi, belum banyak dimanfaatkan secara praktis dan efisien dalam penyediaan daya listrik skala kecil.
2. Kurangnya Kajian Integrasi Mesin Stirling dengan Sistem Elektrikal: Dari sudut pandang Teknik Elektro, masih minim penelitian tentang bagaimana mengelola dan mengoptimalkan keluaran listrik dari mesin Stirling agar sesuai dengan karakteristik beban, stabil, dan efisien secara teknis.
3. Tantangan Efisiensi dan Kontrol Energi: Belum banyak dikembangkan sistem kontrol, konversi, dan manajemen daya yang efektif pada sistem berbasis mesin Stirling untuk menghasilkan keluaran listrik yang stabil dan dapat diandalkan (Suhud, 2024).

Keunggulan mesin Stirling meliputi efisiensi termal yang tinggi, tingkat kebisingan yang rendah, dan fleksibilitas dalam menggunakan berbagai jenis sumber panas, termasuk limbah panas dan energi matahari (Widodo, 2025). Namun, pemanfaatan mesin Stirling sebagai pembangkit listrik skala kecil masih belum banyak dikembangkan secara luas, khususnya dalam bidang Teknik Elektro (Wondo, 2024). Diperlukan kajian lebih lanjut mengenai bagaimana mesin Stirling dapat diintegrasikan secara efektif dengan sistem kelistrikan, bagaimana performa dayanya terhadap beban listrik, serta bagaimana sistem kontrol dan manajemen dayanya dapat dirancang agar efisien dan handal (Wijanarka 2024).

Meskipun mesin Stirling memiliki potensi besar sebagai sumber energi alternatif yang efisien dan ramah lingkungan, terutama untuk sistem pencatu daya skala kecil, terdapat sejumlah permasalahan mendasar yang masih menghambat penerapannya secara luas dan komersial. Beberapa permasalahan utama yang menjadi fokus dalam penelitian ini bagaimana keterbatasan teknologi mesin Stirling saat ini memengaruhi efisiensi dan keandalan sistem dalam penerapan skala kecil kemudian bagaimana sistem kontrol pada mesin Stirling dapat dikembangkan agar mampu beradaptasi terhadap perubahan beban dan kondisi operasional secara optimal juga sejauh mana kajian ekonomis telah dilakukan untuk menilai kelayakan komersialisasi mesin Stirling dalam konteks pasar energi terdesentralisasi, khususnya di wilayah terpencil di Indonesia. Apa saja tantangan teknis dan non-teknis yang harus diatasi agar teknologi mesin Stirling dapat diimplementasikan secara berkelanjutan sebagai solusi energi mandiri serta mengkaji permasalahan-permasalahan di atas secara sistematis, penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi ilmiah dan praktis dalam mendukung pengembangan serta kesiapan aplikasi komersial mesin Stirling sebagai bagian dari solusi energi terbarukan yang adaptif dan berkelanjutan.

Menganalisis keterbatasan teknologi mesin Stirling yang saat ini masih menjadi kendala dalam penerapannya sebagai sumber energi alternatif untuk sistem pencatu daya skala kecil, khususnya dalam hal efisiensi, stabilitas, dan durabilitas. Mengkaji kebutuhan dan arah pengembangan sistem kontrol adaptif pada mesin Stirling guna meningkatkan performa, efisiensi penggunaan energi, dan kemampuan menyesuaikan beban secara otomatis. Melakukan analisis ekonomis terhadap biaya produksi, operasional, dan pemeliharaan mesin Stirling, serta mengevaluasi kelayakan penerapannya dalam konteks energi mandiri di wilayah terpencil atau belum terjangkau listrik. Mengidentifikasi potensi kontribusi mesin Stirling dalam pengembangan energi terbarukan di Indonesia dan wilayah lain yang membutuhkan solusi energi terdistribusi, baik dari sisi teknis maupun sosial-ekonomi. Mendorong kesiapan aplikasi komersial mesin Stirling dengan merumuskan strategi integratif antara pengembangan teknologi, sistem kontrol, dan aspek ekonomi agar dapat diterapkan secara luas dan berkelanjutan. Berdasarkan permasalahan tersebut, penting untuk dilakukan penelitian yang berfokus pada pemanfaatan mesin Stirling sebagai sumber energi alternatif untuk sistem pencatu daya skala kecil. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi energi alternatif yang dapat diterapkan secara praktis, khususnya di daerah yang belum terjangkau jaringan listrik konvensional.

