

PEMANFAATAN LENS FRESNEL SEBAGAI KOLEKTOR PANAS SURYA DENGAN MENGGUNAKAN MESIN STIRLING

UTILIZATION OF FRESNEL LENS AS SOLAR THERMAL COLLECTOR USING STIRLING ENGINE

Ahmad Zikri¹, Zurohaina¹, dan Dea Anggraeni¹

¹Jurusan Teknik Kimia Program Studi Sarjana Terapan Teknik Energi,
Politeknik Negeri Sriwijaya, Jalan Srijaya Negara Bukit Besar Palembang
E-mail :zikri90@gmail.com, deaanggraeni_9345@yahoo.com

Abstrak

Mesin stirling energi surya ini merupakan salah satu alternatif untuk digunakan sebagai pembangkit listrik. Energi surya ini nantinya akan terkonsentrasi dan disimpan didalam aki/baterai dengan sumber panas yang difokuskan ke mesin stirling dengan lensa fresnel. Dikarenakan energi surya yang tidak kontinyu maka supaya dapat membangkitkan listrik secara kontinyu maka digunakan fluida penyimpan panas dilengkapi dengan bahan isolator. Fluida penyimpan panas ini dapat menyimpan panas dalam waktu yang cukup lama sehingga mesin stirling dapat berjalan ketika matahari dalam keadaan penyinaran yang tidak stabil. Fluida yang dipakai pada penelitian ini yaitu *paraffin liquid*, *lubricant oil* dan minyak wijen. Kemampuan fluida penyimpan panas dalam menyimpan panas ini akan berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan padamesin stirling. Dari kondisi tersebut, maka peneliti memanfaatkan tenaga matahari menggunakan lensa fresnel berbasis mesin stirling dengan menggunakan berbagai macam isolator. Selama pengujian ini dengan menetapkan temperatur fluida penyimpan panas dapat mengetahui daya yang dihasilkan dari mesin stirling. Penggunaan isolator dengan nilai konduktivitas termal (k) masing-masing bahan uji berupa *glasswool*, *Styrofoam* dan *polyurethane foam* sebesar 0.062 W/m°C, 0.038 W/m°C dan 0.033 W/m°C. Hasil pengamatan menunjukkan penurunan temperatur dari 200°C hingga 160°C menggunakan *glasswool* dapat menahan lebih lama yaitu selama 8,2 menit dan *styrofoam* dan *polyurethane foam* dapat menahan penurunan temperatur selama 7 menit. Daya yang dihasilkan dengan menggunakan isolator rata-rata 8 Watt.

Kata Kunci :Mesin Stirling, Lensa Fresnel, Fluida Penyimpan Panas, Isolator Termal

Abstract

This solar energy stirling engine is one of the alternatives to be used as a power plant. This solar energy will beconcentrated and stored in the battery / battery with a heat source that is focused on the stirling engine with fresnel lens. Due to the non-continuous solar energy in order to generate electricity continuously, the thermal storage fluid is used and completed by isolator materials. This Thermal storage fluid can store heat for a long enough time so that the stirling machine can run when the sun is in an unstable state of irradiation. Fluid used in this research are paraffin liquid, lubricant oil and sesame oil. The ability of the thermal storage fluid to store heat will affect the power generated on the stirling engine. From these conditions, the researchers utilizing solar energy using a fresnel lens-based stirling engine using various isolator. During this test by determining the temperature of the thermal storage fluid can know the power generated from the stirling machine. The use of insulators with thermal conductivity values (k) of each test material were glasswool, styrofoam, polyurethane foam, and aluminum foil, is consecutively 0.038 W/m°C, 0.033 W/m°C, 11.6 W/m°C, 0.062 W/m°C. The observation results show that temperature drop from 200°C to 160°C using glasswool can hold longer for 8.2 minutes and styrofoam and polyurethane foam can withstand temperature dropping for 7 minutes. The avarages power generated using an insulator is 8 Watt.

Keywords: Stirling Engine, Fresnel Lens, Thermal Storage Fluid, Rate, Thermal Isolator

PENDAHULUAN

Salah satu alternatif energi yang dapat dimanfaatkan adalah energi panas matahari. Indonesia memiliki potensi besar dalam menggunakan energi matahari dikarenakan Indonesia terletak di garis katulistiwa dengan intensitas radiasi matahari rata-rata sekitar 4,8 kWh/m² per hari di seluruh wilayahnya. Selain itu juga Indonesia mempunyai cuaca kondisi cerah pertahun (*sunshine hours annually*) adalah sekitar 2975 jam atau 124 hari untuk rata-rata lamanya penyinaran sekitar 8,2 jam per hari. (KESDM, 2010). Sedangkan untuk daerah Palembang menurut DNI Solar map, Palembang memiliki intensitas radiasi sebesar 900-1050 Wh/m².

