

## **BAB II**

### **LANDASAN TEORI**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka**

Mesin Stirling merupakan sebuah mesin dengan sistem pembakaran eksternal yang prinsip kerjanya berdasarkan prinsip peredaran termodinamika. Materi tentang Pembangkit tenaga surya berbasis mesin stirling ini belum banyak yang membahas dan belum benar-benar diterapkan di Indonesia.

Syafriyudin (2013) dengan judul penelitian Pembangkit Listrik Tenaga Surya berbasis Mesin Stirling Skala Rumah Tangga. Dalam penelitian ini menjelaskan pembangkit listrik solar dish stirling mampu memanfaatkan energi panas matahari untuk menunjang pasokan listrik satu rumah tangga 450VA. Syarifudin mendesain solar dish stirling berbasis rumah tangga menggunakan gamma stirling, gamma stirling mempunyai kinerja yang lebih baik dibandingkan alfa dan beta. Syarifudin mengevaluasi kinerja mesin terhadap daya listrik keluaran untuk mencukupi kebutuhan satu rumah tangga.

Fraser (2008) dengan tesis berjudul *Stirling Dish System Performance Prediction Model*. Dalam tesis ini Pasokan energi listrik pembangkit listrik berbasis mesin stirling akan berbeda sesuai kondisi wilayahnya dan hal itu dipengaruhi oleh kecepatan angin, intensitas radiasi matahari dan ketinggian pembangkit tersebut. Fraser meneliti tentang pengaruh *Intercept Factor* terhadap kinerja sistem yang lain.

Karabulut H (2009) dengan judul penelitian *Construction and Testing of a dish/Stirling solar energy unit*. Dalam penelitian ini menjelaskan pembuatan dan percobaan stirling dish untuk menambah pasokan listrik ke dalam grid atau off grid. Karabulut H merekonstruksi desain Solar Dish Stirling sesederhana mungkin agar tidak memakan biaya dan tempat. Mesin yang digunakan ialah Mesin

Gamma Stirling dan mengevaluasi kecepatan mesin untuk menghasilkan berapa banyak daya listrik yang dihasilkan.

## 2.2 Landasan Teori

### 2.2.1 Distribusi Radiasi Matahari

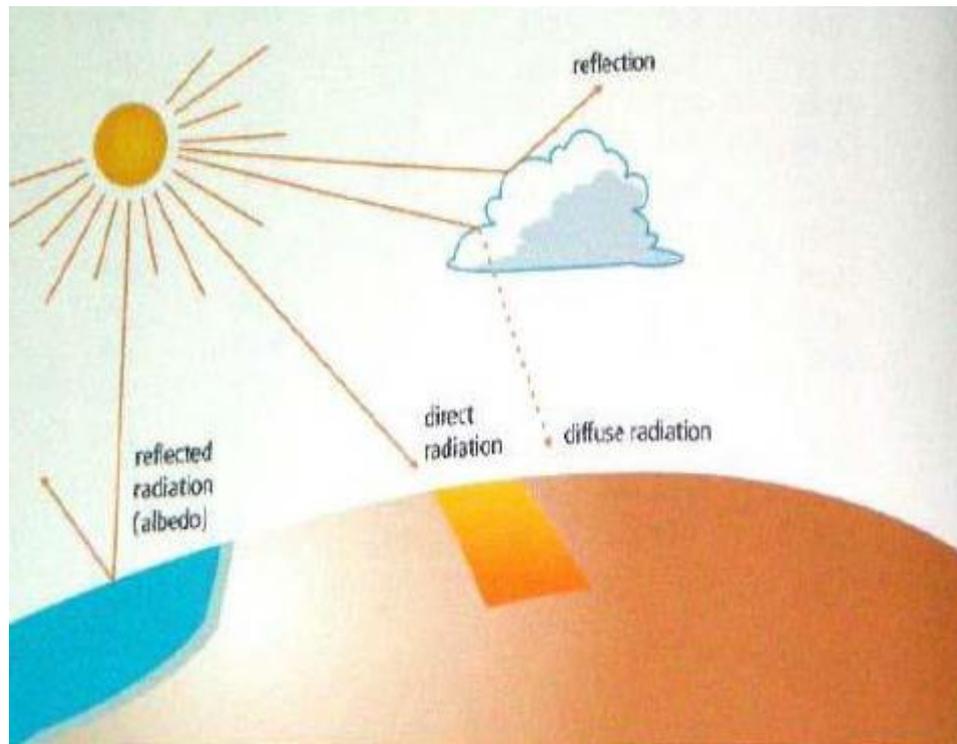
Intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi bergantung pada jarak antara matahari dengan bumi. Tiap tahun, jarak ini bervariasi antara  $1,47 \times 10^8$  km dan  $1,52 \times 10^8$  km dan hasilnya besar pancaran  $E_0$  naik turun antara  $1325 \text{ W/m}^2$  sampai  $1412 \text{ W/m}^2$ . Nilai rata-ratanya disebut sebagai konstanta matahari dengan nilai  $E_0 = 1367 \text{ W/m}^2$ .

Pancaran ini tidak dapat mencapai ke permukaan bumi. 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  $1000 \text{ W/m}^2$  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  $1400 \text{ W/m}^2$  untuk jangka pendek (Darmanto, 2011).

#### 2.2.1.1 Radiasi Matahari pada Permukaan Bumi

Ada tiga macam cara radiasi matahari sampai ke permukaan bumi, yaitu:

- Radiasi langsung (*Beam/Direct Radiation*)  
Adalah radiasi yang mencapai bumi tanpa perubahan arah atau radiasi yang diterima oleh bumi dalam arah sejajar sinar datang.
- Radiasi hambur (*Diffuse Radiation*)  
Adalah radiasi yang mengalami perubahan akibat pemantulan dan penghamburan.
- Radiasi total (*Global Radiation*)  
Adalah penjumlahan radiasi langsung (*direct radiation*) dan radiasi hambur (*diffuse radiation*).