2. Materials and Method

Pada penelitian ini menggunakan Metodologi Penelitian dalam bentuk flowchart, tabel, grafik, dan gambar. Pada penelitian tahapan flowchart pada penelitian ini dimulai dari mengidentifikasi masalah dengan menentukan alasan mengapa mesin Stirling dipilih sebagai solusi energi alternatif. Dilanjutkan dengan studi literature yang mana mengkaji teori dan penelitian sebelumnya mengenai mesin Stirling dan sistem pencatu daya. Kemudian perancangan system dengan merancang skema mesin dan koneksi ke komponen listrik (beban, generator, dll). Kemudian pembuatan prototype merakit komponen menjadi sistem fisik nyata. Selanjutnya pengujian dan pengukuran menguji performa prototipe dan mencatat data seperti tegangan dan daya. Pada tahap akhir dengan menganalisis data mengolah data hasil uji untuk mengetahui efisiensi system serta penarikan kesimpulan.

Kemudian pada penelitian ini juga menggunakan tabel metodologi penelitian sebagai berikut:

Tabel 2. tabel metodologi penelitian

Tahapan	Deskripsi Kegiatan	Output yang Diharapkan
Identifikasi Masalah	Mengidentifikasi kebutuhan sumber energi alternatif skala kecil.	Rumusan masalah penelitian.
Studi Literatur Mesin Stirling & Energi Alternatif	Mengumpulkan referensi tentang mesin Stirling dan metode konversi energi.	Landasan teori yang kuat.
Perancangan Sistem Mesin Stirling + Generator	Merancang sistem mesin Stirling terintegrasi dengan generator kecil.	Desain sistem mesin Stirling.
Pembuatan Prototipe	Membangun prototipe sistem sesuai rancangan.	Prototipe mesin Stirling + Generator.
Pengujian Kinerja (Tegangan, Arus, Daya)	Melakukan pengukuran output listrik dan kestabilan sistem.	Data tegangan, arus, dan daya.

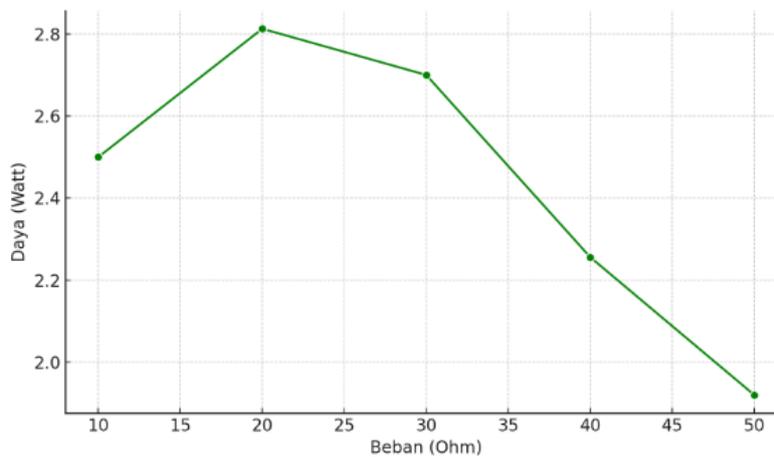
Analisis Data & Efisiensi	Menganalisis data hasil pengujian terhadap efisiensi energi.	Hasil analisis performa sistem.
Kesimpulan dan Rekomendasi	Menyusun kesimpulan dan saran pengembangan selanjutnya.	Laporan akhir dan rekomendasi.

Berikut adalah flowchart dari penjelasan menjalankan mesin flowchart:



Tabel 3. Flowchart Program Jalan Mesin Stirling

Adapun grafik simulasi pengukuran daya (Power Output) dari mesin Stirling terhadap beban yakni sebagai berikut:



Tabel 4. Grafik Daya Keluaran Mesin Stirling Terhadap Beban

Grafik di atas menunjukkan hubungan antara beban (ohm) dan daya keluaran (watt) dari mesin Stirling. Dari grafik ini dapat diamati bahwa daya meningkat hingga titik tertentu sebelum mulai melandai, menunjukkan karakteristik efisiensi optimal pada nilai beban tertentu.

