

TUGAS AKHIR

**ANALISIS POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK *SOLAR DISH STIRLING*
DALAM PENYEDIAAN ENERGI LISTRIK DI INDUSTRI
(Studi Kasus di PT. Sunchang Purbalingga)**



**Disusun Oleh :
FAJAR KURNIANTO
20120120039**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
YOGYAKARTA
2016**

**ANALISIS POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK *SOLAR DISH STIRLING*
DALAM PENYEDIAAN ENERGI LISTRIK DI INDUSTRI
(Studi Kasus di PT. Sunchang Purbalingga)**

TUGAS AKHIR

Disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik program S-1
pada Jurusan
Teknik Elektro, Fakultas Teknik,
Universitas Muhammadiyah Yogyakarta



**Disusun Oleh :
FAJAR KURNIANTO
20120120039**

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH YOGYAKARTA
YOGYAKARTA
2016**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
ANALISIS POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK *SOLAR DISH STIRLING*
DALAM PENYEDIAAN ENERGI LISTRIK DI INDUSTRI



Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Romadhoni Syahputra, S.T., M.T.
NIK. 19741010201010123056

Anna Nur Nazilah Chamim, S.T., M.Eng
NIK. 197608062005012001

PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Fajar Kurnianto

NIM : 20120120039

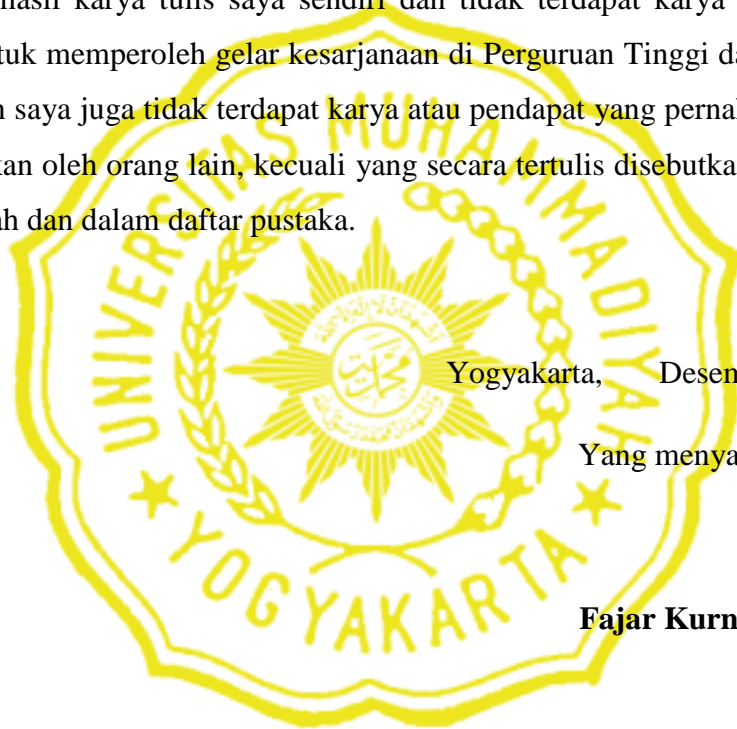
Jurusan : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa naskah Tugas akhir (Skripsi) ini merupakan hasil karya tulis saya sendiri dan tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di Perguruan Tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau dipublikasikan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis disebutkan sumbernya dalam naskah dan dalam daftar pustaka.

Yogyakarta, Desember 2016

Yang menyatakan,

Fajar Kurnianto



LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR
ANALISIS POTENSI PEMBANGKIT LISTRIK *SOLAR DISH STIRLING*
DALAM PENYEDIAAN ENERGI LISTRIK DI INDUSTRI

Disusun oleh:

Fajar Kurnianto

20120120039

Telah Dipertahankan di Depan Tim Penguji Pada :

Tanggal : 24 Desember 2016

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dr. Romadhoni Syahputra, S.T., M.T.
NIK. 19741010201010123056

Anna Nur Nazilah Chamim, S.T., M.Eng
NIP. 197608062005012001

Penguji

Rama Okta Wiyagi, S.T., M.Eng.
NIK. 19861017201504123070

**Skripsi ini Telah dinyatakan sah sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Sarjana Teknik**

Mengesahkan

Ketua Program Studi Teknik Elektro

Ir. Agus Jamal, M. Eng.
NIK. 19660829199502123020

PERSEMBAHAN

Dengan ini saya ingin mempersembahkan karya ini kepada:

1. Ibu Supinah, Ayahanda Sodikun, Kakak Wahyu Susilo, Setyo Handoyo dan Shinta Amalia Widyasih yang selalu mendukung dan memberikan nasehat kepada saya dalam mengerjakan tugas akhir ini.
2. Seluruh keluarga besar desa Kalimanah Kulon yang telah memberi semangat dan selalu mendoakan saya dalam menyelesaikan tugas akhir.
3. Dosen-dosen Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, yang telah memberikan saya ilmu selama ini.



MOTTO

“Nothing is True, Everything is Permitted”

“Jangan Mudah Terpengaruh oleh ucapan orang lain karena semuanya belum tentu benar, akan tetapi semua perbuatan yang kamu lakukan mempunyai resiko dan diizinkan terjadi”

“In War, Victory. In Peace, Vigilance. In Death, Sacrifice”

“Ketika berkompetisi atau sedang bertarung dalam masa sulit selalu berpikirlah untuk menang”

“Ketika sedang dalam masa damai, waspadalah apa yang akan terjadi”

“Ketika menuju kematian, sesalilah apa yang menurutmu salah, manusia hidup di dunia dan sudah pasti berkontribusi di dunia”

“The World does not need heroes, but professionals”

KATA PENGANTAR

Segala Puji syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dan penyusunan Tugas Akhir di PT. Sun Chang Purbalingga, Jawa Tengah.

Tugas Akhir ini merupakan mata kuliah wajib bagi mahasiswa yang mengambil program studi S-1 di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dengan beban 2 sks dan merupakan prasyarat untuk mendapatkan gelar Sarjana Teknik (ST).

Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat menyelesaikan Pendidikan Sarjana (S1) Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta dan sebagai sarana penerapan ilmu yang didapat pada bangku kuliah ke dalam praktik di dunia kerja yang sesungguhnya.

Tugas Akhir ini berjudul “**Analisis Potensi Pembangkit Listrik Solar Dish Stirling Dalam Penyediaan Energi Listrik Di Industri**” dan merupakan hasil kerja penulis.

Tugas Akhir ini dapat terselesaikan berkat bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan hidayahnya sehingga laporan ini dapat terselesaikan.
2. Bapak dan Ibu serta keluarga yang telah memberikan segala doa, dukungan spiritual maupun dukungan moril.
3. Bapak Ir. Agus Jamal ,MT selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
4. Dr. Romadhoni Syahputra, S.T., M.T selaku dosen pembimbing I yang telah memberikan pengarahan dan petunjuk kepada penulis.

5. Ibu Anna Nur Nazilah Chamim, S.T., M.Eng selaku dosen pembimbing II yang telah memberikan pengarahan dan petunjuk kepada penulis.
6. Dani Widiyanto selaku kepala pengepakan barang di PT. Sun Chang yang telah mengizinkan penulis mengampil sample data beban.
7. Aron Dobos dan seluruh *development team* SAM yang sudah memberikan bimbingan kepada penulis dan mengarahkan penulis untuk mencari informasi selama melakukan penyusunan Tugas Akhir.
8. Bapak-bapak dan Ibu-ibu di bagian Tata Usaha Universitas Muhammadiyah Purbalingga.
9. Teman-teman KKN Tematik UMY 21.
10. Teman-teman Elektro UMY.

Penulis menyadari akan adanya kekurangan-kekurangan dalam penyusunan laporan ini karena keterbatasan wawasan dan pengetahuan. Untuk itu penulis mengharapkan kritik dan saran membangun dari semua pihak agar dapat lebih baik di masa yang akan datang. Akhirnya kami berharap semoga laporan ini bermanfaat bagi semua pihak.

Purbalingga, 24 Desember 2016

Penulis,

Fajar Kurnianto

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN.....	iii
LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR	iv
PERSEMBAHAN.....	v
MOTTO	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
INTISARI	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II LANDASAN TEORI	5
2.1 Tinjauan Pustaka	5
2.2 Landasan Teori	6
2.2.1 Distribusi Radiasi Matahari.....	6
2.2.1.1 Radiasi Matahari pada Permukaan Bumi	6
2.2.1.2 Pengaruh Revolusi Bumi	9
2.2.1.3 Pengaruh Rotasi Bumi.....	10
2.2.1.4 Insolation	10
2.2.2 Potensi Energi Surya	12
2.2.3 Teknologi Pembangkit Listrik Dish Stirling.....	14

2.2.4	Mekanisme Dish Stirling	16
2.2.4.1	Kolektor Parabola	16
2.2.4.2	Power Conversion Unit (PCU).....	19
2.2.4.2.1	Thermal Receiver	19
2.2.4.2.2	Mesin Stirling (Heat Engine)	20
2.2.3.3	Sistem Pendinginan	22
2.2.3.4	Komponen Tambahan	23
2.2.5	System Advisor Model.....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		27
3.1	Bahan Penelitian	27
3.2	Alat Penelitian	27
3.3	Cara Penelitian	27
3.4	Lokasi Penelitian	28
3.5	Langkah Penelitian	29
BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN.....		32
4.1	Profil Beban.....	32
4.2	Spesifikasi Pembangkit	34
4.2.1	Data Wilayah.....	34
4.2.2	Solar Field	35
4.2.3	Collector	36
4.2.4	Receiver.....	38
4.2.5	Stirling Engine	41
4.2.6	Parasitics	43
4.2.7	Reference Inputs.....	44
4.3	Analisis Data Model <i>Stirling Energy Systems</i>	47
4.3.1	Produksi Energi.....	47
4.3.2	Efisiensi dan Rugi-Rugi Daya.....	49
4.3.3	Efisiensi Kerja Sistem	53
4.3.4	Perbandingan Biaya Kelistrikan.....	54
4.4	Analisis Data Model <i>Western Governor Association</i>	55
4.4.1	Produksi Energi.....	55