Pemanfaatan energi surya ini belum digunakan secara optimal. Panas dari matahari biasanya hanya digunakan untuk menjemur pakaian dan mengeringkan ikan. Oleh karena itu untuk memanfaatkan energi surya ini salah satunya diterapkan pada mesin stirling. Mesin stirling energi surya akan digunakan sebagai pembangkit listrik.

Dikarenakan energi surya yang tidak kontinyu maka supaya dapat membangkitkan listrik secara kontinyu maka digunakan fluida penyimpan panas. Dalam prosesnya energi surya akan terkonsentrasi dan disimpan didalam aki dengan sumber panas yang difokuskan ke mesin stirling dengan lensa fresnel. Titik fokus dari lensa fresnel akan mengenai *thermal storage*. Fluida penyimpan panas ini dapat menyimpan panas dalam waktu yang cukup lama sehingga mesin stirling dapat berjalan ketika matahari dalam keadaan penyinaran yang tidak stabil (Goswami dan Kreith, 1999). Mesin stirling ini dihubungkan dengan alat pembangkit listrik seperti generator yang akan membangkitkan listrik. Energi matahari menggunakan lensa fresnel dan mesin stirling ini diharapkan mampu menjadi pembangkit listrik yang ramah lingkungan. Untuk meningkatkan efisiensi *thermal storage* dapat dilakukan dengan menggunakan isolator pada *thermal storage* untuk meningkatkan resistansi thermal-nya.

Energi yang disuplai oleh lensa fresnel melalui fluida penyimpan panas akan berpengaruh terhadap kerja yang dihasilkan pada mesin stirling. (Buddhi S.Dharma, 2010). Dari kondisi tersebut, maka peneliti berencana untuk memanfaatkan tenaga matahari menggunakan lensa fresnel berbasis mesin stirling, Dengan meningkatkan resistansi thermal pada *thermal storage* diharapkan dapat menghasilkan kinerja yang semakin baik pada mesin stirling yang digunakan untuk pemanfaatan lensa Fresnel sebagai kolektor termal untuk menghasilkan listrik.

Distribusi Cahaya Matahari

Intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi bergantung pada jarak antara matahari dengan bumi. Tiap tahun, jarak ini bervariasi antara 1,47 x 10⁸ km dan 1,52 x 10⁸ km dan hasilnya besar pancaran E₀

naik turun antara 1325 W/m² sampai 1412 W/m². Nilai rata-ratanya disebut sebagai konstanta matahari dengan nilai E₀ = 1367 W/m².

Atmosfer bumi mengurangi *insolation* yang melewati pemantulan, penyerapan (oleh ozon, uap air, oksigen, dan karbon dioksida), serta penyebaran (disebabkan oleh molekul udara, partikel debu atau polusi). Di cuaca yang bagus pada siang hari, pancaran bisa mencapai 1000 W/m² di permukaan bumi. *Insolation* terbesar terjadi pada sebagian hari-hari yang berawan dan cerah. Sebagai hasil dari pancaran matahari yang memantul melewati awan, maka *insolation* dapat mencapai hingga 1400 W/m² untuk jangka pendek (Darmanto, 2011).

Potensi Energi Surya

Energi surya merupakan energi yang potensial dikembangkan di Indonesia, mengingat Indonesia merupakan negara yang terletak di daerah khatulistiwa. Energi surya yang dapat dibangkitkan untuk seluruh daratan Indonesia yang mempunyai luas 2 juta km² rata-rata sebesar 5,10 mW atau 4,8 kWh/m²/hari. Oleh karena itu energi surya memiliki keunggulan-keunggulan dibandingkan dengan energi fosil, diantaranya:

- Sumber energi yang mudah didapatkan.
- Ramah lingkungan.
- Sesuai untuk berbagai macam kondisi geografis.
- Instalasi, pengoperasian dan perawatan mudah.

Listrik dari energi surya dapat disimpan dalam baterai, dipakai langsung atau disambungkan ke grid.

Tabel 1. Potensi Energi Surya

Kelas	Iradiasi surya perhari (kWh/m ²)	Kapasitas Pembangkit (kW)
Skala Kecil	3,0 - 4,0	1 - 25
Skala Menengah	4,0 - 6,0	25 - 1000
Skala Besar	> 6,0	> 1000

(Sumber; NREL, 2014)

Lensa Fresnel

Lensa Fresnel adalah sebuah lensa yang dikembangkan oleh seorang fisikawan berkebangsaan Perancis, Augustin Jean Fresnel untuk aplikasi pada mercusuar. Konstruksi lensa didesain dengan panjang fokus yang pendek, jarak fokus tak terhingga dan tebal lensa yang sangat tipis jika dibandingkan dengan lensa konvensional, agar dapat melewatkan lebih banyak cahaya sehingga lampu mercusuar dapat terlihat dari jarak yang lebih jauh.

