

PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA PANAS MATAHARI BERBASIS MESIN STIRLING UNTUK SKALA RUMAH TANGGA

Syafriyudin¹, A.A.P. Susastriawan², Mursid Sabdulah³, Fitono Gulo⁴

¹ Jurusan Teknik Elektro IST AKPRIND Yogyakarta

² Jurusan Teknik Mesin IST AKPRIND Yogyakarta

³ Jurusan Teknik Elektro Universitas Respati Yogyakarta

⁴ Jurusan Teknik Elektro IST AKPRIND Yogyakarta

¹dien@akprind.ac.id

ABSTRACT

Indonesia as a tropical country has a potential for development of solar energy utilization. Stirling engine, one of many solar energy conversion systems, can be applied to overcome the depletion of conventional fuel. In this research, an optimum design of concentric solar reflector and optimum heat gain by gamma type Stirling engine are studied.

The results indicate that reflector temperature is proportional to temperature of hot cylinder Stirling engine. Aluminium reflector able to reflect a solar radiation to a hot cylinder of Stirling engine well, stirling engine performance no load is obtained at temperature of 90° C, machine start rotating at the speed 180 rpm, while the engine performance test load at the temperature of 98° C machine start running at 180 rpm, maximum engine rotation speed is achieved at the temperature 86.9° with a rotary speed of 482 rpm, test engine no load achieved load testing machine rotation 238 rpm at the temperature of 162° C. and generator can produce by voltage 15,7 volt dc.

Keyword : solar, heat, engine performace

INTISARI

Indonesia sebagai negara tropis memiliki potensi untuk pengembangan pemanfaatan energi surya sebagai salah satu dari banyak sistem konversi energi surya, sistem konversi energi surya ini dapat di terapkan untuk mengatasi semakin menipisnya cadangan bahan bakar konvensional yang ada.

Dalam penelitian ini menunjukkan bahwa temperatur reflektor sebanding dengan temperatur silinder panas, reflektor aluminium dapat memantulkan panas matahari ke silinder panas dengan baik

Uji unjuk kerja mesin stirling tanpa beban diperoleh pada suhu 90 °C mesin *start running* dengan kecepatan 180 rpm sedangkan pada uji unjuk kerja mesin stirling berbeban pada suhu 98 °C mesin *start running* dengan kecepatan 180 rpm. Kecepatan putaran mesin maksimal dicapai pada suhu 86,9 °C dengan kecepatan putar mencapai 482 rpm untuk kondisi uji unjuk kerja mesin stirling tanpa beban sedangkan untuk kondisi uji unjuk kerja mesin stirling berbeban kecepatan putar mesin stirling dicapai pada suhu 162 °C dengan kecepatan putar 238 rpm, pada percobaan berbeban generator menghasilkan tegangan 15,7 volt dc

Kata kunci ; Panas Matahari, Mesin Stirling, unjuk kerja.

PENDAHULUAN.

Energi matahari sangat melimpah di muka bumi apalagi di negara tropis seperti Indonesia dimana sinar matahari memancar sepanjang tahun. Tentunya hal tersebut menjadi sumber energi yang sangat potensial untuk dikembangkan. Salah satu contoh pemanfaatan energi matahari untuk menghasilkan energi listrik adalah penggunaan *solar cell* yang sudah cukup dikenal oleh masyarakat. *Solar cell* dapat menghasilkan energi listrik namun masih dalam jumlah yang tidak terlalu besar

sehingga untuk menghasilkan energi listrik yang besar diperlukan lahan yang luas dan biaya yang cukup besar. Inovasi terbaru untuk mengkonversi energi matahari menjadi energi listrik adalah dengan memanfaatkan mesin stirling (*stirling engine*). *Stirling engine* merupakan sebuah mesin dengan sistem pembakaran eksternal yang prinsip kerjanya berdasarkan prinsip peredaran termodinamika. Banyak peneliti telah meneliti berbagai sumber energi terbarukan dan mengembangkan sistem konversi energi alternatif. Salah satu sistem konversi energi

yang cukup layak dan menjanjikan adalah energi panas matahari sebagai sumber energi mesin Stirling. Mesin Stirling adalah mesin pembakaran eksternal yang sumber panasnya terletak di luar mesin. Salah satu dari banyak sumber panas yang dapat digunakan sebagai sumber panas dalam mesin Stirling adalah sinar matahari. Cahaya matahari yang dipantulkan oleh kolektor parabolic ke permukaan luar silinder mesin stirling memanaskan udara di dalam silinder.