4.4.2	Efisiensi dan Rugi-Rugi Daya.....	57
4.4.3	Efisiensi Kerja Sistem.....	61
4.4.4	Perbandingan Biaya Kelistrikan.....	62
4.5	Analisis Data Model <i>Schlaic-Bergermann und Partner</i>	63
4.5.1	Produksi Energi.....	63
4.5.2	Efisiensi dan Rugi-Rugi Daya.....	65
4.5.3	Efisiensi Kerja Sistem.....	69
4.5.4	Perbandingan Biaya Kelistrikan.....	70
4.6	Analisis Data Model <i>SAIC</i>	71
4.6.1	Produksi Energi.....	71
4.6.2	Efisiensi Kerja Sistem.....	72
4.7	Perbandingan Produksi Energi	73
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		75
5.1	Kesimpulan.....	75
5.2	Saran.....	75
DAFTAR PUSTAKA		76
LAMPIRAN.....		81

DAFTAR GAMBAR

BAB II LANDASAN TEORI

Gambar 2.1 Radiasi Matahari pada permukaan Bumi	7
Gambar 2.2 Insolation di Bumi	11
Gambar 2.3 Kurva Radiasi Harian	12
Gambar 2.4 Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Mesin Stirling	14
Gambar 2.5 Diagram Proses Pembangkitan Listrik Dish Stirling	15
Gambar 2.6 Perbandingan Rim Angle dengan Ratio Konsentrasi	18
Gambar 2.7 Perbandingan Rim Angle dengan Beam Spread	18
Gambar 2.8 Power Conversion Unit (PCU)	19
Gambar 2.9 Sistem Pendinginan Sistem Conversion Unit	22
Gambar 2.10 System Advisor Model 2015.6.30	26

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Gambar 3.1 Lokasi PT. Sunchang Purbalingga	28
--	----

BAB IV DATA DAN PEMBAHASAN

Gambar 4.2.1 Lokasi dan Sumber data cuaca	35
Gambar 4.2.2 Spesifikasi Solar Field	35
Gambar 4.2.3 Spesifikasi Collector	36
Gambar 4.2.4 Spesifikasi Receiver	38
Gambar 4.2.5 Spesifikasi mesin stirling	41
Gambar 4.2.6 Spesifikasi Parasitics	43
Gambar 4.2.7 Input Referensi Iterasi	45
Gambar 4.3.1 Produksi Energi Tahunan SES	47
Gambar 4.3.2 Produksi Energi Bulanan SES	48
Gambar 4.3.3 Grafik Perbandingan Daya Pembangkit SES	50
Gambar 4.3.4 Efisiensi Kerja Collector, Receiver dan Mesin Stirling SES	53
Gambar 4.3.5 Perbandingan Biaya Kelistrikan	54

Gambar 4.4.1 Produksi Energi Tahunan WGA	55
Gambar 4.4.2 Produksi Energi Bulanan WGA	56
Gambar 4.4.3 Grafik Perbandingan Daya Pembangkit WGA	58
Gambar 4.4.4 Efisiensi Kerja Collector, Receiver dan Mesin Stirling WGA.....	61
Gambar 4.4.5 Perbandingan Biaya Kelistrikan.....	62
Gambar 4.5.1 Produksi Energi Tahunan SBP	63
Gambar 4.5.2 Produksi Energi Bulanan SBP	64
Gambar 4.5.3 Grafik Perbandingan Daya Pembangkit SBP	66
Gambar 4.5.4 Efisiensi Kerja Collector, Receiver dan Mesin Stirling SBP	69
Gambar 4.5.5 Perbandingan Biaya Kelistrikan.....	70
Gambar 4.6.1 Hasil Simulasi SAM.....	71
Gambar 4.6.2 Efisiensi Kerja Collector, Receiver dan Mesin Stirling SAIC	72
Gambar 4.7.1 Grafik Perbandingan Prpduksi Energi.....	73
Gambar 4.7.2 Hasil Simulasi SAM SES 3 Pembangkit.....	74

DAFTAR TABEL

BAB II

Tabel 2.1 Potensi Energi Surya.....	13
-------------------------------------	----

BAB IV

Tabel 4.1.1 Konsumsi Listrik PT. Sun Chang	32
Tabel 4.1.2 Konsumsi Listrik PT. Sun Chang	33
Tabel 4.2.1 Collector Default Parameter Values	38
Tabel 4.2.2 Receiver default parameter values	40
Tabel 4.2.3 Stirling Engine Default Parameter Values	42
Tabel 4.2.4 Parasitic Variable Reference Conditions	46
Tabel 4.3.1 Produksi Energi Bulanan SES	48
Tabel 4.3.2 Perbandingan daya Pembangkit SES	49
Tabel 4.3.3 Rugi-Rugi dan efisiensi daya SES	52
Tabel 4.4.1 Produksi Energi Bulanan WGA.....	56
Tabel 4.4.2 Perbandingan daya Pembangkit WGA	57
Tabel 4.4.3 Rugi-Rugi dan efisiensi daya WGA.....	60
Tabel 4.5.1 Produksi Energi Bulanan SBP	64
Tabel 4.5.2 Perbandingan daya Pembangkit SBP	65
Tabel 4.5.3 Rugi-Rugi dan efisiensi daya SBP	68
Tabel 4.7.1 Perbandingan Produksi Energi.....	73

DAFTAR LAMPIRAN

Data Spesifikasi Pembangkit Solar Dish Stirling	82
Data Konsumsi Beban Listrik PT. Sunchang Purbalingga	86
Data Informasi SAM dan Wawancara dengan Development Team SAM	88

INTISARI

Pada saat ini bahan bakar fosil masih banyak digunakan untuk memproduksi listrik, dimana bahan bakar tersebut jika terus digunakan akan habis dan susah diperbarui. Berdasarkan permasalahan tersebut maka perlu dilakukan pembuatan Pembangkit Listrik Tenaga energi terbarukan dengan sumber pembangkit dari alam dan dapat diperbarui sebagai solusi dari habisnya bahan bakar fosil. sehingga pada studi ini diusulkan analisis sistem PLTS *Solar Dish Stirling*.

Dari analisis sistem PLTS *Solar Dish Stirling*.dilakukan di PT. Sun Chang Purbalingga, Jawa Tengah untuk membantu industri dan wilayah sekitar jika listrik PLN mengalami pemadaman yang cukup lama. Sistem pembangkitan menggunakan kolektor surya, *receiver*, *heat engine*, sistem kontrol, sistem pendinginan dan perhitungan dari sistem secara menyeluruh menggunakan software dari NREL (National Renewable Energy Laboratory) yaitu SAM versi 2015.6.30. Tujuan dari tugas akhir ini adalah mengetahui potensi dari energi surya sebagai pengganti alternatif dari energi fosil yang semakin lama semakin habis di manfaatkan. Indonesia merupakan negara tropis, memiliki potensi surya yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik tenaga surya baik ditepian pantai, bukit-bukit atau dataran. Hasil simulasi dengan software SAM ini bahwa potensi surya dengan sistem *solar dish stirling* dapat dimanfaatkan untuk membantu pasokan listrik PLN atau mengatasi kebutuhan beban di Industri.\

Kata Kunci: Indonesia, *Solar Dish Stirling*, NREL, SAM.

ABSTRACT

These Day fossil fuels still heavily consumed for Electricity energy production, whereas this fuels if continuously heavily consumed like this it will be exhausted, nothing left to use because it hard to renewable. Based on that problem we need to build Renewable Power Plant using nature resources that easily renewable as the solution from exhausting fossil fuels. So in this research proposed analysis system PLTS Solar Dish Stirling.

From analysis system PLTS Solar Dish Stirling did on PT. Sun Chang Purbalingga, Central Java for help Industry and around if electricity energy from PLN encounter long time black out. These System generation use sunrays collector, receiver, heat engine, control system like Azimuth, cooling system and calculation all system analysis using software from NREL (National Renewable Energy Laboratory), SAM (System Advisor Model) version 2015.6.30. The Aim of this thesis is to know potency from solar energy as alternative successor of fossil fuels decreasingly to be exhausted for use. Indonesia is tropical country, having solar potency that can be use as well resources of solar dish stirling power plant in seashores, hills and plains. The Results of simulation using SAM that solar potency with solar dish stirling system can be used to help distributing energy supply from PLN or resolving need of energy supply in Industry.

Keywords : Indonesia, Solar Dish Stirling, SAM, NREL.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertumbuhan penduduk yang semakin tinggi menyebabkan tingginya konsumsi listrik di Indonesia. Keterbatasan pasokan energi listrik dan tingginya ketergantungan terhadap bahan bakar fosil. Indonesia merupakan negara yang memiliki sumber daya alam yang melimpah, baik matahari, air dan angin merupakan alternatif peluang energi yang dapat dimanfaatkan oleh pemerintah, untuk mengurangi penggunaan bahan bakar fosil. Beban pemakaian listrik yang besar dan terbatasnya pasokan listrik mengakibatkan pemadaman bergilir dan roda perekonomian berhenti. Pemerintah harus membuat suatu alternatif energi sebagai pengganti yang sangat berpotensi yaitu memanfaatkan energi panas matahari sebagai sumber pembangkitan energi listrik.

Sinar Matahari merupakan sumber daya alam yang tidak akan pernah habis untuk dipakai, oleh karena itu energi panas matahari memiliki potensi energi terbarukan. Potensi ini harus dikembangkan untuk membantu industri besar yang bergantung pada sumber listrik dari Pembangkit Listrik Negara tanpa harus memakai pembangkit listrik cadangan berbahan bakar fosil.

Di Indonesia pemanfaatan Energi matahari sebagai pembangkit listrik belum maksimal, mengingat energi matahari yang melimpah di Indonesia yang terletak pada garis khatulistiwa. Sinar matahari yang bersinar sepanjang tahun di seluruh wilayah Indonesia memiliki radiasi matahari rata-rata 4,8 kWh/m². Kriteria wilayah Indonesia ini memiliki potensi untuk pembangunan pembangkit tenaga surya.