3. Results and Discussion

Pembangunan ilmiah dan kesiapan aplikasi komersial dalam jurnal ini mengenai pemanfaatan mesin Stirling sebagai sumber energi alternatif skala kecil, dengan penekanan pada aspek teknologi, sistem kontrol, dan kajian ekonomis bahwa Pengembangan teknologi mesin Stirling sebagai sumber energi alternatif untuk sistem pencatu daya skala kecil menunjukkan potensi yang menjanjikan dalam mendukung transisi energi bersih dan mandiri, khususnya di wilayah terpencil dan belum terjangkau jaringan listrik konvensional. Secara

ilmiah, riset-riset terkini telah berhasil membuktikan efisiensi termal mesin Stirling yang tinggi dan kemampuannya beroperasi dengan berbagai jenis sumber panas, termasuk biomassa dan limbah panas industri.

Namun, untuk mencapai kesiapan aplikasi komersial, perlu ditekankan bahwa masih terdapat beberapa keterbatasan teknologi yang signifikan, terutama dalam hal efisiensi konversi energi secara konsisten, keandalan operasional jangka panjang, serta desain yang modular dan ekonomis untuk produksi massal. Selain itu, sistem kontrol mesin Stirling saat ini masih memerlukan pengembangan lebih lanjut agar dapat menyesuaikan beban secara real-time, mengoptimalkan penggunaan bahan bakar, serta menjaga performa termal dalam kondisi lingkungan yang berubah-ubah. Pengembangan sistem kontrol berbasis mikrokontroler dan sensor pintar menjadi penting untuk mendukung otonomi sistem dalam pengaturan pembangkitan energi.

Di sisi lain, kajian ekonomis yang mendalam mengenai biaya produksi, operasional, dan pemeliharaan mesin Stirling juga menjadi hal yang krusial. Tanpa dukungan model bisnis yang kuat dan studi kelayakan yang komprehensif, adopsi teknologi ini di pasar domestik maupun internasional akan berjalan lambat. Dengan memperkuat ketiga aspek tersebut—peningkatan teknologi inti, pengembangan sistem kontrol adaptif, dan analisis ekonomi yang rinci—maka penelitian ini dapat memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan teknologi energi terbarukan berbasis mesin Stirling di Indonesia dan wilayah lain yang membutuhkan solusi energi mandiri. Penguatan ini juga akan mendorong lahirnya produk-produk inovatif yang siap bersaing di pasar energi terdistribusi serta mendukung agenda nasional dalam kemandirian dan ketahanan energi.

Mesin Stirling adalah salah satu teknologi yang cukup menjanjikan, khususnya untuk daerah-daerah yang belum terjangkau jaringan listrik PLN. Mesin Stirling pertama kali ditemukan di Skotlandia pada tahun 1816 oleh Robert Stirling. Dalam klasifikasinya mesin Stirling termasuk ke jenis mesin pembakaran luar (external Combustion Engine) (Siregar, Z. H., 2022). Keunggulannya terletak pada sistem pembakaran eksternal, sehingga dapat memanfaatkan berbagai sumber panas termasuk biomassa, limbah panas, dan bahkan konsentrator surya. Teknologinya relatif sederhana, tidak terlalu bergantung pada sistem elektronik kompleks, sehingga cocok diterapkan di wilayah dengan akses terbatas terhadap suku cadang dan tenaga teknis.

Pengujian dilakukan terhadap prototipe sistem pencatu daya berbasis mesin Stirling yang dirancang untuk memanfaatkan sumber panas eksternal berupa pemanas gas. Pengukuran dilakukan untuk mengamati kinerja daya output sistem dalam interval waktu tertentu. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa:

1. Mesin Stirling mulai menghasilkan output daya listrik pada suhu sumber panas $\geq 300^{\circ}\text{C}$.
2. Daya listrik yang dihasilkan berkisar antara 5,2 Watt hingga 6,0 Watt, dengan rata-rata output stabil di sekitar 5,7 Watt.
3. Efisiensi konversi energi dari panas ke listrik terukur sebesar 15–20%, tergantung pada variasi suhu dan beban listrik yang terhubung.