Lensa Fresnel yang pertama digunakan pada tahun 1823 pada mercusuar Cordouan di tanjung muara Gironde, sinar cahaya yang dipancarkan mampu terlihat dari jarak 20 mil (32 km). Seorang

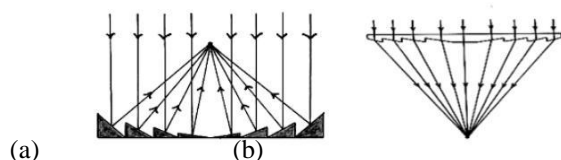
fisikawan Skotlandia, Sir David Brewster, memperkenalkan lensa ini untuk digunakan pada seluruh mercusuar di daratan Inggris.

Lensa atau sering disebut kanta adalah sebuah alat untuk mengumpulkan atau menyebarkan cahaya, biasanya dibentuk dari sepotong gelas yang dibentuk. Alat sejenis digunakan dengan jenis lain dari radiasi elektromagnetik juga disebut lensa, misalnya, sebuah lensa gelombang mikro dapat dibuat dari "paraffin wax".

Lensa Fresnel terbagi menjadi 6 kategori berdasarkan panjang fokusnya. Kategori yang pertama merupakan lensa yang terbesar dengan panjang fokus 920 mm (36 inci). Kategori yang terakhir dengan lensa terkecil mempunyai panjang fokus 150 mm (5,9 inci). Pengembangan lensa Fresnel lebih lanjut menambahkan dua kategori lensa yang baru yaitu lensa Fresnel mesoradial dan hyper radial. Pemanfaatan energi termal surya dengan konsentrator lensa fresnel untuk aplikasi *stirling engine*.

Tipe lensa fresnel

Menurut Menghani, *et.al* (2012), ada dua tipe fresnel yaitu lensa bias (*refractive lens*) dan cermin pantul (*reflective mirrors*). Lensa fresnel bias sebagian besar digunakan dalam aplikasi fotovoltaik sedangkan cermin reflektif banyak diaplikasikan dalam *solar thermal power*. Disain optikal lensa fresnel lebih fleksibel dan menghasilkan kerapatan fluks yang seragam pada *absorber*. Gbr 2. menunjukkan gambar skematik dari tipe fresnel



Gambar 1.(a) *Reflective Mirror Fresnel*, (b) *Refractive Lens Fresnel*

(Sumber: Menghani, *et al*, 2012)

Fresnel juga diklasifikasi menjadi *imaging lens* (3D-lens) dan *non-imaging lens* (2D-lens). Perbedaan dari kedua tipe ini adalah bentuk bidang fokusnya. Lensa *imaging* berupa fokus titik (*focal point*) sedangkan tipe *non-imaging* berupa garis (*line/linear focus*) di sepanjang sumbu dari *reflektor cylindrical parabolic*.

Mesin Stirling

Penemu dari mesin stirling adalah Robert Stirling pada tahun 1709 beliau adalah *preacher* (pendeta) dan penemu. Beliau juga merupakan menteri gereja negara Skotlandia pada saat itu yang tertarik pada kesehatan fisik dan keselamatan dari jemaah gerejanya dalam rangka untuk kebaikan jiwanya.

Beliau menemukan mesin stirling (yang beliau sebut "*air engine*") karena mesin uap pada masa itu seringkali meledak, membunuh dan melukai orang-orang yang berada didekat mesin uap tersebut pada saat meledak. Mesin yang dibuat Robert Stirling lebih aman dengan alasan tidak akan meledak, dan mesin-mesin tersebut memproduksi daya yang lebih besar daripada mesin uap pada saat itu. Pada tahun 1816, stirling menerima hak paten pertama dari tipe baru "*air engine*" mesin yang ia bangun, dan mesin-mesin selanjutnya yang mengikuti, pada saat ini menjadi dikenal sebagai "*hot air engine*". Mesin-mesin tersebut terus disebut sebagai "*hot air engine*" sampai tahun 1940-an, ketika gas lain seperti helium dan hydrogen digunakan sebagai fluida kerja. Saudara laki-laki dari Robert, James Stirling, juga mempunyai peran penting dalam pengembangan dari mesin stirling/ *Stirling Engine*.

Mesin Stirling tenaga surya

Sebagaimana yang terlihat pada gambar di bawah ini, mesin Stirling Tenaga Surya (*Free-Piston Alternator Engine*) menggunakan tenaga surya sebagai pembangkit energi / "bahan bakarnya". Sebagaimana telah disebutkan di atas, prinsip kerjanya adalah berdasarkan prinsip peredaran termodinamika (motor udara panas). Jadi pada mesin Stirling, gas hanya disusutkan dan kemudian dikembangkan dengan pemanasan dari luar. Sebagaimana kita ketahui, tenaga surya adalah termasuk salah satu sumber daya terbarukan (tidak pernah habis, sampai bermilyar-milyar tahun ke depan) yang paling ekonomis dan mudah didapatkan, gratis lagi. Dan hal ini merupakan nilai lebih dari mesin Stirling tenaga surya, ekonomis dan mudah pengoperasiannya. Mesin Stirling tenaga surya adalah termasuk salah satu dari jenis mesin hemat energi.