(Sumber : Buku Panduan PNPM Energi Terbarukan, 2011)

Gambar 2.1 Radiasi Matahari pada permukaan Bumi.

Cahaya matahari pada permukaan bumi terdiri dari bagian yang langsung dan bagian yang baur. Radiasi langsung datang dari arah matahari dan memberikan bayangan yang kuat pada benda. Sebaliknya radiasi baur yang tersebar dari atas awan tidak memiliki arah yang jelas tergantung pada keadaan awan dan hari tersebut (ketinggian matahari), baik daya pancar maupun perbandingan antara radiasi langsung dan baur.

Energi matahari yang ditransmisikan mempunyai panjang gelombang dengan *range* 0,25 mikrometer sampai 3 mikrometer (untuk di luar atmosfer bumi atau *extraterrestrial*), sedangkan untuk di atmosfer bumi berkisar antara 0,32 mikrometer sampai 2,53 mikrometer. Hanya 7% energi tersebut terdiri dari ultraviolet (AM 0), 47% adalah cahaya tampak (cahaya tampak memiliki panjang gelombang 0,4 mikrometer sampai 0,75 mikrometer), 46% merupakan cahaya inframerah (Darmanto, 2011).

Beberapa hal dapat mempengaruhi pengurangan intensitas *irradiance* pada atmosfer bumi (Darmanto, 2011). Pengaruh tersebut dapat berupa:

- Pengurangan intensitas karena refleksi (pemantulan) oleh atmosfer bumi
- Pengurangan intensitas oleh karena penyerapan zat-zat di dalam atmosfer (terutama oleh O<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>O, O<sub>2</sub>, dan CO<sub>2</sub>)
- Pengurangan intensitas oleh karena *Rayleigh scattering*
- Pengurangan intensitas oleh karena *Mie scattering*

Sedangkan radiasi yang jatuh pada permukaan material pada umumnya akan mengalami refleksi, absorpsi, dan transmisi. Dari tiga proses ini maka material akan memiliki reflektivitas ( $\rho$ ), absorptivitas ( $\alpha$ ), dan transmisivitas ( $\tau$ ).

Refleksi adalah pemantulan dari sebagian radiasi tergantung pada harga indeks bias dan sudut datang radiasi. Refleksi spektakuler terjadi pantulan sinar pada sebuah cermin datar dimana sudut datang sama dengan sudut pantul. Sedangkan refleksi difusi terjadi berupa pantulan kesegala arah.

Transmisi memberikan nilai besar radiasi yang dapat diteruskan oleh suatu lapisan permukaan. Kemampuan penyerapan (absorptivitas) dari suatu permukaan merupakan hal yang penting dalam pemanfaatan radiasi seperti pada pemanfaatan radiasi surya. Harga absorptivitas berlainan untuk sudut datang radiasi yang berlainan. Menurut *British Building Research* untuk sudut datang dibawah 75<sup>o</sup>, harga absorptivitas terletak antara 0,8 sampai 0,9 dari absorptivitas yang dimiliki oleh suatu benda

Absorptivitas memberikan nilai besarnya radiasi yang dapat diserap. Misalnya pada bagian *absorber* pada sebuah pengumpul radiasi surya. Ketiga proses tersebut diatas yaitu, absorpsi, refleksi, dan transmisi adalah hal yang penting dalam proses pemanfaatan radiasi surya, karena ini menyangkut efektifitas pemanfaatan pada sebuah pengumpul radiasi surya.

### **2.2.1.2 Pengaruh Revolusi Bumi**

Selama mengelilingi matahari, sumbu bumi miring dengan arah yang sama. Kemiringan itu membentuk sudut sebesar 23,50 terhadap garis tegak lurus pada bidang ekliptika, sebagaimana dilihat pada bola dunia dan penyangganya. Didalam perjalanan bumi mengelilingi matahari sejak tanggal 21 Maret sampai dengan tanggal 21 Juni, kutub utara seakan-akan makin condong kearah matahari. Sebaliknya kutub selatan seakan-akan semakin menjauhi matahari. Selama jangka waktu itu, belahan bumi utara mengalami musim semi dan belahan bumi selatan mengalami musim gugur (Darmanto, 2011).

Pada tanggal 21 Juni, matahari seakan-akan berada pada 23,50 LU (Lintang Utara). Dari tanggal 21 Juni sampai dengan tanggal 23 September kecondongan kutub utara kearah matahari semakin berkurang. Sebaliknya kecondongan kutub selatan kearah matahari semakin bertambah. Selama jangka waktu itu, belahan bumi utara mengalami musim panas dan belahan bumi selatan mengalami musim dingin. Pada tanggal 23 September matahari seakan-akan berada dikhatulistiwa. Dari tanggal 21 Maret sampai dengan tanggal 23 September siang lebih panjang dibandingkan malam di belahan bumi utara, sedangkan malam lebih panjang dibandingkan siang di belahan bumi selatan. Dari tanggal 23 September sampai dengan tanggal 22 Desember kutub selatan seakan-akan makin condong kearah matahari, sebaliknya kutub utara seakan-akan makin menjauhi matahari. Selama jangka waktu itu, belahan bumi selatan mengalami musim semi dan belahan bumi utara mengalami musim gugur. Pada tanggal 22 Desember matahari seakan-akan berada pada 23,50 LS (Lintang Selatan).