Kabupaten Purbalingga khususnya sekitar kota memiliki potensi radiasi sinar matahari yang baik untuk digunakan sebagai pembangkit listrik *solar dish stirling*. Letaknya yang strategis berada di dataran tinggi dengan curah hujan sedang. Warga sekitar memiliki potensi perekonomian yang tinggi dimana

terdapat industri besar berupa industri bulu mata palsu sebagai mayoritas sumber penghasilan utama. Letaknya yang dekat dengan perkotaan dan sedikitnya pembangkit listrik di kabupaten Purbalingga, membuat pasokan energi listrik dari PLN sering mengalami gangguan apabila terjadi dalam waktu yang sangat lama.

Menanggulangi padamnya listrik, industri besar menggunakan genset sebagai pengganti, yang memerlukan jumlah Bahan Bakar Minyak (BBM) yang tinggi dan harganya semakin mahal membuat industri besar berfikir ulang untuk menekan biaya produksi. Lokasi yang berada di dataran tinggi dengan potensi radiasi sinar matahari yang baik, pembangkit tenaga surya cocok digunakan mengingat energi panas matahari yang tidak akan pernah habis. Penulis mencoba melakukan pengembangan pembangkit listrik *solar dish stirling* sebagai energi alternatif untuk membantu industri besar mengatasi terbatasnya pasokan listrik.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan di atas, penulis merumuskan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana cara mempelajari Pembangkit Listrik Berbasis Mesin Stirling?
2. Bagaimana konfigurasi pembangkit stirling yang sudah tersedia?
3. Bagaimana menghitung jumlah beban pemakaian di Industri?
4. Bagaimana jumlah energi yang dihasilkan dari semua konfigurasi?
5. Bagaimana efisiensi kerja sistemnya?
6. Bagaimana menentukan konfigurasi pembangkit solar dish yang cocok dipasang sesuai dengan industri dan sekitarnya?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah ini sebagai berikut:

1. Pengambilan data hanya dilakukan pada PT. Sunchang Purbalingga.
2. Analisa perhitungan daya dan beban hanya terpusat melalui System Advisor Model.

1.4 Tujuan Penelitian

Ada beberapa tujuan penulis menganalisa Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Mesin Stirling, yakni:

1. Melakukan Studi Tentang Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Mesin Stirling.
2. Mengetahui konfigurasi pembangkit sistem *solar dish stirling*.
3. Menghitung jumlah beban pemakaian PT. Sun Chang.
4. Mengetahui jumlah energi yang dihasilkan dari semua konfigurasi pembangkit solar dish stirling.
5. Mengetahui efisiensi kerja sistem Pembangkit *solar dish stirling*.
6. Mengetahui konfigurasi pembangkit yang cocok digunakan di PT. Sun Chang dan daerah Purbalingga.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Dapat memaksimalkan potensi energi surya yang melimpah sebagai energi alternatif dari daerah tempat tinggal.
2. Dapat membantu mengatasi masalah krisis energi listrik dengan pertumbuhan beban yang terus meningkat.
3. Dapat dimanfaatkan untuk mengatasi beban puncak yang sering terjadi pada siang hari, sehingga pasokan listrik dari PLN terfokus hanya pada malam hari.
4. Dapat menggantikan pembangkit listrik berbahan bakar fosil.
5. Dapat diterapkan nantinya untuk membantu proses produksi energi listrik di Indonesia

1.6 Sistematika Penulisan

1. BAB I PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

2. BAB II LANDASAN TEORI

Berisi teori penunjang yang menguraikan tentang teori-teori yang mendukung dari penelitian dan pengukuran serta perhitungan.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Berisi metodologi penelitian yang akan dilakukan yang meliputi studi literature, survei lapangan, dan pengambilan data, pengujian potensi pembangkit dan analisis terhadap data yang diperoleh.

4. BAB IV ANALISIS DATA

Berisi data-data hasil penelitian dan analisis serta pembahasan terhadap masalah yang diajukan dalam tugas akhir.

5. BAB V PENUTUP

Berisi kesimpulan dari hasil pembahasan dari bab sebelumnya dan saran untuk perbaikan dan pengembangan bagi penelitian lebih lanjut

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

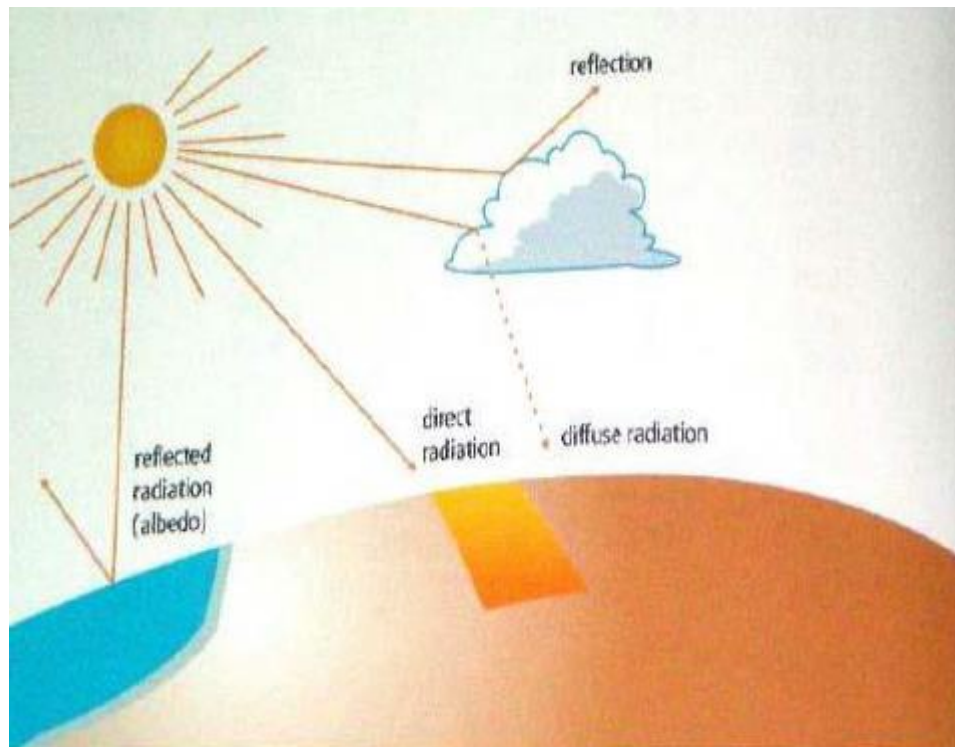
Intensitas radiasi matahari di luar atmosfer bumi bergantung pada jarak antara matahari dengan bumi. Tiap tahun, jarak ini bervariasi antara $1,47 \times 10^8$ km dan $1,52 \times 10^8$ km dan hasilnya besar pancaran E_0 naik turun antara 1325 W/m^2 sampai 1412 W/m^2 . Nilai rata-ratanya disebut sebagai 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 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 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 O₃, H₂O, O₂, dan CO₂)
- 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 (ρ), absorptivitas (α), dan transmisivitas (τ).

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^o, 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

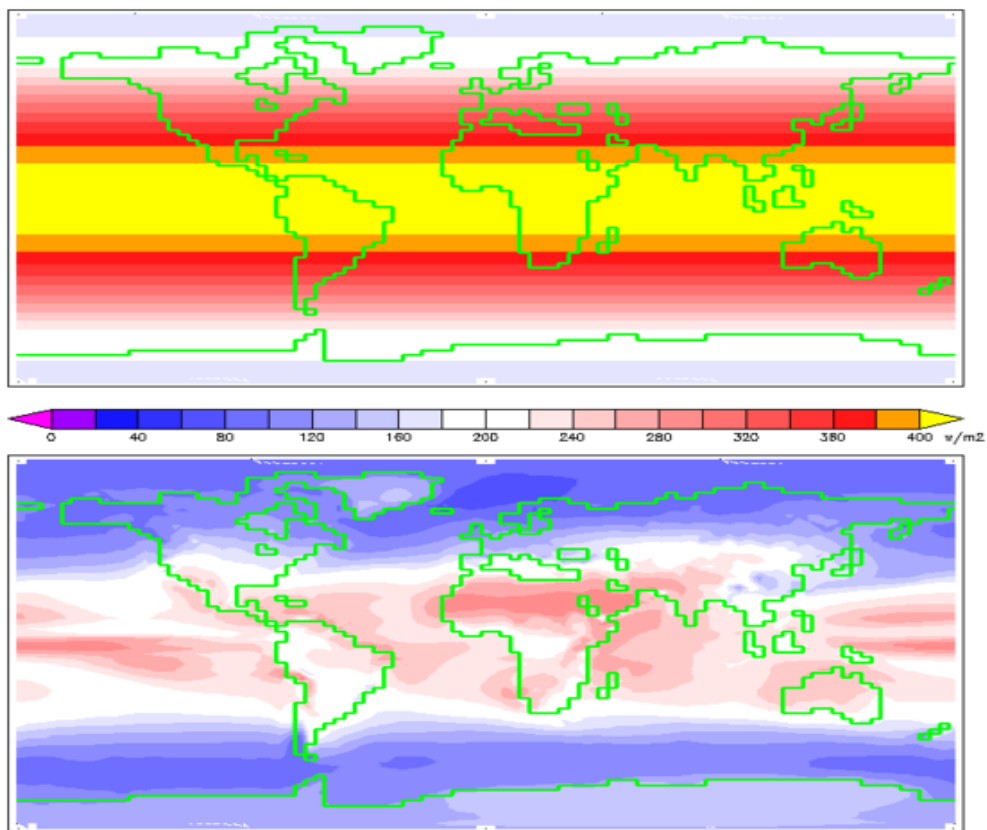
Bersamaan dengan revolusi bumi, bumi pun berputar mengelilingi sumbunya yang dapat disebut dengan rotasi. Arah rotasi sama dengan arah revolusi, yaitu dari barat ke timur. Itulah sebabnya matahari lebih dahulu terbit di papua dari pada di pulau jawa. Setelah satu kali rotasi, tempat-tempat di bumi telah 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).