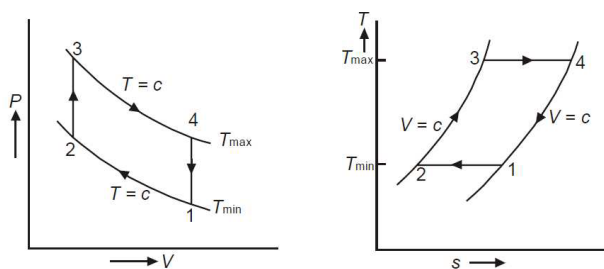
Mungkin yang agak mengganggu (dari segi konstruksi dan biaya) adalah sistem parabola sebagai reflektor sinar surya yang terfokus ke mesin stirling, yang terkopel dengan suatu generator listrik (selanjutnya kita sebut generator Stirling). Yang lazim kita ketahui adalah, piringan reflektor sinar pada parabola biasanya dibuat dari bahan yang memantulkan sinar seperti kaca, ataupun pelat logam

dengan permukaan mengkilat. Untuk ukuran parabola yang kecil, tentunya tidak banyak masalah yang timbul, dan mungkin masih bisa ditekan biaya pembuatannya. Namun bagaimana bila diperlukan suatu ukuran yang lebih besar, katakan lebih dari 2-3 meter? Sudah pasti akan menelan biaya produksi yang lebih mahal dan tidak ekonomis.

Ternyata seorang ilmuwan dari Jerman Barat, Prof. dr. Hans Kleinwachter (direktur Bomin Solar GmbH di Lorrach) menemukan ide membuat reflektor sinar surya yang tidak berat, tahan terhadap angin dan perubahan cuaca (hujan dsb). Diadengan tim yang terdiri atas beberapa insinyur dan konstruktor membuat reflektor ringan dari lembaran semacam plastik yang dilapisi dengan logam, yang ringan dan mampu memantulkan 80% sinar surya yang datang. Untuk melindungi dari terpaan hujan dan angin, ia membuat sebuah kubah tembus pandang yang bias melewati sinar. Dari 100% sinar surya yang datang, setidaknya 72% akan sampai ke titik baker reflector

Prinsip Kerja

Prinsip Kerja Mesin Stirling adalah mesin kalor yang unik karena efisiensi teoretisnya mendekati efisiensi teoretis maksimum, yang lebih dikenal dengan efisiensi mesin Carnot. Mesin Stirling digerakkan ekspansi gas ketika dipanaskan dan diikuti kompresi gas ketika didinginkan. Mesin itu berisi sejumlah gas yang dipindahkan antara sisi dingin dan panas terus-menerus. Piston displacer memindahkan gas antara dua sisi dan piston power mengubah volume internal karena ekspansi dan kontraksi gas.



Gambar 2. Grafik PV dan TS siklus Mesin Stirling

(sumber: Vineeth, 2011)

Siklus mesin Stirling di atas terdiri atas empat tahap termodinamika, antara lain:

1. Titik 1 – 2, Isotermal Kompresi
Udara dikompresi secara isotermal di dalam tabung dari V_1 ke V_2 . Bersamaan dengan kalor dibuang oleh udara.
2. Titik 2 – 3, Transfer Isokhorik 1

Udara dipanaskan pada volume konstan ke temperatur T_3 dengan melewati udara ke regenerator dalam arah yang berlawanan dengan proses 4-1. Pada proses ini kalor diserap oleh udara dari regenerator.

3. Titik 3 – 4, Isotermal Ekspansi
Udara berekspansi secara isotermal, pada temperatur konstan T_1 dari v_1 ke v_2 . Kalor yang diberikan sumber eksternal diserap selama proses.
4. Titik 4 – 1, Transfer Isokhorik 2
Udara lewat melalui regenerator dan didinginkan pada volume konstan ke temperatur T_3 . Pada proses ini kalor dibuang ke generator.

Fluida Penyimpan Panas

Cairan penransfer panas membawa panas dari kolektor surya ke tangki penyimpanan air panas pada sistem pemanas air tenaga surya. Ketika memilih cairan penransfer panas, kriteria yang harus dipertimbangkan sebagai berikut:

- Koefisien ekspansi - perubahan fraksional panjang bahan (atau kadang-kadang dalam volume) tiap suatu unit perubahan suhu.
- Viskositas - merupakan ukuran kekentalan fluida yang menyatakan besar kecilnya gesekan di dalam fluida.
- Kapasitas termal - kemampuan materi untuk menyimpan panas.
- Titik beku - suhu dimana cairan berubah menjadi padat.
- Titik didih - suhu dimana cairan mendidih.
- Titik nyala - suhu terendah dari suatu larutan dimana akan timbul penyalaan api sesaat, apabila pada permukaan larutan tersebut didekatkan pada nyala api.