Dari tanggal 22 Desember sampai dengan tanggal 21 Maret kecondongan kutub selatan kearah matahari makin berkurang sedangkan kecondongan kutub utara kearah matahari semakin bertambah. Selama jangka waktu itu, belahan bumi bagian selatan mengalami musim panas dan belahan bumi bagian utara mengalami musim dingin. Pada tanggal 21 maret matahari kembali berada diatas katulistiwa. Beberapa panel surya mengikuti matahari dengan bergerak dengan cara melakukan sesuatu dalam waktu yang telah ditentukan untuk meminimalisasi sudut datang radiasi beam pada permukaan sehingga sudut datangnya bisa

maksimal. Sudut datang dan sudut *azimuth* permukaan dibutuhkan untuk panel surya-panel surya. *Tracking system* diklasifikasikan oleh pergerakannya. Rotasi dapat terjadi pada *single axis* atau sumbu tunggal (yang biasanya dapat merupakan beberapa arah, namun untuk praktisnya biasanya timur-barat horisontal, utara-selatan horisontal, vertikal atau paralel terhadap sumbu bumi).

### **2.2.1.3 Pengaruh Rotasi Bumi**

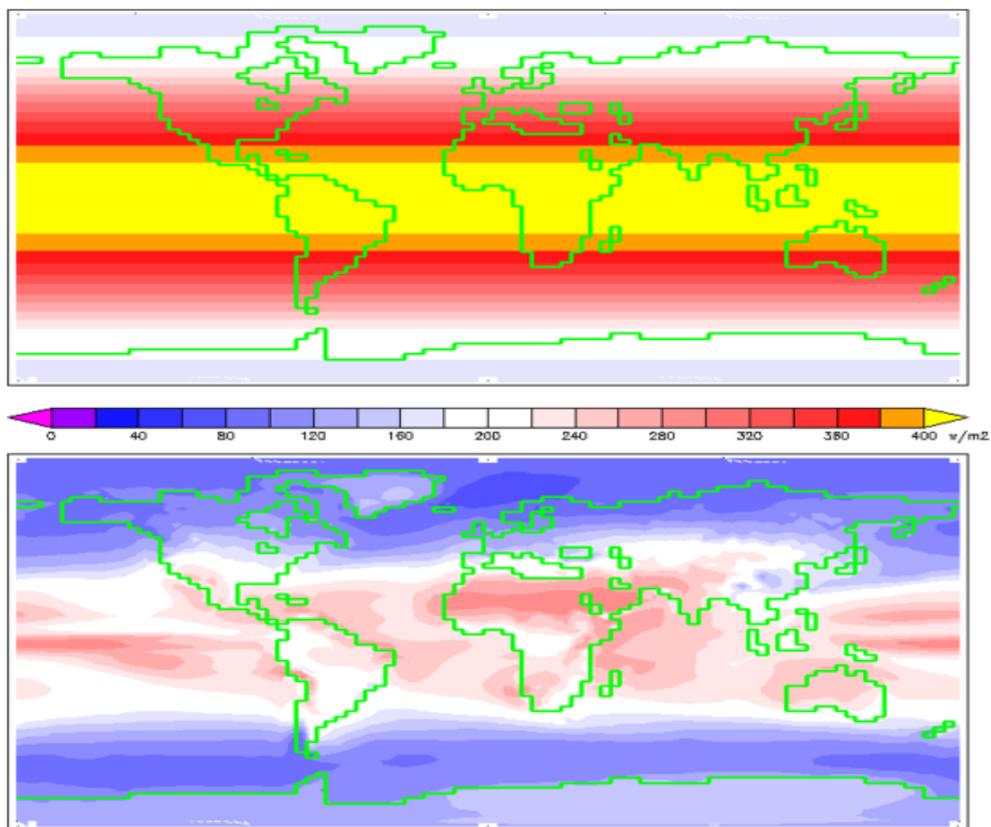
Bersamaan dengan revolusi bumi, bumi pun berputar mengelilingi sumbunya yang dapat disebut dengan rotasi. Arah rotasi sama dengan arah revolusi, yaitu dari barat ke timur. Itulah sebabnya matahari lebih dahulu terbit di papua dari pada di pulau jawa. Setelah satu kali rotasi, tempat-tempat di bumi telah menjalani 360 bujur. Oleh karena ke-360 ditempuh selama 24 jam, maka tiap satu derajat ditempuh selama empat menit. Dengan demikian, perbedaan waktu antara dua tempat yang perbedaan bujurnya 150 adalah satu jam. Oleh karena itu, disepakatilah untuk membagi permukaan bumi menjadi 24 daerah waktu yang masing-masing 150 besarnya dengan Perbedaan waktu di antara dua daerah waktu yang berdampingan adalah satu jam (Darmanto, 2011).

Waktu pangkal yang ditetapkan adalah waktu yang berlaku untuk garis bujur yang melewati daerah *Greenwich*. Bujur ini ditetapkan sebagai bujur 00 dengan setiap garis bujur yang jauhnya 150 atau kelipatan 150 ke arah timur dan ke arah barat bujur nol dipakai sebagai bujur standar. Waktu pada bujur standar disebut waktu standar atau waktu lokal. Indonesia misalnya, mempunyai tiga bujur standar, yaitu 1050, 1200, dan 1350 bujur timur. Dengan demikian, waktu lokal masing-masing ialah waktu *Greenwich* ditambah dengan 7, 8, dan 9 jam. Jika letak bujur standar itu di sebelah barat (bujur barat) bujur nol, maka waktunya dikurangi.

### **2.2.1.4 Insolation**

*Insolation* adalah ukuran energi radiasi matahari yang diterima di suatu kawasan bumi pada suatu waktu. Satuan ukuran untuk irradiance adalah watt per meter persegi ( $W/m^2$ ) (Buku Panduan PNPM Energi Terbarukan, 2011).