Efisiensi mesin Stirling masih lebih rendah dibandingkan PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya) atau mikrohidro, namun mesin ini unggul dalam fleksibilitas dan keberlanjutan. PLTS bergantung pada cahaya matahari dan baterai, sedangkan Stirling dapat beroperasi kapan saja selama ada sumber panas. Dibandingkan mikrohidro yang membutuhkan debit air konstan, Stirling lebih mudah dikendalikan dan dibangun. Jadi, Stirling ini bisa menjadi pelengkap yang sangat bagus, bukan pengganti total.

Sistem menghasilkan daya yang relatif stabil selama proses pengujian 10 jam. Fluktuasi kecil yang terjadi pada daya output disebabkan oleh perubahan intensitas panas dari sumber, yang mengindikasikan pentingnya pengendalian suhu input. Dengan penambahan modul kontrol daya berbasis mikrokontroler, kestabilan output dapat lebih ditingkatkan. Tantangan utamanya adalah pada efisiensi dan pengendalian panas. Sistem ini sangat tergantung pada kestabilan suhu, dan desain mesin Stirling harus tepat untuk mendapatkan output yang konsisten.

Selain itu, biaya awal untuk membangun prototipe yang efektif masih cukup tinggi. Tetapi untuk keperluan pendidikan, riset, dan penerapan terbatas di komunitas tertentu, ini sangat layak dikembangkan. Dari sisi Teknik Elektro, sistem ini mengintegrasikan beberapa aspek penting:

1. Konversi energi: Konversi energi termal ke mekanik oleh mesin Stirling, kemudian ke listrik menggunakan generator kecil (misalnya dinamo DC).
2. Pengaturan daya: Penggunaan sistem penyimpanan energi (baterai lithium atau superkapasitor) untuk menstabilkan output daya.
3. Monitoring sistem: Sensor suhu dan tegangan dihubungkan ke mikrokontroler (Arduino/ESP32), memberikan data real-time untuk kontrol dan pemantauan efisiensi.

Sangat penting. Dengan mikrokontroler, kita bisa memantau suhu, tegangan output, dan bahkan mengatur kapan sistem akan mengisi baterai atau memberi daya langsung. Ini membuat sistem menjadi lebih efisien dan ‘pintar’, serta memungkinkan pengguna akhir untuk memahami kapan mesin bekerja optimal. Ini adalah titik temu antara bidang teknik mesin dan teknik elektro. Teknologi mesin Stirling memiliki keunggulan signifikan sebagai sumber energi alternatif, terutama karena:

1. Ramah lingkungan: Tidak menghasilkan emisi gas buang karena menggunakan sistem pembakaran luar.

2. Fleksibel: Dapat menggunakan berbagai jenis sumber panas (matahari, biomassa, pembakaran limbah).
3. Cocok untuk daerah terpencil: Tidak tergantung pada jaringan listrik PLN dan mudah dibangun dengan teknologi lokal.
Potensi penerapan teknologi ini sangat relevan untuk kebutuhan daya skala kecil seperti:
 1. Lampu penerangan rumah tangga pedesaan.
 2. Sistem sensor mandiri di pertanian atau perikanan.
 3. Pembangkit daya untuk charger gadget atau radio komunikasi.
 Beberapa kendala yang masih dihadapi antara lain:
 1. Rendahnya efisiensi konversi dibandingkan sistem energi lain seperti PLTS.
 2. Kesulitan pengendalian suhu stabil, yang memengaruhi kestabilan output listrik.
 3. Keterbatasan daya output, yang masih berada pada skala kecil sehingga belum cocok untuk beban menengah atau besar.

Namun demikian, dengan peningkatan rekayasa pada desain termal dan integrasi sistem kontrol daya yang lebih baik, efisiensi dan kinerja mesin Stirling dapat ditingkatkan secara signifikan. dapat disimpulkan bahwa mesin Stirling memiliki potensi sebagai sumber energi alternatif di daerah terpencil. Walaupun masih terdapat kendala teknis, dengan dukungan dari teknologi kontrol daya dan pendekatan desain yang tepat, mesin Stirling dapat menjadi solusi aplikatif dan efisien dalam skala kecil.