Misalnya, dalam iklim dingin, sistem pemanas air tenaga surya membutuhkan cairan dengan titik beku yang rendah. Cairan pada suhu tinggi, seperti pada iklim gurun, harus memiliki titik didih tinggi. Viskositas dan kapasitas termal menentukan jumlah energi yang dibutuhkan untuk memompa cairan. Cairan dengan viskositas rendah dan panas spesifik yang tinggi lebih mudah untuk dipompa, karena mendapat lebih sedikit hambatan saat mengalir dan mentransfer lebih banyak panas. Sifat-sifat lain yang akan membantu menentukan efektivitas cairan adalah sifat korosif dan stabilitasnya.

Bahan Insulator Penyimpan Energi Panas

Insulator adalah materi yang dapat mencegah penghantaran panas, ataupun muatan listrik. Lawan dari insulator, adalah konduktor, yaitu materi yang dapat menghantar panas ataupun muatan listrik dengan baik. Adapun contoh-contoh bahan insulator

adalah bahan-bahan non logam, seperti plastik, ebonit, kertas, tubuh manusia, air, tanah.

1. *Glasswool*

Glasswool adalah material insulasi yang terbuat dari serat fiberglass yang melalui proses tertentu sehingga bertekstur seperti wol/ bulu domba. *Glasswool* masih banyak digunakan karena merupakan insulasi/peredam panas dan suara yang sangat baik. Produk ini mudah digunakan dan elastis sehingga mudah dipasang sesuai kebutuhan. *Glasswool* banyak digunakan sebagai lapisan di bawah pabrik, gudang, rumah, perkantoran, kedap suara studio musik. *Glasswool* memiliki konduktivitas $0.062 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

2. *Polyurethane Foam*

Polyurethane Foam adalah campuran dua komponen bahan kimia komponen A (Polyol) dan Komponen B (Isocyanate) yang diaduk (mixing) secara bersama-sama, sehingga terjadi reaksi kimia (curing) dan membentuk foam. *Polyurethane Foam* memiliki fungsi sebagai bahan isolasi temperatur (*thermal resistance*) dan juga memiliki kelebihan sebagai bahan penyerap suara, ringan serta rigid sebagai bahan konstruksi. *Polyurethane foam* memiliki konduktivitas sebesar $0,033 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

3. *Styrofoam*

Polystyrene foam adalah sebuah zat dengan monomer, sebuah hidrokarbon cair yang dibuat secara komersial dari minyak bumi. *Styrofoam* memiliki konfigurasi sel tertutup yang memungkinkan untuk memperoleh nilai resistansi (R) yang tinggi sebagai ukuran untuk isolasi. Nilai R menentukan kapasitas elemen untuk melawan panas. Semakin tinggi nilai R, semakin baik kemampuan bahan untuk melawan panas. Sementara karakteristik yang paling penting dari busa polystyrene yang banyak digunakan untuk insulasi konstruksi adalah berbobot ringan dan tahan air. *Styrofoam* struktur isolasi berarti bahwa hampir tidak ada ruang kosong antara sel-sel. Ini berarti bahwa produk kuat dan tahan air. Karena begitu tahan terhadap air, jamur tidak dapat tumbuh di permukaannya. *Styrofoam* memiliki konduktivitas sebesar $0,038 \text{ W/m}^\circ\text{C}$.

4. *Aluminium Foil*

Aluminium foil merupakan paduan aluminium yang dibuat dalam bentuk lembaran tipis. Ketebalan aluminium foil berkisar 0,2 mm dan mengandung sekitar 92% sampai 99% aluminium. Aluminium foil tersedia dalam berbagai ukuran dan karakteristik dan terutama digunakan untuk mengemas berbagai barang. Aluminium foil kadang juga dilapisi plastik sehingga membuatnya lebih kuat. Terdapat berbagai penggunaan aluminium foil seperti untuk bahan insulasi panas, pelindung, dan lain-lain.

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 3. Peralatan Mesin Stirling

Lensa fresnel merupakan suatu alat seperti kaca pembesar yang fungsinya untuk memfokuskan sinar matahari ke mesin stirling. Mesin stirling adalah mesin yang berfungsi mengkonversi energi panas yang dihasilkan dari energi termal surya menjadi energi mekanik gerakan piston dan menjadi gerak putar pada rotor yang dihubungkan dengan generator. Terdapat beberapa komponen lain pada mesin stirling, yaitu *Hot Side* dan *Cold Side*. Piston yaitu penukar panas yang digunakan untuk mencapai hal ini yaitu perangkat yang membantu dalam pertukaran panas dari satu medium ke medium lainnya. Piston adalah anggota geser yang dapat bergerak dari satu ujung ekstrim dari silinder ke ujung ekstrim yang lain, biasa disebut sebagai pusat mati. Displacer adalah bagian dari mesin stirling yang bergeser geser menyerupai piston, tapi displacer silindernya jauh lebih besar. Hal ini memungkinkan fluida kerja mengalir dengan mudah melalui ruang. *Flywheel* merupakan Sebuah roda yang dipergunakan untuk meredam perubahan kecepatan putaran dengan cara memanfaatkan kelembaman putaran (moment inersia).