Nilai irradiance matahari maksimum digunakan dalam perancangan sistem untuk menentukan tingkat puncak input energi memasuki sistem matahari. Jika penyimpanan dimasukkan ke dalam perancangan sistem, maka penting untuk mengetahui variasi *irradiance* matahari selama periode tersebut untuk mengoptimalkan desain sistem. Lebih lanjut, perlu mengetahui berapa banyak tenaga surya telah tertangkap oleh modul (pengumpul/*concentrator*) selama kurun waktu seperti hari, minggu atau tahun. Inilah yang disebut dengan radiasi matahari atau irradiation. Satuan ukuran radiasi matahari adalah joule per meter persegi ( $J/m^2$ ) atau watt-jam per meter persegi ( $Wh/m^2$ ).



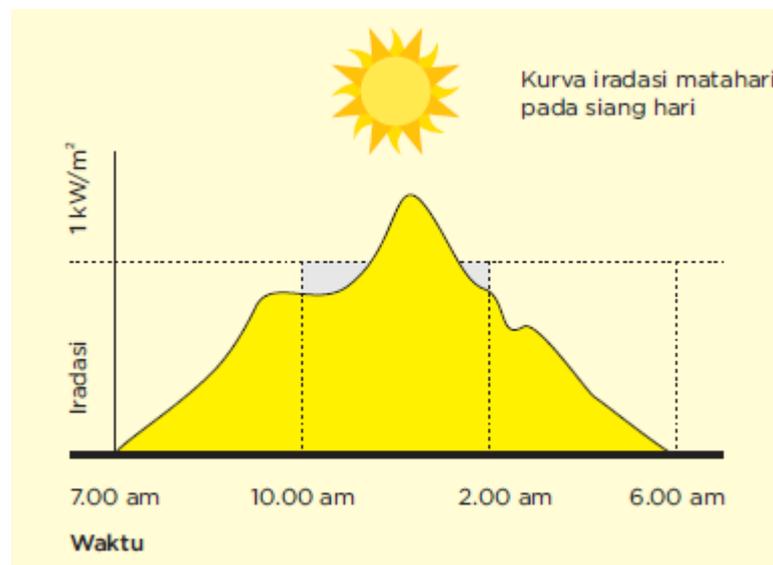
(Sumber : Buku Panduan PNPM Energi Terbarukan, 2011)

Gambar 2.2 Insolation di bumi

Gambar diatas menjelaskan Insolation maksimal atau puncak terdapat pada wilayah berwarna kuning, wilayah putih merupakan wilayah dengan

insulation terendah. Wilayah kuning dan merah berpotensi membuat pembangkit listrik tenaga surya (Buku Panduan PNPM Energi Terbarukan, 2011).

Iradiasi harian disebut waktu puncak matahari. Jumlah waktu puncak matahari untuk hari adalah jumlah waktu dimana energi pada 2 tingkat 1 kW/m akan memberikan sebuah jumlah yang ekuivalen untuk total energi hari tersebut.



(Sumber : Buku Panduan PNPM Energi Terbarukan, 2011)

Gambar 2.3 Kurva Iradiasi harian

### 2.2.2 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 km<sup>2</sup> rata-rata sebesar 5,10 mW atau 4,8 kWh/m<sup>2</sup>/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 2.1 Potensi Energi Surya

Kelas	Iradiasi surya per hari (kWh/m <sup>2</sup> )	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)

Energi surya berupa radiasi elektromagnetik yang dipancarkan ke bumi berupa cahaya matahari yang terdiri atas foton atau partikel energi surya yang dikonversikan menjadi energi listrik. Energi surya yang sampai pada permukaan bumi disebut sebagai radiasi surya global yang diukur dengan kepadatan daya pada permukaan daerah penerima. Rata-rata nilai dari radiasi surya atmosfer bumi adalah 1.353 W/m yang dinyatakan sebagai konstanta surya (Buku Panduan PNPM Energi Terbarukan, 2011).

Intensitas radiasi surya dipengaruhi oleh waktu siklus perputaran bumi, kondisi cuaca meliputi kualitas dan kuantitas awan, pergantian musim dan posisi garis lintang. Intensitas radiasi sinar matahari di Indonesia berlangsung 4 - 5 jam per hari. Produksi energi surya pada suatu daerah dapat dihitung sebagai berikut:

$$E = I \times A$$

dimana,

E = Energi surya yang dihasilkan (W)

I = Irradiasi/Intensitas radiasi surya rata-rata yang diterima selama satu jam (W/m<sup>2</sup>)

A = Luas area (m<sup>2</sup>)

### 2.2.3 Teknologi Pembangkit Listrik Dish Stirling

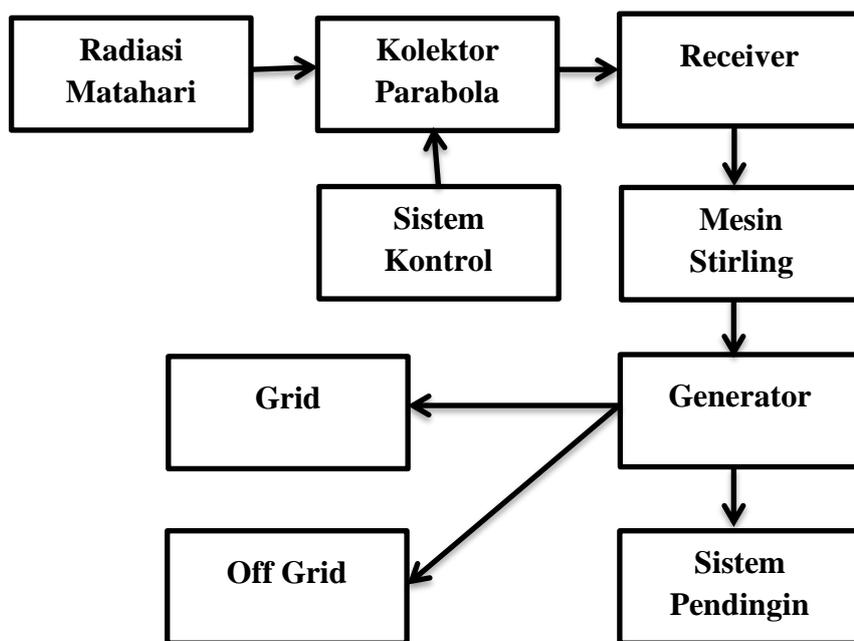


(Sumber : SES, 2007)