Mesin ini sebenarnya telah lama ditemukan namun perkembangannya saat itu kalah bersaing dengan mesin pembakaran internal. Kemudian dalam beberapa tahun terakhir ini mesin stirling kembali dilirik sebab sangat berpotensi untuk dikembangkan selain itu mesin stirling juga lebih efisien, hemat bahan bakar, ramah lingkungan serta tidak berisik. Radiasi sinar matahari dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik pada mesin stirling. Caranya adalah dengan memanfaatkan cahaya matahari yang difokuskan menggunakan pemfokus cahaya matahari yang berbentuk seperti parabola yang diberi *aluminium foil*. *Aluminium foil* tersebut dimanfaatkan untuk mengumpulkan (memantulkan) cahaya matahari pada suatu titik fokus pada mesin stirling (*heat driver*). Cahaya matahari yang dikumpulkan akan menghasilkan panas, panas tersebut yang kemudian dimanfaatkan untuk menggerakkan piston pada mesin stirling. Mesin stirling tersebut sebelumnya telah dikopel dengan poros generator dengan begitu ketika piston mesin bergerak maka poros generator juga akan bergerak sehingga menghasilkan listrik.

Penelitian lainnya pada mesin Stirling surya dengan memperhitungkan perpindahan panas yang terjadi dalam menganalisa kinerja mesin [Cinar C and Karabulut H, 2005]. Metode *finite-time thermodynamics* digunakan untuk optimalisasi kinerja dalam perancangan mesin stirling surya. Daya output maksimum ditentukan dengan menggunakan algoritma. Hasil simulasi menunjukkan bahwa daya maksimum dapat dihasilkan jika mesin memiliki efisiensi 0,363 dan suhu kolektor dipertahankan pada 560,4 K analisis kinerja dengan model termodinamika pada mesin stirling surya juga dilakukan (Chen C.L., Ho C.E., Yau H.T, 2012). Metode numerik digunakan dalam analisis mesin stirling jenis SOLO 161. Hasil penelitian menunjukkan bahwa efisiensi termal meningkat dengan meningkatnya perbedaan temperatur antara pemanas dan pendingin. Efisiensi termal juga meningkat dengan penurunan volume mesin (Asnaghi S., Ladjevardi S.M., Izadkhast P.S., Kashani A.H.,2012).

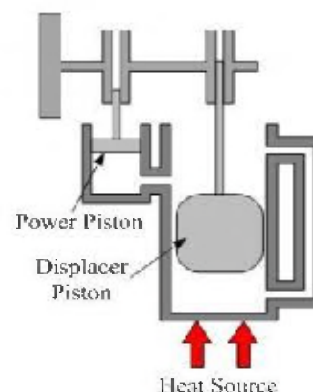
Untuk menghitung besarnya output mesin atau untuk mengevaluasi parameter operasi mesin stirling untuk keluaran daya yang diperlukan atau diberikan, rumus daya-tekanan rata-rata dapat digunakan. Metode ini memungkinkan kita untuk memulai proses desain awal dengan cepat. Untuk perbedaan temperature rendah (LTD) mesin stirling, dinyatakan bahwa output daya mesin stirling LTD dapat langsung dihitung dengan rumus daya-tekanan rata-rata dengan faktor koreksi tertentu (Kongtragool B, Wongwises S,2005).