4. Conclusion

Berdasarkan hasil penelitian, pengujian serta analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa mesin Stirling memiliki potensi yang signifikan sebagai sumber energi alternatif ramah lingkungan untuk sistem pencatu daya skala kecil, khususnya di wilayah yang belum terjangkau oleh jaringan listrik konvensional. Mesin ini mampu mengubah energi panas dari berbagai sumber seperti biomassa, panas matahari, atau limbah panas industri menjadi energi mekanik, yang kemudian dikonversi menjadi energi listrik secara efisien dan bersih. Dengan daya output berkisar antara 5–6 Watt dalam prototipe yang diuji, sistem ini cukup untuk memenuhi kebutuhan dasar seperti penerangan, pengisian daya alat komunikasi, serta sistem monitoring mandiri. Dari sisi Teknik Elektro, pemanfaatan mesin Stirling juga memberi ruang integrasi dengan teknologi kontrol daya dan monitoring berbasis mikrokontroler, yang meningkatkan stabilitas dan efisiensi sistem secara keseluruhan. Selain itu, dari wawancara dengan pakar, disimpulkan bahwa meskipun terdapat tantangan seperti efisiensi rendah dan pengendalian panas, teknologi ini layak dikembangkan karena fleksibel, aplikatif, dan hemat biaya dalam jangka panjang. Secara umum, penelitian ini membuktikan bahwa mesin Stirling dapat menjadi solusi energi alternatif yang inovatif, terjangkau, dan berkelanjutan, serta mendorong diversifikasi sumber energi menuju pencapaian target energi bersih dan net-zero emission di masa depan.

References

- [1] Andayani, D. S., Ayub, S., & Susilawati, S. (2023). Pengembangan Mesin Stirling Tipe Gamma Sederhana Sebagai Alat Praktikum Termodinamika Kelas XI. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 8(1b), 872-879. <https://doi.org/10.29303/jipp.v8i1b.1211>
- [2] Fahmi, M. N., Realita, A., Suaebah, E., Prastowo, T., & Sya'roni, I. (2023). Pelatihan Pembuatan Alat Peraga Termofisika Dan Pemodelan Percobaan Stirling Bagi Guru-Guru Fisika SMA. *Journal of Dedication in Community*, 1(2), 23-28. <https://doi.org/10.26740/jodic.v1n2.p23-28>
- [3] Hadi, H. S., Aldyansyah, M. R., Fitriyanah, D. N., Abdurrakhman, A., Sampurno, B., Rafiu, B., & Wildaan, B. S. (2023). Electricity Generating System by Using Stirling Engine integrated with Internet of Things (IoT). In *2023 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation (ICAMIMIA)* (pp. 250-254). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICAMIMIA60881.2023.10427576>
- [4] Hakim, I. I., & Putra, H. B. R. (2023). Performance of solar dish stirling engine for remote area needs. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 18(1), 52-59. <https://doi.org/10.36289/jtmi.v18i1.427>
- [5] Hasibuan, A., Siregar, W. V., & Sayuti, M. (2023). Pemanfaatan Energi Angin Untuk Pembangkit Energi Listrik Di Daerah Kepulauan Menggunakan Kincir Angin Skala Kecil. *Feniks Muda Sejahtera*.
- [6] Helida, Y., Ching, C. P., & Oyewo, A. (2023). Development of a simple stirling engine demonstration tool on the subject of thermodynamics. *Journal of Educational Technology and Learning Creativity*, 1(2), 59-67. <https://doi.org/10.37251/jetlc.v1i2.790>
- [7] Hidayat, M. A., Al Ridho, F. F., Jufrizal, J., Supriatno, S., & Nurdiana, N. (2023). Manufaktur dan Pengujian Burner LPG untuk Pemanasan Heater Mesin Stirling MCHPSE-012021. *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 2(3), 74-82. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v2i3.82>
- [8] Kurniawan, A., Jufrizal, J., & Nurdiana, N. (2025). Proses Manufaktur Piston Displacer untuk Mesin Stirling Tipe Gamma Skala Kecil. *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 4(1), 1-7. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v4i1.176>