Generator berfungsi untuk merubah energi mekanik putaran menjadi energi listrik. Serta Aki (*battery*) berfungsi sebagai media penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh generator

Fresnel Lens harus diuji pada kondisi langit cerah dengan intensitas matahari minimal sesuai dengan yang dipersyaratkan pada standar kondisi pengujian yaitu 700 W/m^2 . (European Committee for Standardization, 2006). Dengan memasukkan fluida penyimpan panas pada wadah *borosilicate glass* yang terhubung dengan mesin stirling melalui *filling hole*. Lensa Fresnel di tempatkan di area yang terbuka dan luas sehingga tidak ada bayangan bendasekitar yang menutupi lensa. Perhatikan titik focus lensa Fresnel sehingga tepat mengenai wadah fluida penyimpan panas. Memanaskan fluida hingga mencapai suhu tertentu hingga proses perpindahan panas menuju *hot*

side mesin stirling benar-benar baik. Kemudian memberikan dorongan pada *flywheel* hingga *flywheel* dapat berputar dengan stabil.

Pada pengujian Isolator *Thermal Storage*, memasang isolator (glasswool + aluminium foil) pada dinding-dinding *thermal storage* dengan 7apid an tertutup rapat. Memanaskan fluida penyimpan panas hingga temperature naik menjadi 200°C.

Pada percobaan ini dilakukan perhitungan untuk menghitung panas yang ditransfer ($Q_{transfer}$), kerja yang dihasilkan (W) dan kehilangan panas (Q_{loss}). Yang dapat dihitung menggunakan rumus :

1. Panas yang ditransfer

$$Q_{transfer} = m \times C_p \times \Delta T$$

Keterangan :

Q : kalor (J)

m : massa (Kg)

C_p : kapasitas panas (J/gr K)

ΔT : perubahan temperatur (K)

2. Kerja yang dihasilkan

$$W = I \times V \times \cos \phi$$

Keterangan :

W : Kerja mesin (watt)

I : Arus (ampere)

V : Tegangan (Volt)

$\cos \phi$: Power faktor dari motor listrik (0,8)

3. Kehilangan panas

$$Q_{konduksi} = -k \cdot A \cdot \frac{\partial T}{\partial x}$$

$$Q_{konveksi} = h \cdot A \cdot \Delta T$$

$$Q_{loss} = Q_{kond} + Q_{konv}$$

Keterangan :

Q_{kond} : Perpindahan panas secara konduksi (J)

Q_{konv} : Perpindahan panas secara konveksi (J)

k : Konduktivitas termal (W/m °C)

h : koefisien konveksi termal (W/m °C)

A : Luas Penampang (A)

ΔT : Perubahan suhu (°C)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Datayang didapat pada penelitian ini diambil secara langsung oleh peneliti dengan melakukan percobaan terhadap alat pemanfaatan lensa Fresnel sebagai kolektor panas suryadengan mesin stirling. Pada penelitian ini menggunakan berbagai macam isolator yang digunakan pada *thermal storage*, yaitu *glasswool + aluminium foil*, *Styrofoam + aluminium foil*, dan *polyurethane foam + aluminium foil*.

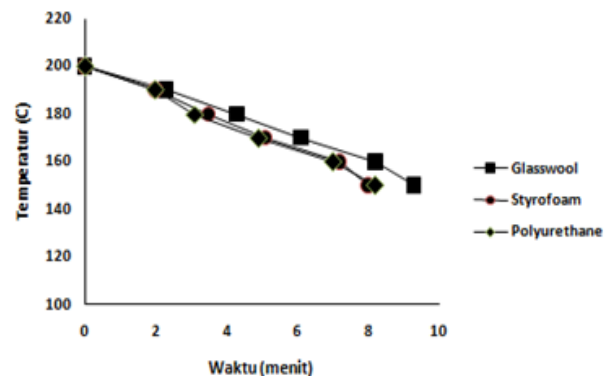
Pembahasan

Penggunaan isolator ini bertujuan sebagai resistor *thermal* fluida penyimpan panas. Beberapa pengukuran telah dilakukan untuk mengetahui daya yang dihasilkan pada mesin stirling, dan waktu tinggal fluida penyimpan panas.

Hubungan Temperatur Terhadap Waktu

Gambar dibawah ini merupakan grafik perbandingan temperature fluida penyimpan panas terhadap waktu tinggal.

Grafik Hubungan Temperatur Terhadap Waktu



Gambar 4. Grafik Hubungan Antara Temperatur Fluida Penyimpan Panas Terhadap Waktu Tinggal

Dari grafik diatas menunjukkan penurunan yang paling lama yaitu penurunan pada isolator glasswool, dengan waktu tinggal 8 menit. Hal ini menunjukkan bahwa sistansi glasswool yang paling tinggi dibanding Styrofoam dan Polyurethane foam dapat menahan panas pada *thermal storage* agar tidak lepas kelingkungan dengan baik. Hal ini disebabkan karena kapasitas panas dari masing-masing bahan. Kapasitas panas yang besar dapat menyimpan panas yang baik pada waktu yang cukup lama.