Mesin Stirling (*Stirling Engine*)

Mesin stirling beroperasi melalui penggunaan sumber panas eksternal dan *heat sink* eksternal, masing-masing dijaga agar memiliki perbedaan temperatur yang cukup besar. Proses peredaran termodinamika dikenal dua jenis proses yaitu

- Proses *Irreversible* adalah proses termodinamik yang berlangsung secara alami seluruhnya. Proses tersebut berlangsung secara spontan dalam satu arah tapi tidak pada arah sebaliknya. Contoh kalor berpindah dari benda bersuhu tinggi ke benda bersuhu rendah.
- Proses *Reversible* adalah proses termodinamik yang dapat berlangsung secara bolak ± balik. Sebuah sistem yang mengalami idealisasi, proses reversible selalu mendekati keadaan kesetimbangan termodinamika antara sistem itu sendiri dengan lingkungannya. Proses *reversible* merupakan proses seperti keseimbangan (*quasi equilibrium process*). (Cronenberg, 2005)

Dalam penelitian ini mesin stirling yang digunakan yaitu tipe gamma, tipe gamma lebih simpel. Kedua piston berada pada silinder terpisah tetapi dihubungkan ke poros engkel yang sama sehingga ketika *displacer* bergerak piston pun akan ikut bergerak namun gerakan keduanya berlawanan arah.



Gambar 1 Mesin Stirling Tipe Gamma.

Mesin stirling tipe gamma ini juga memiliki dua buah silinder yaitu silinder suhu tinggi dan silinder suhu rendah. Silinder suhu rendah berfungsi untuk menjaga agar perbedaan suhu panas dan suhu dingin pada mesin stirling tetap. *Displacer* terletak pada silinder suhu tinggi sedangkan piston terletak pada silinder suhu rendah. Ketika *displacer* mendapat tekanan ke atas maka piston pada suhu rendah akan bergerak berlawanan arah sehingga udara dingin pada silinder suhu dingin akan mengalir ke silinder suhu tinggi. Dengan demikian *displacer* dan piston akan terus bergerak selama mendapat panas dari luar dan selama perbedaan suhu antara suhu panas dan suhu dingin bisa terjaga (Walker, 1983)

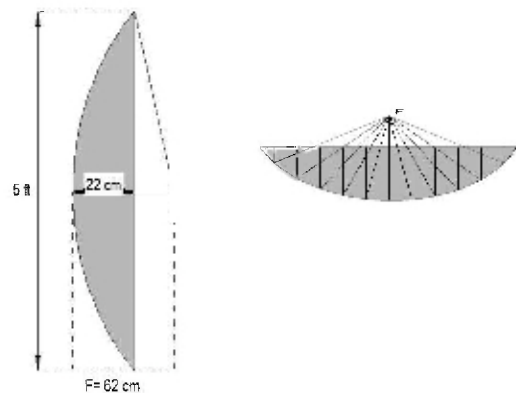
Perancangan Reflektor.

Kolektor surya merupakan sebuah alat yang digunakan untuk memanaskan fluida kerja yang mengalir kedalamnya dengan mengkonversikan energi radiasi matahari menjadi panas. Fluida yang dipanaskan berupa cairan minyak, oli dan udara. Kolektor surya plat datar mempunyai temperatur keluaran di bawah 95°C . Dalam aplikasinya kolektor plat datar digunakan untuk memanaskan udara dan air. (Goswami, 1999), Keuntungan utama dari sebuah kolektor surya plat datar yaitu memanfaatkan kedua komponen radiasi matahari yaitu melalui sorotan langsung dan sebaran, tidak memerlukan *tracking* matahari dan juga karena desainnya yang sederhana, hanya sedikit memerlukan perawatan dan biaya pembuatan yang murah. Pada umumnya kolektor jenis ini digunakan untuk memanaskan ruangan dalam rumah, pengkondisian udara dan proses-proses pemanasan dalam industri (Duffie, 1991).

Tipe kolektor surya yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *concentrating collectors* dengan jenis *point focus*. Tipe ini menggunakan kolektor surya berbentuk parabola dengan reflektor menggunakan aluminium foil. Perancangan ini meliputi perancangan fungsional dan perancangan struktural. Perancangan fungsional untuk menentukan fungsi komponen dari reflektor sedangkan perancangan struktural untuk menentukan cara *setting disc* parabola serta bentuk dan tata letak desain aluminium foil pada reflektor parabola.