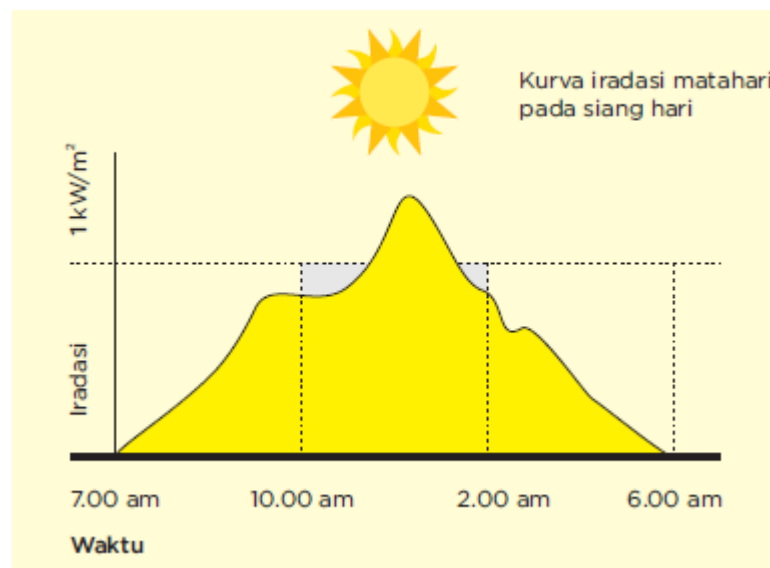
(Sumber : Buku Panduan PNPM Energi Terbarukan, 2011)

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 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 2.1 Potensi Energi Surya

Kelas	Iradiasi surya per hari (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)

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/m²)

A = Luas area (m²)

2.2.3 Teknologi Pembangkit Listrik Dish Stirling

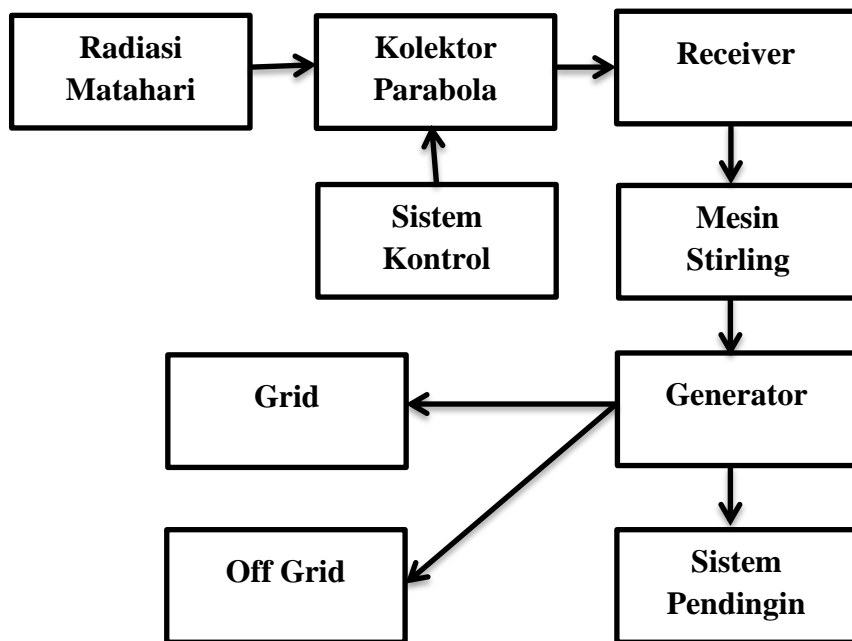


(Sumber : SES, 2007)

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*

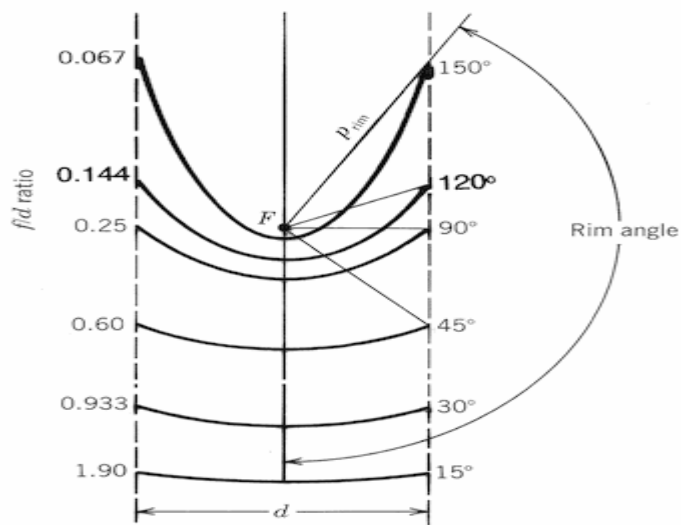
Intercept Factor adalah cahaya matahari yang direfleksikan ke dalam *aperture thermal receiver* tapi masuk kedalam celah potongan-potongan cermin. Hal ini dipengaruhi oleh besarnya celah tersebut, kesalahan dalam sistem kolektor, sudut potongan cermin kolektor dan ketidaksejajaran cahaya matahari dengan 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).

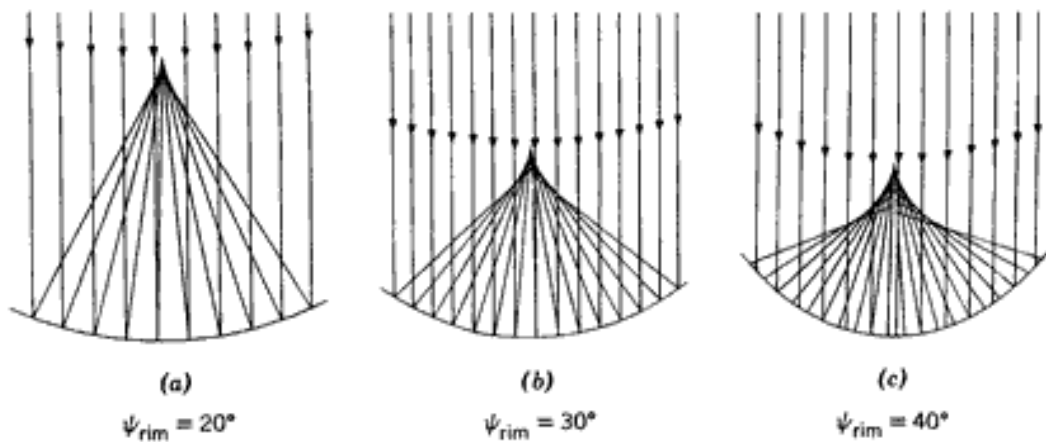
3. Collector Rim Angle

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.

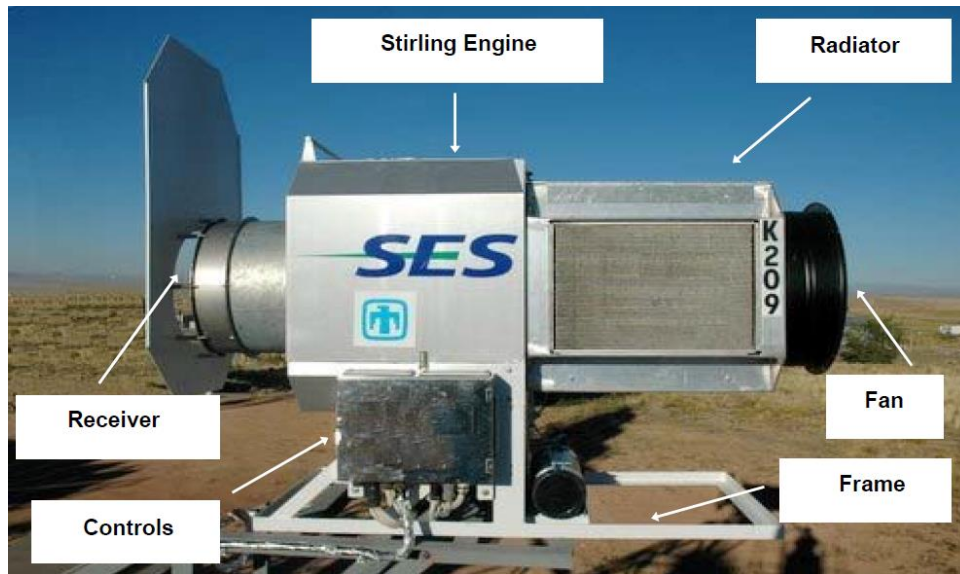
(Sumber :Power of the Sun, 2001)



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)

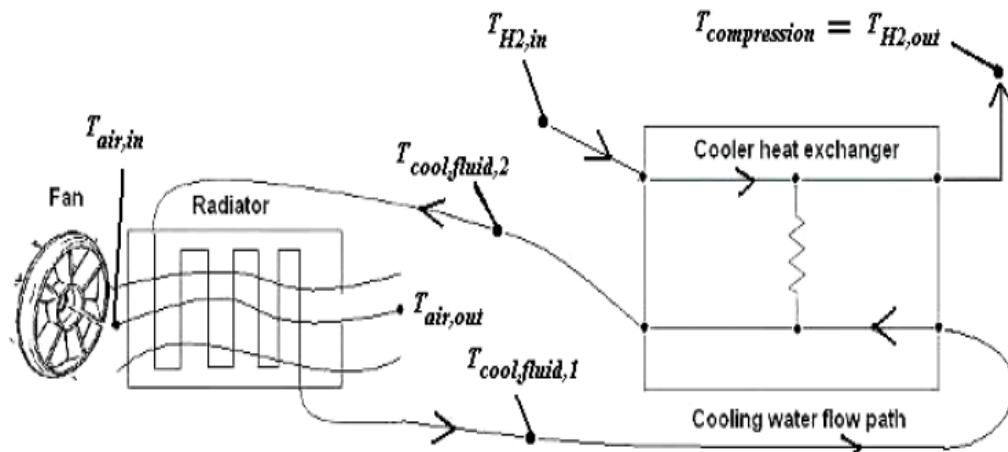
Kelebihan :

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)

ρ_{dish} = Tingkat Reflektansi kolektor parabola

ϕ = 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)

σ = 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).