- [9] Kurniawan, E., Jufrizal, J., & Nurdiana, N. (2024). Manufaktur Heater Menggunakan Bahan Pipa Steam untuk Mesin Stirling Tipe Gamma Skala Kecil. *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 3(3), 23-30. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i3.155>
- [10] Lubis, R., Jufrizal, J., Supriatno, S., & Nurdiana, N. (2024). Analisis Efisiensi Thermal dan Konsumsi Bahan Bakar pada Burner Kompor SNI sebagai Dasar Acuan Perencanaan Burner Mesin Stirling. *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 3(2), 1-7. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i2.96>
- [11] Prasetio, I., Jufrizal, J., & Supriatno, S. (2024). Pengujian Kinerja Cooling Water untuk Mesin Stirling tipe Gamma Skala Kecil. *IRA Jurnal Teknik Mesin dan Aplikasinya (IRAJTMA)*, 3(3), 10-16. <https://doi.org/10.56862/irajtma.v3i3.146>
- [12] Rahmat, R., Sumardiyanto, H., Laksana, R. N., Natawibawa, M., Anggara, D., & Munawar, K. (2024). Rancang Bangun Mesin Stirling Tipe Gamma Menggunakan Metode Vdi 2221. *Jurnal Ekselenta-Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik*, 1(1), 14-22. <https://ojs.sains.ac.id/index.php/ekselenta/article/view/11/17> di akses pada 8 Juni 2024.
- [13] Rosyadi, I., Sudrajad, A., Satria, D., Utomo, S. M., & Mulyana, A. (2023). The Effect Of Temperature And Weight Of Flywheel On Performance Of Stirling Engine Gamma Type. *Timer: Trends in Mechanical Engineering Research*, 1(1), 7-13. <http://dx.doi.org/10.62870/timer.v1i1.20456>
- [14] Siregar, Z. H., Refiza, R., & Rambe, F. N. (2023). Uji variabilitas suhu flux pendingin terhadap kinerja mesin stirling. *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, 9(2), 37-49. <https://doi.org/10.35308/jmkn.v9i2.8404>
- [15] Siregar, Z. H., Siregar, M. Z., Maulana, A., Refiza, R., & Simanullang, I. P. (2023). Variasi pelumas pada torak displacer terhadap kinerja mesin Stirling. *Jurnal Mekanova: Mekanikal, Inovasi dan Teknologi*, 9(1), 140-151. <https://doi.org/10.35308/jmkn.v9i1.7471>
- [16] Siregar, Z. H., Siregar, R., Rigitta, P., Puspita, R., Zurairah, M., Purba, I. G., & Tanjung, J. H. S. (2024). Pengembangan aliran sungai sebagai potensi Pembangkit Listrik Mikro Hidro serta edukasi dan akulturasi di Desa Meranti Tengah Dusun Batu Rangin Kecamatan Pintu Pohan Meranti Kabupaten Tobasa. *Jurnal Derma Pengabdian Dosen Perguruan Tinggi (Jurnal DEPUTI)*, 4(1), 264-269. <https://doi.org/10.54123/deputi.v4i1.325>
- [17] Solikah, A. A., & Bramastia, B. (2024). Systematic Literature Review: Kajian Potensi dan Pemanfaatan Sumber Daya Energi Baru dan Terbarukan Di Indonesia. *Jurnal Energi Baru Dan Terbarukan*, 5(1), 27-43. <https://doi.org/10.14710/jebt.2024.21742>
- [18] Suhud, M. D., Noriyati, I. R. D., & Gunawan Nugroho, S. T. (2024). Design Of Burner System On Mini Plant Stirling Engine Based Atmega 8535 At Workshop Instrumentation. Accessed: Nov, 19. <https://repository.its.ac.id/51642/1/2411031023-Non%20Degree.pdf> di akses pada 8 Juni 2025.
- [19] Widodo, H., Mudjiono, U., Poetro, J. E., Rahmat, M. B., & Azhiim, R. A. A. T. (2025). Desain Pintu Air Otomatis Berbasis Mikrokontroler untuk Meningkatkan Efisiensi PLTMH di Desa Kalianan, Probolinggo. *Jurnal Cakrawala Maritim*, 8(1), 52-63. <https://doi.org/10.35991/jcm.v8i1.23>
- [20] Wijanarka, T., & Dewi, N. N. C. L. (2024). Peran Pemerintah Indonesia Dalam Mendorong Transisi Energi Melalui South-South And Triangular Cooperation. *Indonesian Journal of International Relations*, 8(2), 286-312. <https://doi.org/10.32787/ijir.v8i2.498>
- [21] Wonda, R. J., & Priyambodo, B. (2024). Analisis Manajemen Pembangkit Listrik Mikrohidro (PLTMH) Kabupaten Puncak Papua Tengah. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 24(1), 513-517. <http://dx.doi.org/10.33087/jiubj.v24i1.4257>