Dalam perancangan fungsional ini menggunakan satu set parabola *venus* yang berukuran 5 ft yang terdiri dari 6 *disc* yang masih belum di *set* menjadi satu. Masing-masing lembaran tersebut berukuran $25,40$ cm. Pada dasarnya bagian reflektor terdiri dari

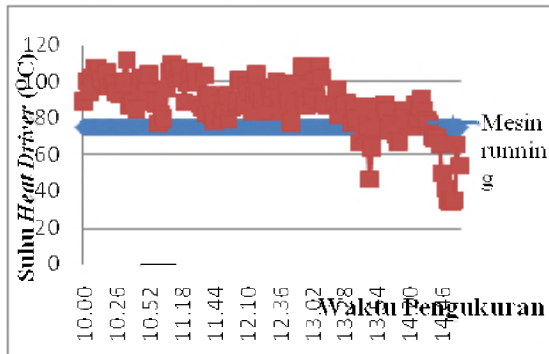
dua jenis yang memiliki fungsi berbeda yaitu parabola sebagai reflektor atau sebagai tempat refleksi radiasi cahaya matahari dan aluminium foil sebagai alat refleksi radiasi cahaya matahari.



Gambar 2. Racangan Desain Parabola

Pada perancangan struktural ini bentuk dan tata letak desain aluminium foil mengikuti bentuk parabola. Pemasangan aluminium foil pada parabola dilakukan secara per *disc* dengan pertimbangan pemasangan lebih mudah untuk dilakukan mengingat kertas aluminium foil rentan rusak jika mengenai tekanan

Pengukuran suhu *heat driver* mesin stirling per tanggal 30 Juli 2013 merupakan pengukuran terbaik selama penelitian dimana kondisi cuaca cerah sepanjang hari. Titik-titik penyebaran data sebanyak 151 titik dengan penyebaran data di atas 75°C sebanyak 130 titik atau mesin stirling *running* selama 4 jam 20 menit. Pengukuran menunjukkan suhu lingkungan $28,4^{\circ}\text{C}$ sedangkan kelembaban udara yaitu 44,9%.

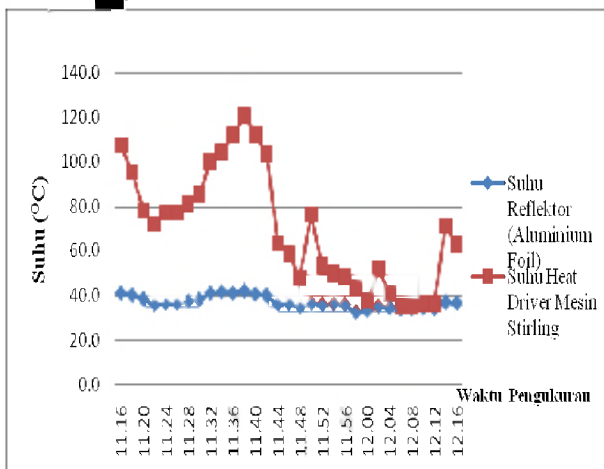


Gambar 3. Grafik pengukuran suhu pada *heat driver*

Hubungan antara suhu reflektor dengan suhu *heat driver* mesin stirling

Hubungan antara suhu reflektor dengan suhu *heat driver* mesin stirling secara lebih rinci dapat dilihat pada Tabel 5 yang ada di lampiran dengan representasi grafik berikut ini. Titik-titik data pengukuran merupakan waktu pengambilan data dari jam 11.16 - 12.16 dengan rentang waktu tiap 2 menit sekali sehingga jumlah titik-titik pengukuran sebanyak 30 buah titik.