Gambar 2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Mesin Stirling

Pembangkit listrik tenaga surya berbasis mesin stirling menggunakan cermin yang berbentuk parabola berfungsi sebagai reflektor. Fungsi reflektor ini ialah untuk memantulkan dan memfokuskan cahaya matahari ke *receiver* atau *heat driver* yang dipasang diatas cermin pemfokus tersebut. *Receiver* kemudian menyerap energi cahaya matahari tersebut dalam temperatur yang sangat tinggi dan mengubahnya menjadi energi panas. Energi panas ini dapat langsung digunakan sebagai pemanas untuk membantu dalam proses reaksi kimia, tapi yang sering digunakan ialah untuk pembangkit tenaga listrik. Energi panas ini kemudian dirubah lagi menjadi energi gerak atau mekanik dalam mesin stirling. Energi panas ini berfungsi untuk menggerakkan piston-piston yang ada didalam mesin stirling. Generator yang sudah tergabung dalam mesin stirling merubah energi mekanik dari piston menjadi energi energi listrik yang berbentuk Alternating Current (AC).

Sistem pembangkit tenaga surya berbasis mesin stirling menangkap cahaya matahari dan mengkonsentrasikannya ke mesin stirling. Energi ini ditransfer melalui *receiver* atau penerima panas yang dapat menyerap dan menyalurkan energi panas ke mesin stirling. Dalam sistem ini, mesin stirling mempunyai peran paling penting dari keseluruhan proses sistem. Efisiensi yang tinggi, kestabilan daya keluaran, murah perawatan dan berpotensi dapat digunakan dalam jangka waktu yang lama membuat mesin stirling ini, mesin yang paling cocok digunakan dalam sistem pembangkit listrik tenaga surya. Sebuah mesin stirling sederhana terdiri atas Piston kompresi, piston kontraksi dan tiga buah *heat exchanger*. (IJRED, 2016).



Gambar 2.5 Diagram Proses Pembangkitan Listrik *Dish Stirling*

Sebuah sistem pembangkit listrik tenaga surya berbasis mesin stirling merupakan pembangkit yang berdiri sendiri (*stand alone*) mirip dengan pembangkit listrik tenaga angin. Sistem pembangkit listrik tenaga surya ini terdiri atas *collector* atau *concentrator* dan *Power Conversion Unit*. (SES, 2007)

Mesin stirling menggunakan pembakaran diluar, oleh karena itu mesin ini dapat menghasilkan gaya mekanik dari berbagai sumber energi, terutama energi matahari. Dalam kurun waktu beberapa tahun ini, banyak teknisi yang menganalisis mesin stirling dan *heat losses*-nya. Namun, ada beberapa pekerjaan analisis yang berfokus untuk mengoptimalkan daya keluaran dan efisiensinya. Performa Mesin Stirling bergantung pada prinsip kerja fluida dan termodinamika dan tipe mesin stirling itu sendiri. (IJRED, 2016).

## **2.2.4 Mekanisme Dish Stirling**

### **2.2.4.1 Kolektor Parabola**

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 (Goswarni, 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-prose pemanasan dalam industri (Duffie, 1991).

Kolektor surya dari sistem stirling ini menggunakan cermin-cermin yang dibentuk dan disusun secara parabola dipasang pada bangunan dengan sensor yang mampu mengikuti arah matahari. Kolektor surya ini harus bisa mengirimkan energi panas empat kali daripada rating keluaran aslinya demi memberikan efisiensi sistem diatas 25% (Diver, 2001). Sistem pembangkit listrik stirling yang

telah dibuat dalam kapasitas 10 kW dan 25 kW memiliki diameter parabola 7,5 dan 11 meter (WGAssociates, 2006).

Reflektansi cahaya matahari dari cermin perak berkisar antara 91-95% yang dibuat oleh empat manufaktur (Mancini, 2003). Bahan pembuatan permukaan kolektor surya yang paling baik dan tahan lama ialah cermin perak atau kaca yang dapat menghasilkan energi panas pantulan dalam temperatur yang tinggi serta dengan biaya yang terbilang murah (Teagan, 2001). ReflecTech telah membuat juga kolektor dengan polymer yang mempunyai reflektansi 94,5% dengan harga \$1.30 per meter persegi (ReflecTech, 2007).

Ada tiga hal yang mempengaruhi kualitas dan kemampuan Kolektor dalam mengirimkan energi panas, ialah sebagai berikut :