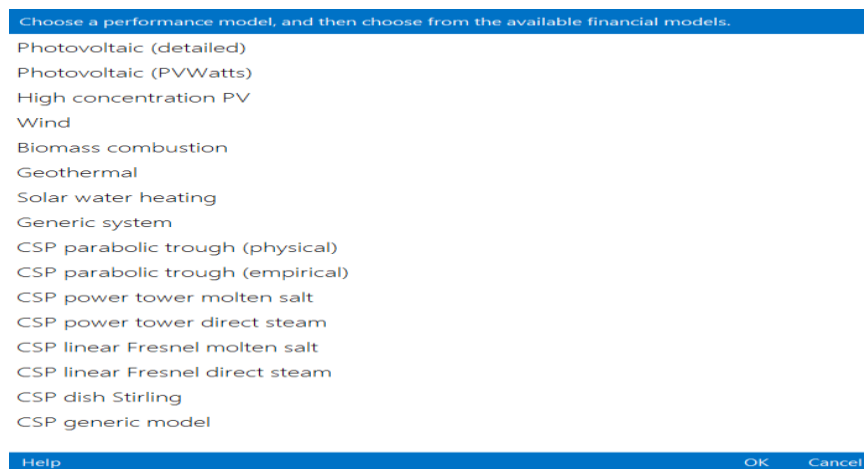
System Advisor Model ini digunakan untuk mensimulasikan model proyek energi terbarukan yang dikembangkan oleh NREL, Laboratorium Sandia National, Universitas Winconsin dan organisasi yang lainnya. SAM mensimulasikan *cost and performance* dari model sistem energi terbarukan. Model yang disimulasikan 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

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bahan Penelitian

Penelitian menggunakan berupa data irradiansi matahari, cuaca dan iklim dari NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) untuk membantu proses pengambilan data.

3.2 Alat Penelitian

Berupa data *softcopy* dari NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) dan jurnal mengenai Pembangkit Listrik Solar Dish Stirling. Penelitian menggunakan perangkat lunak berupa SAM (*System Advisor Model*) yang berfungsi sebagai simulator sistem.

Penelitian menggunakan alat-alat sebagai berikut :

1. Seperangkat Laptop Fujitsu Lifebook LH531 dengan processor Intel Pentium B960 2,2 Ghz.
2. Perangkat Lunak SAM dari NREL.

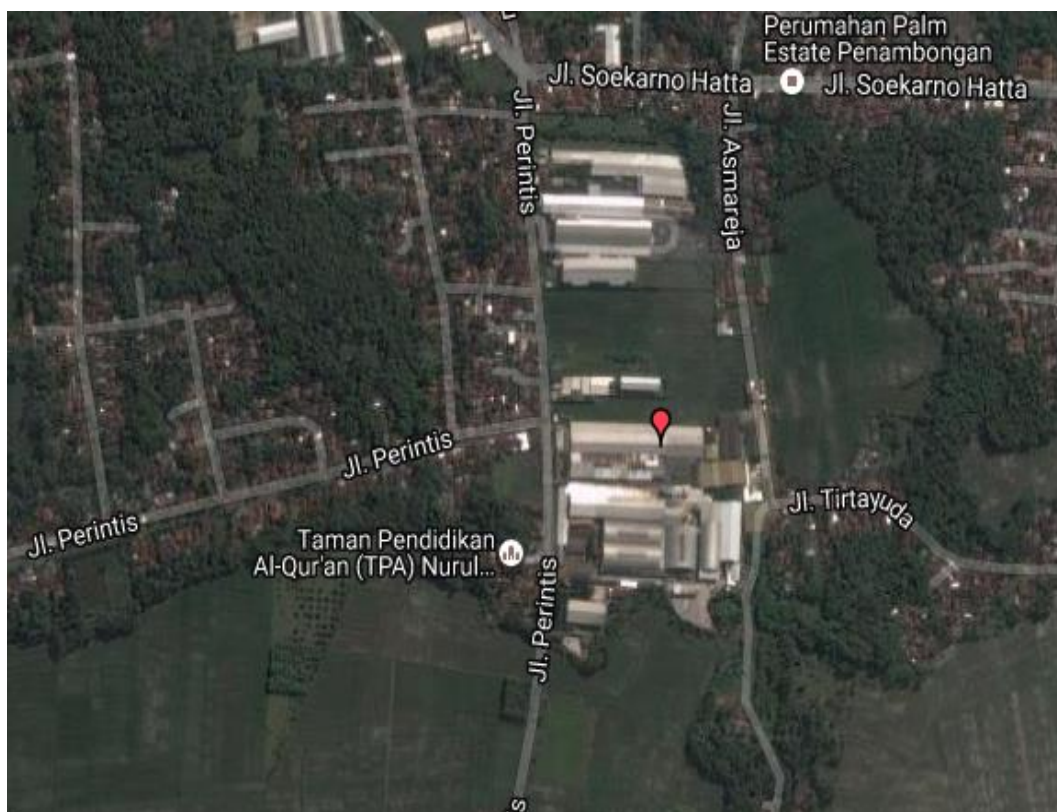
3.3 Cara Penelitian

1. Melakukan observasi di daerah PT. Sun Chang Kelurahan Mewek Kecamatan Kalimanah Kabupaten Purbalingga Jawa Tengah.
2. Pengambilan data irradiansi matahari di NREL.
3. Melakukan simulasi sistem kerja pembangkit listrik solar dish stirling pada aplikasi SAM.
4. Perhitungan dan analisa data keseluruhan objek.
5. Melakukan evaluasi dan perbaikan.

Penelitian ini menggunakan aplikasi SAM yang berfungsi sebagai sistem kerja pembangkit listrik solar dish stirling untuk mendapatkan data keseluruhan dari pembangkitan yang telah dilakukan. Ini bertujuan agar potensi dari tenaga surya dapat dimanfaatkan sebagai energi terbarukan dan mengatasi kekurangan pasokan energi listrik.

3.4 Lokasi Penelitian

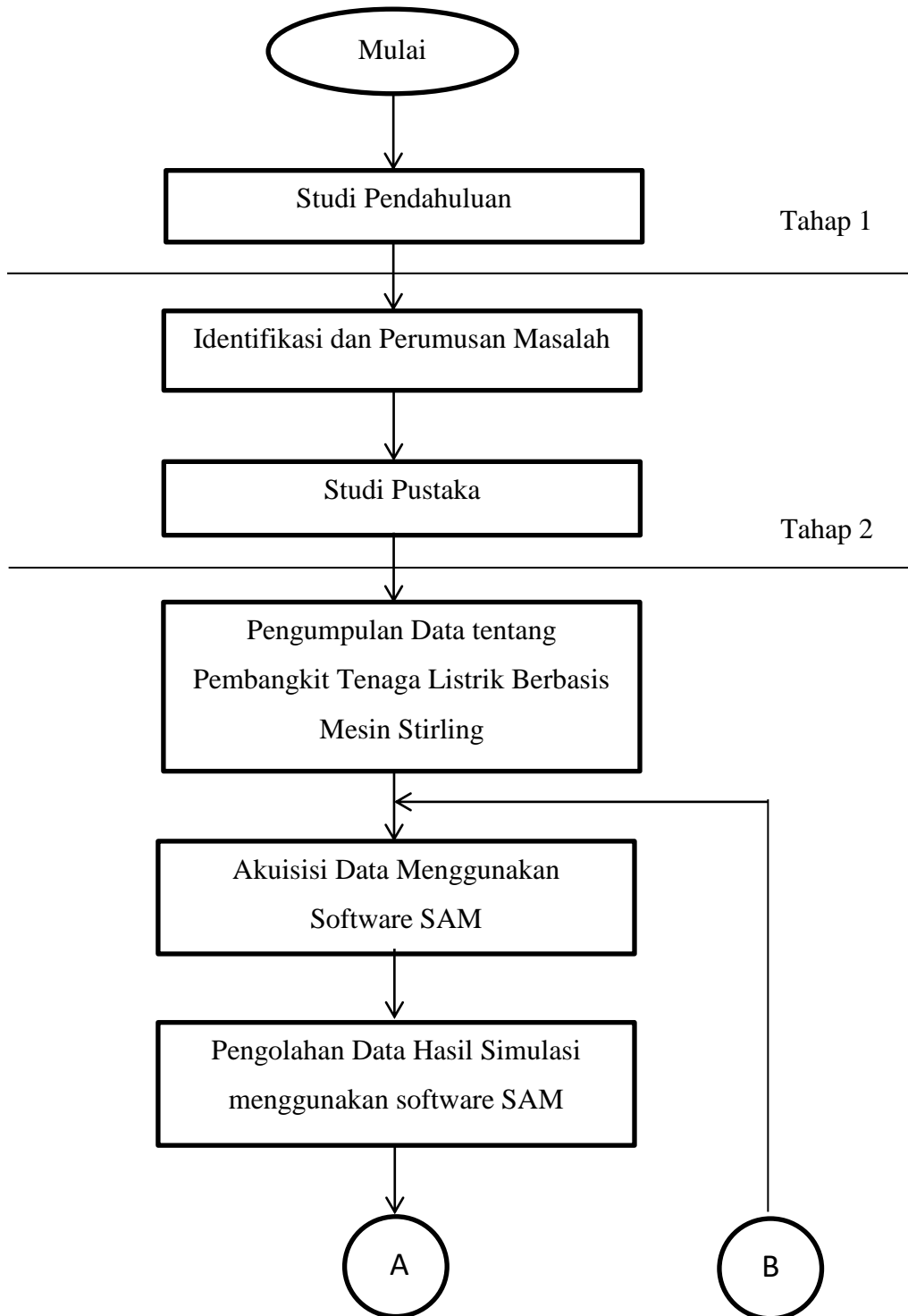
Penelitian untuk menganalisis potensi energi angin ini menggunakan program SAM. Dilakukan di Pabrik PT. Sun Chang, Kecamatan Kalimanah, Purbalingga, Jawa tengah yang berjarak 5 Km dari pusat kota dan pengamatan lokasi di lahan kosong milik PT. Sun Chang.