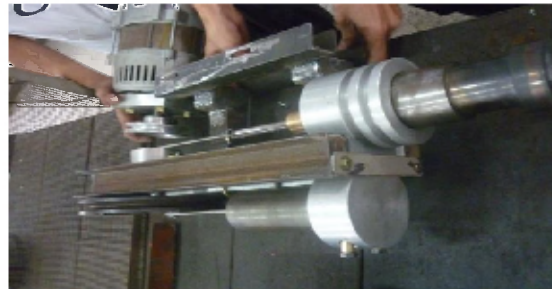
Dari grafik Gambar 5.17 di bawah titik-titik penyebaran suhu reflektor (aluminium foil) dengan suhu *heat driver* mesin stirling cenderung berbanding lurus. Aluminium foil sebagai alat refleksi radiasi cahaya matahari pada *heat driver* mesin stirling, semakin tinggi suhu aluminium foil maka suhu *heat driver* juga semakin tinggi demikian sebaliknya. Suhu rata-rata reflektor sekitar 37°C dengan suhu tertinggi mencapai 42°C (suhu *heat driver* $120,8^{\circ}\text{C}$) sedangkan suhu terendah pada $32,5^{\circ}\text{C}$ (suhu *heat driver* mesin stirling $43,5^{\circ}\text{C}$).



Gambar 4 Hubungan antara suhu reflektor dengan suhu *heat driver*

Model Mesin Stirling yang Direncanakan

Dari beberapa *literature*, mesin stirling tipe gamma banyak diterapkan untuk aplikasi dengan sumber panas matahari. Prototipe yang akan dibuat mengadopsi dari rancangan mesin stirling tipe Gamma dengan *twin power piston* (oleh Kang *et al*, 2010). Model ini memiliki daya output yang lebih besar dibanding model *single power piston* untuk kapasitas volume yang sama.



Gambar 5. Rancangan mesin stirling

Silinder *displacer* maupun silinder pistonnya dibuat dari pipa stainless steel yang ada dipasaran sedangkan *displacer* dan silindernya dibuat dari aluminium untuk meminimalkan beban serta *connecting rodnya* dari stainless

PEMBAHASAN

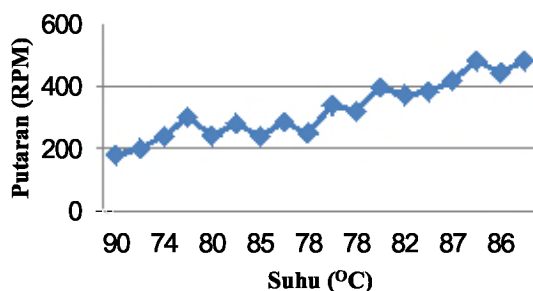
Uji Unjuk Kerja Mesin Stirling Tanpa Beban

Hasil pengujian unjuk kerja mesin stirling tanpa beban, mesin *start running* pada suhu 90°C dengan putaran mesin mencapai 180 rpm. Tabel yang diwarnai kuning yaitu kondisi dimana sumbu api dilepas, pada pengujian awal ini, mesin diberi panas melalui sumbu api selama 31 detik dan untuk selanjutnya sumbu api dilepas dan mesin masih berputar selama 4 menit. Perlakuan selama proses pengujian selanjutnya dilakukan beberapa kali dengan acuan perlakuan selama proses pengambilan data diabaikan. Kecepatan mesin maksimal dicapai pada suhu $86,9^{\circ}\text{C}$ dengan kecepatan putar mencapai 482 rpm pada saat sumbu api dilepas.



Gambar 5 Percobaan mesin tanpa beban

Unjuk Kerja Mesin Stirling Tanpa Beban



Gambar 6 Grafik uji kerja stirling tanpa beban

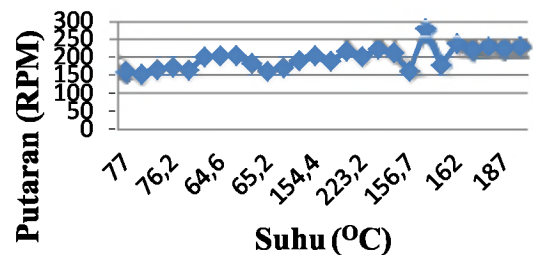
Uji Unjuk Kerja Mesin Stirling Berbeban.