Dapat dilihat juga pada grafik bahwa semakin besar temperature maka kecepatan putaran yang dihasilkan akan semakin besar, hal ini dikarenakan semakin besar temperature maka temperatur piston pada bagian sisi panas akan meningkat, semakin tinggi temperature pada bagian panas piston akan membuat kecepatan putaran semakin meningkat. Namun, pada temperature dibawah 170 °C, kecepatan putaran mulai terhenti hal ini diakibatkan karena pada mesin stirling yang dibuat ini ketika suhu menurun dibawah 170 °C maka pergerakan dari mesin stirling akan terhenti. Terhentinya putaran ini terjadi karena energi yang diperlukan untuk menggerakkan mesin stirling tidak cukup.

Hubungan Temperatur Terhadap Panas Hilang (Q_{loss})

Berikut ini adalah tabel panas yang hilang, panas transfer dan kerja net mesin stirling dengan menggunakan fluida penyimpan panas paraffin liquid dan isolator *thermal storage glasswool*.

Tabel 2. Panas yang hilang pada Isolator *Glasswool*

No	Temp. Fluida Penyimpan Panas (°C)	Waktu Tinggal (Menit)	Q transfer (J/s)	W (J)	Q _{loss} (W)
1	200	0	186,56	3,7926	16,40
2	190	2,3	155,74	3,5755	14,84
3	180	4,3	133,33	3,4610	14,12
4	170	6,1	121,74	3,3941	13,08
5	160	8,2	110,21	3,1091	11,73

Pada percobaan menggunakan *Glasswool* didapatkan hasil yang lebih baik dalam menahan panas dari pada material isolator yang lainnya. serta panas yang hilang juga tidak begitu besar. Hal ini dikarenakan pada *Glasswool* memiliki konduktivitas termal bahan yaitu 0,062 W/m °C. *Glasswool* terbuat dari material insulasi yang terbuat dari serat fiberglass yang melalui proses tertentu sehingga bertekstur seperti wol/ bulu domba. Panas yang hilang pada *glasswool* tidak terlalu besar hal ini dikarenakan partikel-partikel penyusun ujung zat tidak mengalami pelebaran pada pori-pori serat tersebut. Jadi panas masih tetap dijaga didalamnya.

Tabel 3. Panas yang hilang pada Isolator *Styrofoam*

No	Temp. Fluida Penyimpan Panas (°C)	Waktu Tinggal (Menit)	Q transfer (J/s)	W (J)	Q _{loss} (W)
1	200	0	175,00	3,7024	17,23
2	190	2	152,10	3,5017	15,78
3	180	3,5	129,56	3,4093	13,91
4	170	5,1	120,33	3,3374	13,18
5	160	7,2	106,17	3,1057	11,94

Dari tabel dapat dilihat bahwa, panas yang ditransfer juga mengalami kehilangan pula. Dimana panas yang terkonversipada suhu 200°C memiliki kerja sebesar 3,7024 J. Dari panas yang ditransfer sebesar 175 J/s, sehingga kehilangan yang terjadi 17,23. Pada *styrofoam* memiliki konfigurasi sel tertutup memungkinkan untuk memperoleh nilai resistansi yang tinggi sebagai ukuran untuk isolasi nilai ketahanan menentukan kapasitas elemen untuk menjaga panas. Semakin besar nilai ketahanan, semakin baik kemampuan bahan untuk menjaga panas.

Tabel 4. Total Kerja yang Dihasilkan pada Isolator *Polyurethane Foam*

No	Temp. Fluida Penyimpan Panas (°C)	Waktu Tinggal (Menit)	Q transfer (J/s)	W (J)	Q _{loss} (W)
1	200	0	163,70	3,6648	17,65
2	190	2	148,25	3,4244	15,78
3	180	3,1	125,64	3,4048	14,33
4	170	4,9	117,18	3,2802	13,18
5	160	7	101,21	2,9610	12,25

Pada percobaan ini *Polyurethane Foam* dapat menghilangkan panas yang lebih besar daripada bahan isolator lainnya yang digunakan pada percobaan ini. hal ini dikarenakan *Polyurethane Foam* adalah campuran dua komponen bahan kimia komponen A (Polyol) dan Komponen B (Isocyanate) sehingga terjadi reaksi kimia (curing) dan membentuk foam. Jika disentuh panas yang berlebihan maka akan membuat pori-pori pada partikel akan membesar. Hal ini lah yang membuat *Polyurethane Foam* dapat membuat kehilangan panas yang lebih besar daripada material yang lainnya.

Menurut Seia (2009) sekarang ini, lebih dari 400 MW dihasilkan dari sistem ini yang beroperasi di Amerika Serikat, dan proyek-proyek dengan total lebih dari 8000 MW yang saat ini sedang dikembangkan. Salah satu teknologi pemanfaatan energi matahari yaitu konsentrasi tenaga matahari (*concentrated solar power*). Teknologi ini memusatkan energi atau panas matahari, menghasilkan temperatur yang cukup tinggi untuk digunakan pembangkit listrik tenaga uap.