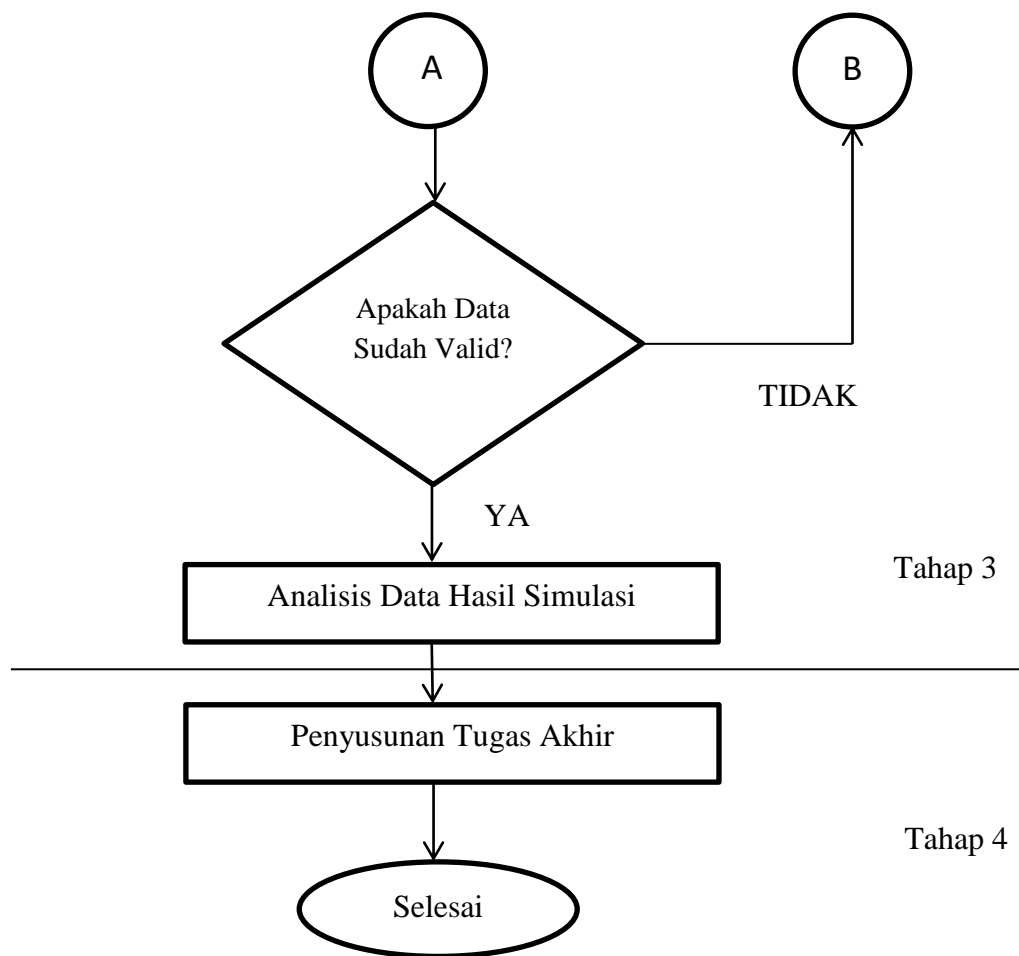


Gambar 3.1 Lokasi PT. Sunchang Purbalingga.

3.5 Langkah Penelitian

Adapun langkah penelitian dapat dilihat pada gambar 3.1 dibawah ini.





Gambar 3.1 Flowchart Metodologi Penyusunan Tugas Akhir.

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penyusunan tugas akhir yaitu :

1. Tahap 1

Tahap ini adalah tahap awal dalam metodologi penulisan. Pada tahap ini dilakukan studi lapangan dengan mengamati langsung keadaan gedung dan beban terpasang di PT. Sun Chang. Pengamatan langsung dilakukan dengan tujuan mengetahui informasi-informasi awal mengenai lingkungan sekitar pabrik.

2. Tahap 2

Setelah melakukan studi pendahuluan, permasalahan dapat diidentifikasi. Kemudian penyebab dari permasalahan dapat ditelusuri. Analisis permasalahan adalah industri besar masih kekurangan pasokan listrik untuk penambahan beban dan mengakibatkan padamnya listrik. Mengingat ada lahan kosong untuk memanfaatkan potensi energi surya sebagai penyedia pasokan listrik tambahan.

Studi pustaka dilakukan untuk mencari informasi-informasi tentang teori, metode, dan konsep yang relevan dengan permasalahan. Sehingga dengan informasi tersebut dapat digunakan sebagai acuan dalam penyelesaian permasalahan. Studi pustaka yang dilakukan dengan mencari informasi dan referensi dalam bentuk buku, jurnal, informasi dari internet maupun sumber-sumber lainnya seperti bertanya kepada dosen dan tim support NREL.

3. Tahap 3

Pengumpulan data ini dilakukan dengan cara studi pustaka, pengamatan dan survey langsung dengan pihak pengelola dan teknisi di bagian pengelolaan PT. Sun Chang. Untuk mengetahui data beban dan informasi daya listrik pabrik, dapat meminta langsung data tersebut dari pengelola pabrik PT. Sun Chang.

Setelah data terkumpul maka dari itu langkah selanjutnya adalah pengolahan data. Data yang dipilih sesuai kebutuhan di lapangan. Pengolahan data dilakukan dengan software SAM, menentukan konfigurasi sistem solar dish stirling sesuai dengan irradiasi surya dan lingkungan serta menghitung jumlah beban dan jumlah pembangkit listrik yang optimal.

4. Tahap 4

Setelah selesai melakukan pengolahan data dan perancangan sistem, maka langkah berikutnya adalah menyusun karya tulis sesuai dengan peraturan yang baku.

BAB IV

DATA DAN PEMBAHASAN

4.1 Profil Beban

Penelitian ini dilakukan di PT.Sun Chang PT. Sun Chang Kelurahan Mewek Kecamatan Kalimanah Kabupaten Purbalingga Jawa Tengah. Berikut beban listrik yang ada pada PT. Sun Chang untuk menjalankan usahanya :

Tabel 4.1.1 Konsumsi listrik PT. Sun Chang

Beban	Jumlah	Daya (kW)	Waktu
Motor 1	1	0.3745	4
Motor 2	1	0.1232	4
Motor 3	1	0.1232	4
Transformer	1	0.495	4
Kulkas	4	0.396	24
AC	6	0.3982	8
Pompa Air	2	0.572	4
Televisi	2	0.2376	10
Lampu Industri 50W	30	4.29	21
Mesin Cuci	5	1.155	10
Mesin Jahit 60W	50	13.2	8

Data berikut dapat diambil kesimpulan jumlah total daya yang digunakan dalam 1 hari adalah 229,0572 kWh penggunaan peralatan listrik pada PT. Sun Chang. Penggunaan daya tersebut bersamaan dengan penggunaan kebutuhan daya rumah setiap harinya. Berikut konsumsi daya listrik rata-rata per jam

Tabel 4.1.2 Konsumsi listrik PT. Sun Chang

Jam Pemakaian	Rata – Rata Pemakaian (kWh)
00.00 - 01.00	1.47
01.00 - 02.00	1.47
02.00 - 03.00	1.47
03.00 - 04.00	1.47
04.00 - 05.00	1.47
05.00 - 06.00	1.47
06.00 - 07.00	11.74
07.00 - 08.00	14.087
08.00 - 09.00	14.327
09.00 - 10.00	14.727
10.00 - 11.00	14.727
11.00 - 12.00	16.385
12.00 - 13.00	19.445
13.00 - 14.00	19.445
14.00 - 15.00	19.685
15.00 - 16.00	16.385
16.00 - 17.00	13.085
17.00 - 18.00	4.93
18.00 - 19.00	4.93
19.00 - 20.00	1.71
20.00 - 21.00	1.47
21.00 - 22.00	1.47
22.00 - 23.00	1.47
23.00 - 00.00	1.47

Dari tabel diatas dapat disimpulkan bahwa pemakaian beban paling banyak terjadi pada pagi kesiang hari dengan jangka waktu pemakaian mesin selama 8 jam perhari. Karena SAM bisa menggunakan data total beban per bulan maka total beban per bulan ialah 6871,716 kWh dengan beban puncak ialah 19,685 kWh pada jam 14.00 -15.00. SAM bisa menggunakan data beban per jam namun data beban per jam harus diisi secara detail dalam satu tahun yaitu 8760.

4.2 Spesifikasi Pembangkit

Model Performa merupakan spesifikasi Alat Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Mesin Stirling. Data diambil dari empat organisasi penelitian yang berbeda yaitu SES (*Stirling Energy Systems*), WGA (*Western Governors Association*), SBP (*Schlaic-Bergermann und Partner*) dan SAIC (*Science Applications International Corporation*) untuk mengoptimalkan penggunaan Pembangkit ini dalam skala besar. Laporan Akhir Tahun keempat organisasi dikumpulkan ke NREL, Laporan ini dijadikan sebagai referensi data acuan untuk mengembangkan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Berbasis Mesin Stirling di masa depan. Data diambil dari hasil wawancara dengan Aron Dobos, Manajer Proyek dan Pembuat Software SAM, serta Ty Neises dan Michael Wagner Pengembang teknologi Pembangkit tenaga surya dengan memfokuskan sinar matahari melalui e-mail. Aron Dobos memberikan data input dan buku manual serta laporan akhir tahun melalui e-mail untuk membantu penulis.