1. *Intercept Factor*

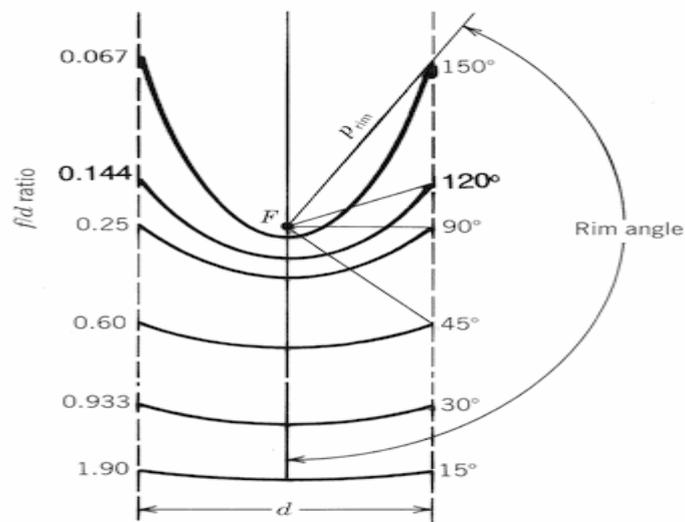
*Intercept Factor* adalah cahaya matahari yang direfleksikan ke dalam *aperture thermal receiver* tapi masuk kedalam celah potongan-potongan cermin. Hal ini dipengaruhi oleh besarnya celah tersebut, kesalahan dalam sistem kolektor, sudut potongan cermin kolektor dan ketidaksejajaran cahaya matahari dengan reflektor. Semakin kecil potongan cermin mengakibatkan Intercept factor semakin besar sehingga hal ini tidak menguntungkan dan efisiensi sistem akan berkurang. (Stine and Harrigan, 1985).

2. *Beam Spread*

*Beam Spread* adalah jarak dan sudut perpindahan cahaya ke *receiver* yang telah dipantulkan oleh permukaan kolektor. Mengurangi *Beam Spread* ini membuat kolektor berbentuk lebih kecil dan menambah performa sistem, dalam hal ini yang berarti efisiensinya. (Stine and Harrigan, 1985).

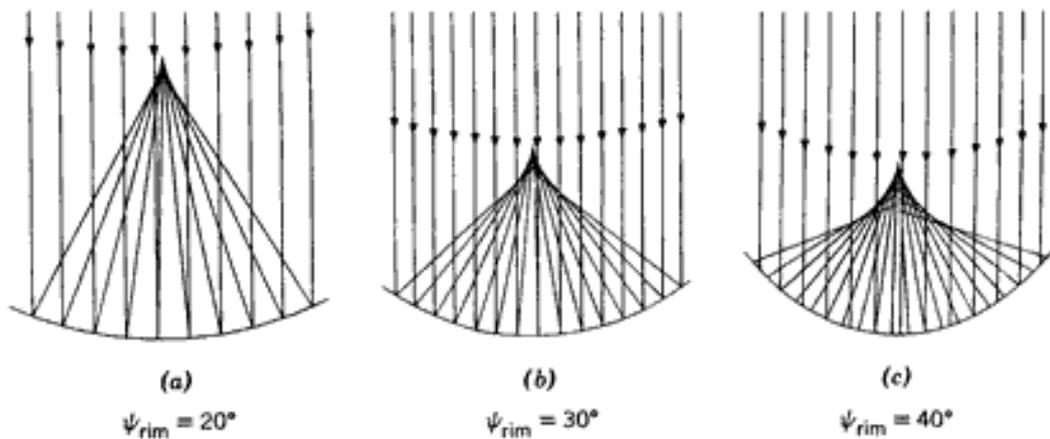
### 3. Collector Rim Angle

*Rim Angle* ialah sebuah indikator kelengkungan dari kolektor. Kolektor dengan rim angle yang besar akan terlihat seperti baskom dan memiliki ratio konsentrasi yang kecil. Rasio konsentrasi yang tinggi akan mengurangi losses energi panas dan intercept factor. (*Stine and Harrigan, 1985*).



Gambar 2.6 Perbandingan Rim Angle dengan Ratio Konsentrasi.

(Sumber :Power of the Sun, 2001)



Gambar 2.7 Perbandingan Rim Angle dengan Beam Spread.

(Sumber : Power of the Sun, 2001)

#### 2.2.4.2 Power Conversion Unit (PCU)



(Sumber : SES, 2007)

Gambar 2.8 Power Conversion Unit (PCU)

Power Conversion Unit merupakan komponen paling penting dalam pembangkit listrik berbasis mesin stirling, berfungsi mengubah energi panas matahari yang difokuskan oleh kolektor ke *receiver* menjadi energi gerak dari pergerakan piston dan energi gerak tersebut menghasilkan energi listrik. PCU terdiri atas thermal *receiver* dan heat engine. (Fraser, 2008).

##### 2.2.4.2.1 Thermal Receiver

*Thermal Receiver* menyerap sinar matahari yang terfokus, mengubahnya menjadi kalor dan memindahkan kalor ke heat engine. Media Perpindahan Kalor yang digunakan biasanya agar fluida bekerja ialah hidrogen atau helium. *Receiver* harus bisa menyerap panas bersuhu tinggi seribu kali lebih tinggi daripada panas sinar matahari langsung. *Thermal Receiver* terdiri atas *aperture* dan *absorber*. *Aperture* ialah penerima panas dari concentrator, *Absorber* ialah penyerap panas yang menyalurkan langsung ke mesin stirling. (Fraser, 2008).

Losses Konduktansi, Konveksi dan Radiasi dari *receiver* berpengaruh besar dalam keseluruhan hilangnya energi yang bekerja pada sistem mesin stirling. (Fraser, 2008).

Losses Konduktansi adalah Losses yang disebabkan oleh ketebalan isolasi pada *Receiver*, bagaimana ia dapat menyerap panas dan tidak membiarkan panas tersebut keluar dari *receiver*. Losses ini hanya sedikit berpengaruh lepasnya energi panas matahari. Penanganannya ialah memodifikasi ketebalan thermal *receiver*-nya. (Fraser, 2008).

Losses Konveksi adalah Losses yang disebabkan kecepatan angin, ketika angin berkecepatan tinggi melewati *Receiver*, *Receiver* akan mudah dingin sehingga kehilangan banyak energi panas matahari. Losses ini berpengaruh besar hampir 40% dari total losses yang terjadi. Penanganannya ialah Thermal *receiver* harus dipasang sejajar mungkin dengan *concentrator*. (Fraser, 2008).