Ferriere, A., Rodríguez, G.P. & Sobrinopernah melakukan penelitian pada tahun 2004 Namun dari penelitiannya hingga saat ini sistem ini masih terkendala pada *thermal storage* yang belum efisien untuk menjaga agar fluida penyimpan panas tetap pada keadaan yang diinginkan. Untuk meningkatkan efisiensi *thermal storage* dapat dilakukan dengan menggunakan isolator pada *thermal storage* untuk meningkatkan resistansi thermal-nya. Sedangkan penelitian yang dilakukan oleh peneliti menggunakan fluida panas yang dapat menahan panas dalam waktu yang cukup lama serta menggunakan bahan isolator supaya panas yang keluar kelingkungan tidak besar. Dimana menghasilkan energi listrik sebesar 8,75 Watt.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian variasi isolator *thermal storage* pada pemanfaatan lensa Fresnel sebagai kolektor panas dengan menggunakan mesin stirling, dapat disimpulkan bahwa, Berdasarkan hasil penelitian didapat isolator dengan *glasswool* dapat menahan panas yang hilang ke lingkungan lebih lama dibanding isolator jenis lain, dengan waktu tinggal

sebesar 8,2 menit. Semakin besar beda temperature *hot side* dan *cold side* mesin stirling, maka semakin besar pula energi listrik yang dihasilkan.

Daya paling besar yang dihasilkan yaitu 8,75 Watt. Tidak terlalu berbeda dengan jenis isolator yang lain, yaitu 8,4 Watt dan 8,54 Watt. Dikarenakan adanya isolator tidak meningkatkan temperature fluida melainkan menahan panas hilang kelingkungan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agrafiotis, C.; Roeb, M.; Konstandopoulos, A.G.; Nalbandian, L.; Zaspalis, V.T.; Sattler, C.; Stobbe, P.; Steele, A.M. (2005). *Solar water splitting for hydrogen production with monolithic reactors*. *Solar Energy* 79 (4): 409–421. doi:10.1016/j.solener.2005.02.026
- Bartolini. 2012. *Onboard Hybrid Propulsion and Sewage Treatment System Powered by a Stirling Engine Unit*. ISEC, Italy.
- Buddhi S. Dharma. 2010. *Thermal Storage Fluid pada aplikasi mesin stirling*, Bandung.
- Duffie, J.A. & Beckman W.A. (1991): *Solar Engineering of thermal processes 2nd*, Singapore, John Wiley & Sons. Inc.
- Darmanto. (2011): Tugas Akhir: *Uji Eksperimental Pengaruh Sudut Kemiringan Modul Surya 50 Watt Peak Dengan Posisi Mengikuti Pergerakan Arah Matahari*. Fakultas Teknik Jurusan Teknik Mesin Universitas Diponegoro. Semarang.
- European Committee for Standardization, “*Thermal Solar Systems and Components – Solar Collector – Part 2: Test Methods*,” British Standard, London, UK BS EN 12975-2:2006, 2006
- Ferriere, A., Rodríguez, G.P. & Sobrino, J.A., (2004): *Flux distribution delivered by a Fresnellens used for concentrating solar energy*, *Journal of Solar Energy Engineering*, 126, 1, 654-660, ISSN 0199-6231
- Goswami, D. Yogi dan Kreith, Frank. 2015. *Energy Efficiency and Renewable Energy Handbook Second Edition*. Boca Raton: CRC Press
- Honglingchen, 2014, *Design of a stirling engine for electricity generation*, Worcester Polytechnic Institute
- 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.
- Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (KESDM), (2010): *Indonesia Energy Outlook 2010*, Jakarta.
- Martini, William, R. 1983. *Stirling Engine Design Manual*. NASA Lewis Research Center. Ohio.
- Menghani, P.D, Udawant, R.R, Funde, A.A, & Dingare, S.V., *Low Pressure Steam Generation by Solar Energy With Fresnel Lens: A Review*, *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE)*, ISSN: 2278-1684, PP: 60-63, www.iosrjournals.org. 2012
- NASA, 2012, *Surface meteorology and Solar Energy Release 6.0 Methodology*, Kanada.
- NREL (*National Renewable Energy Laboratory*), 2014. *Potensi Energi Surya di Indonesia*, USA.
- Salim, Agus. 2011. *Desain dan Pengujian Model Solar Collector Menggunakan Fluida Palm Oil Untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Matahari*. LIPI: Jawa Barat.
- Seia. 2009. *Stirling Dish System Performance Prediction Model*. University of Wisconsin-Madison.
- Sengupta, Manajit Dr., Renne David, Dr.. 2010. *A Physical Method to Compute Surface Radiation from Geostationary Satellites*. 4th ISES Latin American Regional Conference XVII. Peru
- Vineeth C.S. 2011. *Stirling Engines: A Beginner Guide*. College of Engineering Thiruvananthapuram. India.