Input Datanya terdiri atas :

4.2.1 Data Wilayah

Lokasi dan sumber data merupakan data cuaca yang terjadi pada tempat yang akan dianalisis. Lokasi dan sumber data yang didapat pada koordinat -7.808868 lintang selatan dan 110.320930 bujur timur dengan zona waktu GMT+7. Karena tidak tersedianya lokasi dan sumber data cuaca indonesia maka data cuaca menggunakan koordinat yang dekat dengan koordinat data asli yaitu -12.4 lintang selatan dan 130.87 bujur timur dengan zona waktu GMT+9.5. Adapun data cuaca dari Thailand dengan zona waktu GMT+7 namun posisi negara thailand berada di utara garis khatulistiwa dengan koordinat yang jauh berbeda. Hal ini mempengaruhi perbedaan suhu dan sudut sinar matahari di area tersebut dengan lokasi asli. Data Lokasi sangat penting digunakan karena menyangkut masalah cuaca dan iklim di area tersebut, data wilayah yang tidak sesuai akan mengakibatkan ketidakcocokan hasil simulasi terhadap produksi dan kinerja sistem nantinya.

Location	Station ID	Latitude	Longitude	Elevation	Time Zone	Data Source
Australia AUS Darwin (INTL)	941200	-12.4	130.87	9.5	30	IWEC
Brazil BRA Salvador (INTL)	832290	-13.02	-38.52	-3	51	SWERA
Brazil BRA Bom_Jesus_Da_Lapa (INTL)	832880	-13.27	-43.42	-3	458	SWERA
Peru PER Cuzco (INTL)	846860	-13.55	-71.98	-5	3249	IWEC

City	Darwin	Time zone	GMT 9.5	Latitude	-12.4 °N
State	AUS	Elevation	30 m	Longitude	130.87 °E
Country	Australia	Data Source	IWEC	Station ID	941200
Data file	C:\SAM\2015.6.30\solar_resource\Australia AUS Darwin (INTL).csv				

Annual irradiance and temperature summary

Global horizontal	NaN kWh/m ² /day	Average temperature	27.2 °C
Direct normal (beam)	4.60 kWh/m ² /day	Average wind speed	2.9 m/s
Diffuse horizontal	2.40 kWh/m ² /day		

[Visit SAM weather data website](#)

Gambar 4.2.1 Lokasi dan sumber data cuaca

4.2.2 Solar Field

Solar Field diasumsikan sebagai luas area daerah yang digunakan kolektor parabola atau *concentrator*, dibagi menjadi north-south dan east-west.

Dish Stirling, Commercial	Field Layout	System Properties
Location and Resource	Number of Collectors, North-South: 1	Wind Stow Speed: 16 m/s
Solar Field	Number of Collectors, East-West: 1	Total Capacity: 25 kW
Collector	Number of Collectors: 1	The total system capacity is based off the nameplate output of each collector, not the simulated energy output.
Receiver	Collector Separation North-South: 15 m	
Stirling Engine	Collector Separation East-West: 15 m	
Parasitics	Total Solar Field Area: 225 m ²	
Reference Inputs	Array Shading Parameters	
System Costs	Ground Slope, North-South: 0 deg	Slot Gap Width: 1 m
Lifetime	Ground Slope, East-West: 0 deg	Slot Gap Height: 1 m
Financial Parameters	Availability and Curtailment	
	Performance adjustment: Edit losses...	Constant loss: 4.0 % Hourly losses: None Custom periods: None

Gambar 4.2.2 Spesifikasi *Solar Field*.

Field Layout

- *Number of Collectors North-South*
Jumlah kolektor parabola pada bagian utara dan selatan.
- *Number of Collectors East-West*
Jumlah kolektor parabola pada bagian timur dan barat.
- *Number of Collectors*
Jumlah total kolektor parabola di area yang terpakai.

- *Collector Separation North-South (m)*
Jarak antara dua buah kolektor parabola pada area utara dan selatan, dengan satuan meter (m).
- *Collector Separation East-West (m)*
Jarak antara dua buah kolektor parabola pada area timur dan barat, dengan satuan meter (m).
- *Total Solar Field Area (m²)*
Total luas area tanah yang digunakan oleh kolektor.

System Properties

- *Wind Stow Speed (m/s)*
Kecepatan angin yang ada pada daerah tersebut terisi otomatis sesuai dengan database cuaca atau input sendiri.
- *Total Solar Field Capacity (kWe)*
Nilai daya keluaran dari sistem.

Array Shading Parameters

Parameter ini untuk mengkalkulasikan bayangan yang menutupi collector dan pengaruhnya pada sistem lainnya. Parameter ini sebaiknya dilewatkan saja karena nantinya terisi sendiri.

4.2.3 Collector

Parameter kolektor ini untuk mengkalkulasikan daya keluaran dari kolektor. Parameternya sendiri untuk satu kolektor parabola dan diasumsikan sama untuk kolektor yang lainnya.

Dish Stirling, Commercial	
Location and Resource	
Solar Field	
Collector	
Receiver	

Mirror Parameters	
Projected Mirror Area	<input type="text" value="87.7"/> m2
Total Mirror Area	<input type="text" value="91"/> m2
Reflectance	<input type="text" value="0.94"/> (0..1)

Performance	
Insolation Cut-In	<input type="text" value="200"/> W/m2

Gambar 4.2.3 Spesifikasi *Collector*.

Mirrors Parameters

- *Projected Mirror Area (m²)*
Luas satu cermin pemfokus yang merefleksikan energi matahari ke receiver.
- *Total Mirror Area (m²)*
Total keseluruhan cermin pemfokus yang ada dalam kolektor parabola.
- *Mirror Reflectance*
Tingkat reflektansi cermin untuk memfokuskan cahaya matahari, dimana ketika *Mirror Reflectance* mendekati nilai satu maka cahaya yang masuk ke kolektor akan dipantulkan 100%. Hal ini disebut juga dengan Intercept Factor. Mirror Reflectance dipengaruhi oleh bahan pembuatan cermin misal untuk polimer perak bernilai 0.906, 4mm kaca bernilai 0.923, 1mm kaca bernilai 0.945, dan perak bernilai 0.957.

Performance

- *Insulation Cut In (W/m²)*
Kondisi dimana sistem pendinginan bekerja. Digunakan untuk menghitung parasitic losses. Parasitic losses ialah daya yang hilang akibat adanya beban masih terpasang meski pembangkit dalam kondisi mati atau off, dapat disebut juga rugi-rugi daya.

Default Parameter

Parameter yang telah di-*setting* secara otomatis oleh SES, WGA, SBP dan SAIC ialah sebagai berikut :

Tabel 4.2.1 Collector Default Parameter Values

Variable	SES	WGA	SBP	SAIC
<i>Projected Mirror Area</i>	87.7	41.2	56.7	113.5
<i>Total Mirror Area</i>	91.0	42.9	60	117.2
<i>Insolation Cut In</i>	200	275	250	375
<i>Wind Stow Speed</i>	16	16	16	16
<i>Receiver Aperture Diameter for Reference Intercept Factor</i>	0.184	0.14	0.15	0.38
<i>Reference Intercept Factor</i>	0.995	0.998	0.93	0.90
<i>Reference Focal Length of Mirror</i>	7.45	5.45	4.5	12.0

4.2.4 Receiver

Receiver menyerap energi panas dari kolektor parabola dan mengirimkan energi untuk menggerakkan zat cair dalam mesin stirling.

Dish Stirling, Commercial	Aperture
Location and Resource	Receiver Aperture Diameter <input type="text" value="0.184"/> m
Solar Field	Insulation
Collector	Thickness <input type="text" value="0.075"/> m
Receiver	Thermal Conductivity <input type="text" value="0.06"/> W/mK
Stirling Engine	Absorber
Parasitics	Absorber Absorptance <input type="text" value="0.9"/>
Reference Inputs	Absorber Surface Area <input type="text" value="0.6"/> m ²
System Costs	Cavity
Lifetime	Cavity Absorptance <input type="text" value="0.6"/>
Financial Parameters	Cavity Surface Area <input type="text" value="0.6"/> m ²
	Internal Diameter of Cavity Perp. to Aperture <input type="text" value="0.46"/> m
	Internal Cavity Pressure With Aperture Covered <input type="text" value="101"/> kPa
	Internal Depth of Cavity Perp. to Aperture <input type="text" value="0.46"/> m

Gambar 4.2.4 Spesifikasi Receiver.

Aperture

- *Receiver Aperture Diameter* (m)
Diameter lubang receiver untuk melewatkan cahaya matahari yang terfokus sampai ke arbsorber. Disini tempat terjadinya losses Radiasi dan konveksi dengan melepaskan panas melalui dinding aperture. Nilai diameternya berkisar antara 0.14 m sampai 0.20 m.

Insulation

- *Thickness* (m)
Ketebalan receiver. Digunakan untuk menghitung losses Konduksi.
- *Thermal Conductivity* (W/m-K)
Konduktivitas panas dari plat *receiver* pada suhu 550°C. Material seperti Fiber Keramik bernilai 0.061 W/m-K. Digunakan untuk menghitung losses Konduksi.

Arbsorber

Arbsorber merupakan komponen dari receiver yang menyerap radiasi surya dan mengirim eneeqi panas ke mesin stirling.

- *Arbsorber Arbsorptance*
Rasio energi yang terserap ketika radiasi surya sampai ke arbsorber *receiver*. Digunakan untuk menghitung losses Radiasi.
- *Arbsorber Surface Area* (m²)
Luas permukaan *Arbsorber*.

Cavity

Cavity merupakan rongga dan lapisan tipis (*cavity wall*) yang berada diantara *Aperture* dan *Arbsorber*. *Cavity* berfungsi mempertahankan panas radiasi panas surya agar lebih mudah terserap oleh arbsorber dan mengurangi losses konduktansi, radiasi, konveksi yang terjadi pada receiver.

- *Cavity Arbsorptance*
Rasio energi yang terserap ketika radiasi surya sampai ke *cavity wall*.