Hasil pengujian unjuk kerja mesin stirling berbeban, mesin *start running* pada suhu 98 °C dengan putaran mesin mencapai 180 rpm. Tabel yang diwarnai kuning yaitu kondisi dimana sumbu api dilepas, pada pengujian awal unjuk kerja mesin stirling berbeban sumbu api tidak pernah dilepas artinya sumber panas tetap pada *heat driver* mesin stirling, pada pemanasan awal ini dilakukan pemanasan selama 2 menit untuk stabilitas panas pada *heat driver*. Perlakuan selama proses pengujian selanjutnya dilakukan beberapa kali dengan acuan perlakuan selama proses pengambilan data diabaikan. Kecepatan mesin maksimal dicapai pada suhu 166,6 °C dengan kecepatan putar mesin mencapai 230 rpm pada saat sumbu api dilepas.



Gambar 7 percobaan mesin berbeban

Unjuk Kerja Mesin Stirling Berbeban



Gambar 8 Grafik uji kerja stirling berbeban

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan analisa sementara maka dapat disimpulkan pembangkit listrik tenaga panas matahari berbasis mesin stirling untuk skala rumah tangga dengan konsentrator parabola menggunakan aluminium foil dimana ukuran parabola yang digunakan yaitu 5 feet dapat menjadi solusi dalam penelitian sumber alternatif energi listrik.

Kecepatan putaran mesin maksimal dicapai pada suhu 86,9 °C dengan kecepatan putar mencapai 482 rpm untuk kondisi uji unjuk kerja mesin stirling tanpa beban sedangkan untuk kondisi uji unjuk kerja mesin stirling berbeban kecepatan putar mesin stirling dicapai pada suhu 162 °C dengan kecepatan putar 238 rpm. Pada uji mesin berbeban generator dapat menghasilkan tegangan sebesar 15,7 volt dc

Untuk mencapai putaran mesin secara maksimal sangat dipengaruhi oleh kondisi panas pantulan radiasi cahaya matahari pada *heat driver* mesin stirling serta lama waktu *heat driver* memperoleh panas pantulan maksimal sehingga ada kondisi dimana *engine* mengalami kondisi *on* dan *off* melakukan kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- Asnaghi S., Ladjevardi S.M., Izadkhast P.S., Kashani A.H., 2012 *Thermodynamics Performance Analysis of Solar Stirling Engine*, ISRN Renewable Energy, icl ID 321923
-]Cinar C and Karabulut H, 2005 *Manufacturing and Testing of Gamma Type Stirling Engine*, Renewable Energy, 30, 57-66

- Cronenberg G, 2005. *Stirling Engines*. Uppsala University, Sweden
- Craig. 2010. *Stirling Engines: Design, Construction and Operation*. Mean Energy Press ISBN 0615388353, United States of America
- Chen C.L., Ho C.E., Yau H.T., 2012., *Performance Analysis and Optimization of a Solar Power Stirling Engine With Heat Transfer Considerations*, *Energies* 5, 3573-3585
- Kang S.W., Kuo M.Y., Chen J.Y., Lu W.A., 2010., *Fabrication and Test of Gamma Type Stirling Engine*, International Conference on Energy and Sustainable Development, June 2-4, Thailand.
- Hétragool B, Wongwises S, 2003. *A review of Solar-Powered Stirling Engines and Low Temperature Differential Stirling Engine*, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 7 (2003) p.131-154
- Kwankaomeng S. and Burapatthananon K., 2010 *Development of Gamma Type Stirling Engine with Double Power Piston*, The International Conference of the Thai Society of Agricultural Engineering, April 4-5, Chiangmai, Thailand.
- Kang S.W., Kuo M.Y., Chen J.Y., Lu W.A., 2010. *Fabrication and Test of Gamma-Type Stirling Engine*, International Conferences on Energy and Sustainable Development, 2010, Thailand
- Clarendon Press *Stirling³ Engine*