Losses Radiasi adalah Losses yang disebabkan oleh adanya jarak dari *Concentrator* ke Thermal *Receiver* dan pemantulan kembali oleh Thermal *Receiver* ke *Concentrator*. Losses ini berpengaruh paling besar hampir 60% dari total losses. Penanganannya ialah dengan memperluas area *aperture* dan mengganti bahan pembuatan *absorber*-nya. (Fraser, 2008).

#### **2.2.4.2.2 Mesin Stirling (Heat Engine)**

Mesin stirling beroperasi melalui pembakaran 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. (Fraser, 2008).

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. (Cronenberg, 2005)

Ada beberapa kelebihan dan kekurangan digunakannya mesin stirling pada pembangkit ini.(Urieli dan Berchowitz, 1984)

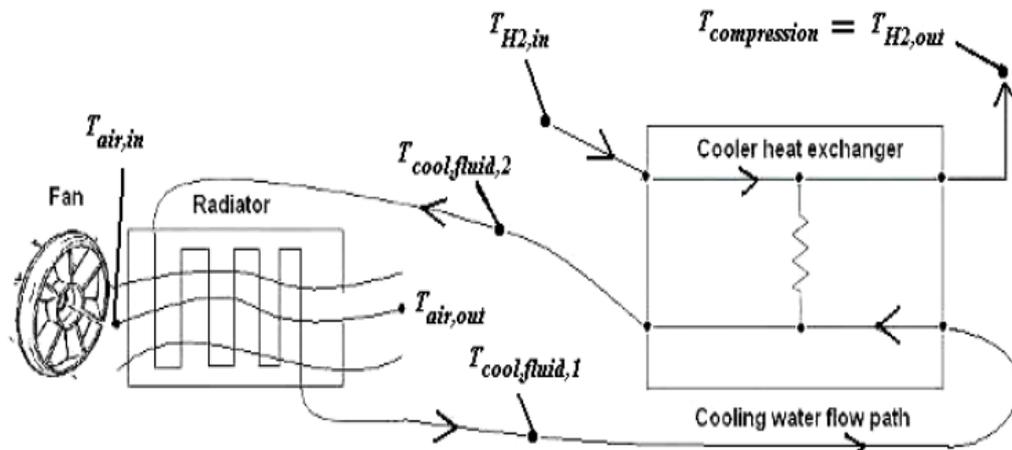
Kelebihan :

1. Potensi Maksimal efisiensinya karena hampir mendekati efisiensi mesin carnot.
2. Fleksibilitas bahan bakar yang digunakan, bisa biomass, panas matahari, geothermal dan bahan bakar fosil.
3. Rendahnya oksidasi Nitrogen dibandingkan mesin pembakaran lainnya (Rendahnya Emisi atau pencemaran udara)
4. Tidak berisik dan tidak banyak getaran sewaktu bekerja
5. Pistonnya memiliki kehandalan tinggi
6. Stirling engine bisa menggunakan dua proses sistem termodinamika
7. Tingginya usaha kerja yang dihasilkan

Kekurangan :

1. Responnya lambat ketika ada penambahan dan pengurangan beban
2. Rendahnya daya listrik keluarannya

### 2.2.3.3 Sistem Pendinginan



(Sumber : Fraser, 2008)

Gambar 2.9 Sistem Pendinginan Power Conversion Unit.

Sistem Pendinginan dari sistem pembangkit stirling ialah melepaskan panas dari mesin stirling agar dapat mengurangi temperatur dan menaikkan efisiensi mesin. Radiator adalah salah satu komponen pada sistem pendingin mesin mobil yang berfungsi untuk membuang panas mesin melalui media cair yang bersirkulasi di dalam mesin untuk mempertahankan temperatur kerja mesin. Cara kerjanya ialah dengan membuang panas air pendingin dari mesin yang disirkulasikan oleh mesin, pembuangan panas ini dilakukan oleh adanya hembusan angin yang berasal dari kipas radiator. Air panas yang berasal dari mesin masuk ke bagian atas radiator, kemudian kipas radiator berputar untuk membuang panas air tersebut dengan hembusan angin yang melewati sirip-sirip radiator. (Fraser, 2008).

#### 2.2.3.4 Komponen Tambahan

Generator pada mesin stirling mengubah energi mekanik menjadi listrik dimana dapat menyuplai ke *grid*. Generator induksi seringkali digunakan karena ketahanan dan kemampuannya untuk mengubah energi mekanik menjadi synchronous 1 Fasa atau 3 Fasa 230/460 VAC. Generator Induksi merupakan bagian kecil dari sistem pembangkit stirling karena dapat memproduksi listrik tegangan tinggi dan dapat dibeli secara terpisah. Generator induksi mempunyai efisiensi diatas 94% (Teagan, 2001)

Untuk membuat sistem pembangkit stirling bekerja, beberapa komponen tambahan diperlukan. Komponen berupa bangunan untuk memasang collector dan PCU sesuai arah sinar matahari yang dilengkapi dengan *dual-axis tracking*. Komponen ini dapat menyerap daya sistem sekitar 5-10% dari rating dayanya. (Teagan, 2001).

Sistem kontrol untuk memposisikan cermin parabola merupakan komponen yang sangat penting dalam sistem pembangkit stirling. Jika software tidak berfungsi secara benar atau azimuth (pengatur sudut elevasi cermin) tidak bekerja akan terjadi kesalahan dalam collector untuk memfokuskan cahaya matahari yang mengakibatkan berkurangnya daya masukan dan mengurangi efisiensi mesin. (Sharke, 2006).

Rumus pada *Dish Stirling* memanfaatkan hukum termodinamika(IJRED, 2016):

Kalor yang diserap mesin

$$Q_{eng} = Q_{dish} - Q_{refl} - (Q_{cond} + Q_{conv} + Q_{rad})$$

$$Q_{dish} = I \cdot A_{dish} \rho_{dish} \phi$$

Dimana,

$Q_{dish}$  = Kalor dari kolektor parabola (kalori)

$\rho_{dish}$  = Tingkat Reflektansi kolektor parabola

$\phi$  = Interception factor

$$Q_{ref1} = \left( 1 - \frac{\alpha_{rec}}{\alpha_{rec} + (1 - \alpha_{rec})(A_{ap} + A_{rec})} \right)$$

$$Q_{cond} = \frac{T_{abs} - T_{amb}}{\frac{L_{ins}}{k_{ins}A_{rec}} + \frac{1}{h_{exit,rec}A_{rec}}}$$

$$Q_{conv} = h_T A (T_{abs} - T_{amb})$$

$$Q_{rad} = \epsilon_{rad} \sigma A_{ap} (T_{abs} - T_{amb})$$

Dimana,

$Q_{ref1}$  = Kalor yang terpantul kembali

$Q_{cond}$  = Kalor yang hilang karena losses konduktansi

$Q_{conv}$  = Kalor yang hilang karena losses konveksi

$Q_{rad}$  = Kalor yang hilang karena losses radiasi

$A_{ap}$  = Diameter *Aperture* atau lubang masuk sinar fokus (m)

$\sigma$  = Konstanta Stefan-Boltzman

$$\Delta U = W - Q_{eng}$$

$$\Delta U = 0$$

$$W = Q_{eng}$$

$$P = \frac{W}{t} = \frac{Q_{eng}}{t}$$

Dimana,

P = Daya listrik (Joule/detik=Watt)

W = Usaha (Joule)

t = Waktu (detik)

### 2.2.5 System Advisor Model

System Advisor Model (SAM) adalah sebuah software simulasi model performa dan finansial energi terbarukan yang dibuat untuk memfasilitasi orang-orang terlibat dalam energi terbarukan sebagai manajer proyek dan engineer, Analis finansial dan kebijakan, Pengembang Teknologi serta Peneliti. SAM dirilis pada 14 Januari 2014 dibuat oleh National Renewable Energy Laboratory (NREL) dengan kegunaan sama seperti HOMER. (NREL, 2014).

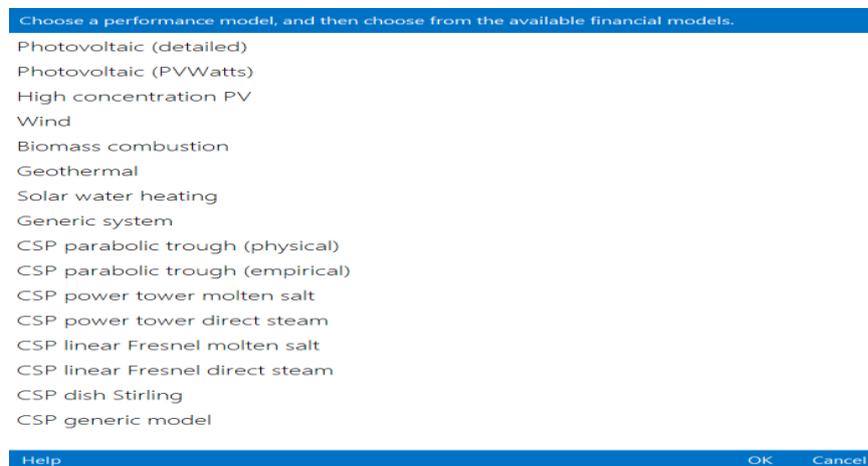
System Advisor Model ini digunakan untuk mensimulasikan model proyek energi terbarukan yang dikembangkan oleh NREL, Laboratorium Sandia National, Universitas Winconsin dan organisasi yang lainnya. SAM mensimulasikan *cost and performance* dari model sistem energi terbarukan. Model yang disimulasikan memerlukan input data nameplate alat dan sarana serta biaya yang diperlukan. Tampilan SAM yang mudah memungkinkan orang yang tidak memiliki pengalaman atau tidak pernah memakai SAM dapat membuat model sistem energi terbarukan sendiri sesuai dengan data aslinya. (NREL, 2014).

SAM memerlukan file data asli untuk mendeskripsikan sumber energi terbarukan dan kondisi cuaca tergantung lokasi proyek. Data tersebut dapat diperoleh dari internet, membuat sendiri data yang diambil secara langsung di lapangan atau SAM akan otomatis mengunduh data dari database online sebagai berikut : (NREL, 2014).

- DSIRE (*Database of State Incentives for Renewable & Efficiency*) untuk wilayah United States.

- *OpenEI Utilities Gateway*, sebagai sumber informasi mengenai perusahaan-perusahaan terkait dengan utilitas kelistrikan dan detail kontrak yang sedang dijalankan.
- *NREL Solar Prospector*, sebagai sumber data panas energi matahari serta kondisi lingkungannya.
- *NREL Wind Integration Datasets*, sebagai sumber data tentang angin.
- *NREL Biofuels Atlas* dan *DOE Billion Ton Update*, sebagai sumber data biomass.
- *NREL Geothermal Resource*, sebagai sumber data temperatur dan jarak kedalaman gas alam.

Ada banyak model performa teknologi energi terbarukan dalam SAM. Kebanyakan modelnya mensimulasikan daya output dari system tiap jam dalam total kurun waktu setahun yang kemudian dihitung oleh model finansial untuk menghitung *project cash flow* dan *financial metrics*. (NREL, 2014).



(Sumber : NREL, 2014)

Gambar 2.10 System Advisor 2015.6.30