- *Cavity Surface Area (m²)*
Luas Permukaan *cavity wall*. Nilainya sama dengan *Absorber Surface Area*.
- *Internal diameter of the Cavity Perpendicular to Aperture (m)*
Diameter rata-rata *cavity* yang tegak lurus *aperture*.
- *Internal Cavity Pressure with Aperture covered (kPa)*
Besarnya tekanan pada *cavity*. Parameter ini berlaku jika *aperture* menggunakan pelindung untuk mengurangi losses konveksi.
- *Internal Depth of the Cavity Perpendicular to Aperture (m)*
Kedalaman *Cavity*. Jarak antara *Aperture* dan *Absorber*.
Default Parameter
Berikut parameter Receiver yang telah tersetting:

Tabel 4.2.2 *Receiver default parameter values.*

Variable	SES	WGA	SBP	SAIC
<i>Absorber Absorptance</i>	0.90	0.90	0.90	0.90
<i>Absorber Surface Area</i>	0.6	0.15	0.15	0.8
<i>Cavity Wall Absorptance</i>	0.6	0.6	0.6	0.6
<i>Cavity Wall Surface Area</i>	0.6	0.15	0.15	0.8
<i>Internal Diameter of the Cavity Perpendicular to the Receiver Aperture</i>	0.46	0.35	0.37	0.5
<i>Internal Depth of the Cavity Perpendicular to the Aperture</i>	0.46	0.35	0.37	0.5
<i>Receiver Insulation Thickness</i>	0.075	0.075	0.075	0.075
<i>Insulation Thermal Conductivity</i>	0.06	0.06	0.06	0.06
<i>Delta Temp. for DIR Receiver</i>	90	70	70	90

4.2.5 Stirling Engine

Mesin Stirling mengubah panas dari absorber energi mekanik untuk menggerakkan generator.

Dish Stirling, Commercial	Estimated Generation
Location and Resource	Single Unit Nameplate Capacity <input type="text" value="25"/> kW
Solar Field	Engine Parameters
Collector	Heater Head Set Temperature <input type="text" value="993"/> Kelvin
Receiver	Heater Head Lowest Temperature <input type="text" value="973"/> Kelvin
Stirling Engine	Engine Operating Speed <input type="text" value="1800"/> rpm
Parasitics	Displaced Engine Volume <input type="text" value="0.00038"/> m ³
Reference Inputs	Beale Curve Fit Coefficients
System Costs	Beale Constant Coefficient <input type="text" value="0.04247"/>
Lifetime	Beale First-order Coefficient <input type="text" value="1.682e-005"/>
Financial Parameters	Beale Second-order Coefficient <input type="text" value="-5.105e-010"/>
Incentives	Beale Third-order Coefficient <input type="text" value="7.073e-015"/>
	Beale Fourth-order Coefficient <input type="text" value="-3.586e-020"/>
	Pressure Curve Fit Coefficients
	Pressure Constant Coefficient <input type="text" value="0.658769"/>
	Pressure First-order Coefficient <input type="text" value="0.00023496"/>

Gambar 4.2.5 Spesifikasi Mesin Stirling.

Estimated Generation

- *Single Unit Nameplate Capacity (kW)*
Nilai daya listrik keluaran dari generator dalam satu sistem pembangkit.

Engine Parameters

- *Heater Head Set Temperature (K)*
Temperatur set point ruang ekspansi piston.
- *Heater Head Lowest Temperature*
Temperatur terendah ruang ekspansi dalam beberapa silinder heater.
- *Engine Operating Speed (rpm)*
Kecepatan putaran mesin.
- *Displaced Engine Volume (m³)*
Volume piston.

Tabel 4.2.3 *Stirling Engine Default Parameter values.*

Variable	SES	WGA	SBP	SAIC
<i>Set Temperature</i>	993	903	903	993
<i>Lowest Temperature</i>	973	903	903	973
<i>Engine Speed</i>	1800	1800	1800	2200
<i>Displaced Engine Volume</i>	3.80×10^{-4}	1.60×10^{-4}	1.60×10^{-4}	4.80×10^{-4}
<i>Beale Constant Coefficient</i>	4.247×10^{-2}	8.50686×10^{-2}	$-1,82451 \times 10^{-3}$	-1.6×10^{-2}
<i>Beale First-order Coefficient</i>	1.682×10^{-5}	1.94116×10^{-5}	2.60289×10^{-5}	1.5×10^{-5}
<i>Beale Second-order Coefficient</i>	-5.105×10^{-10}	-3.18449×10^{-10}	-4.68164×10^{-10}	-3.50×10^{-10}
<i>Beale Third-order Coefficient</i>	7.07260×10^{-15}	0	0	3.85×10^{-15}
<i>Beale Fourth-order Coefficient</i>	-3.586×10^{-20}	0	0	-1.6×10^{-20}
<i>Pressure Constant Coefficient</i>	6.58769×10^{-1}	-7.36342×10^{-1}	-2.00284×10^{-2}	3.47944×10^{-5}
<i>First-order Coefficient</i>	2.34963×10^{-4}	3.6416×10^{-4}	3.52522×10^{-4}	5.26329×10^{-9}

Beale Curve Fit Coefficients

Nilai Beale adalah koefisiensi dari persamaan curve-fit Beale yang mendeskripsikan daya keluaran mesin yang berfungsi sebagai daya input dan tekanan mesin.

Pressure Curve Fit Coefficients

Persamaan Tekanan Curve-fit menjelaskan tekanan mesin berfungsi sebagai daya input dalam sistem volume yang konstan.

Default Parameter

Berikut Parameter Mesin Stirling yang telah tersetting:

4.2.6 Parasitics

Parasitics atau Parasit dideskripsikan sebagai daya listrik konsumsi pembangkit untuk pompa, kipas pendingin dan kontrol tracking.

Dish Stirling, Commercial	
Location and Resource	
Solar Field	
Collector	
Receiver	
Stirling Engine	
Parasitics	Parasitic Parameters
Reference Inputs	
System Costs	

Control System Parasitic Power, Avg.	150	W
Cooling System Pump Speed	1800	rpm
Cooling System Fan Speed 1	400	rpm
Cooling System Fan Speed 2	550	rpm
Cooling System Fan Speed 3	650	rpm
Cooling Fluid Temp. For Fan Speed 2 Cut-In	20	'C
Cooling Fluid Temp. For Fan Speed 3 Cut-In	30	'C
Cooling Fluid Type	V50%EG	
Cooler Effectiveness	0.6	(0..1)
Radiator Effectiveness	0.6	(0..1)
'b_cooler' Parameter	0.7	
'b_radiator' Parameter	0.7	

Gambar 4.2.6 Spesifikasi *Parasitics*.

Parasitic Parameters

- *Control System Parasitic Power, Avg. (W)*

Daya rata-rata yang digunakan oleh sistem kontrol tracking surya.

- *Cooling System Pump Speed (rpm)*

Kecepatan kerja pompa cairan pendingin.

- *Cooling System Fan Speed 1 (rpm)*

Kecepatan putaran Kipas ketika temperatur cairan pendingin lebih rendah dari temperatur fan speed 2 cut-in.

- *Cooling System Fan Speed 2 (rpm)*
Kecepatan putaran Kipas ketika temperatur cairan pendingin lebih tinggi dari temperatur fan speed 2 cut-in dan lebih rendah dari temperatur fan speed 3 cut-in.
- *Cooling System Fan Speed 1 (rpm)*
Kecepatan putaran Kipas ketika temperatur cairan pendingin lebih rendah dari temperatur fan speed 3 cut-in.

- *Cooling Fluid Temp. for Fan Speed 2 Cut-In (°C)*
Temperatur set point cairan pendingin kipas.
- *Cooling Fluid Temp. for Fan Speed 3 Cut-In (°C)*
Temperatur set point cairan pendingin kipas.
- *Cooling Fluid Type*
Jenis cairan pendingin yang digunakan. Pilihannya adalah air, 50% *ethylene glycol* (EG), 25% *ethylene glycol*, 40% *propylene glycol* (PG), dan 40% *propylene glycol*.

- *Cooler Effectiveness*
Kefektifan pendinginan fluida kerja dalam sistem. Nilai 0-100%.
- *Radiator Effectiveness*
Kefektifan Radiator pendingin dalam sistem. Nilai 0-100%.

4.2.7 Reference Inputs

SAM menggunakan parameter kondisi referensi dalam proses iterasi (pengulangan) untuk menghitung error keseluruhan kolektor dengan memberikan nilai diameter aperture, jarak titik fokus dan diameter kolektor. Ketika error kolektor dihitung, nilainya dapat digunakan untuk menghitung intercept factor pada diameter aperture yang berbeda.

Dish Stirling, Commercial	
Location and Resource	
Solar Field	
Collector	
Receiver	
Stirling Engine	
Parasitics	
Reference Inputs	
System Costs	
Lifetime	
Financial Parameters	
Incentives	

Collector Reference Condition Inputs	
Intercept Factor	<input type="text" value="0.995"/> (0..1)
Focal Length of Mirror	<input type="text" value="7.45"/> m

Receiver Reference Condition Inputs	
Aperture Diameter	<input type="text" value="0.184"/> m
Delta Temp. for Receiver (DIR Type)	<input type="text" value="90"/> Kelvin

Parasitic Variable Reference Conditions	
Pump Parasitic Power	<input type="text" value="100"/> W
Pump Speed	<input type="text" value="1800"/> rpm
Cooling Fluid Type	<input type="text" value="V50%EG"/> ▾
Cooling Fluid Temperature	<input type="text" value="288"/> Kelvin
Cooling Fluid Volumetric Flow Rate	<input type="text" value="9"/> gal/min
Cooling System Fan Power	<input type="text" value="1000"/> W
Cooling System Fan Speed	<input type="text" value="890"/> rpm
Fan Air Density	<input type="text" value="1.2"/> kg/m ³
Fan Volumetric Flow Rate	<input type="text" value="6000"/> CFM

Gambar 4.2.7 Input Referensi Iterasi.

Collector Reference Condition Inputs

- *Intercept Factor*
Pecahan Energi matahari terefleksi dari cermin parabola yang masuk kedalam aperture receiver. Intercept factor dapat dinaikkan dengan menaikkan rasio konsentrasi atau memperlebar aperture. Intercept Factor bernilai antara 0.94 – 0.99.
 - *Focal Length of Mirror (m)*
Jauhnya titik fokus cermin parabola.
- Default Parameter*

Tabel 4.2.4 Parasitic Variable Reference Conditions.

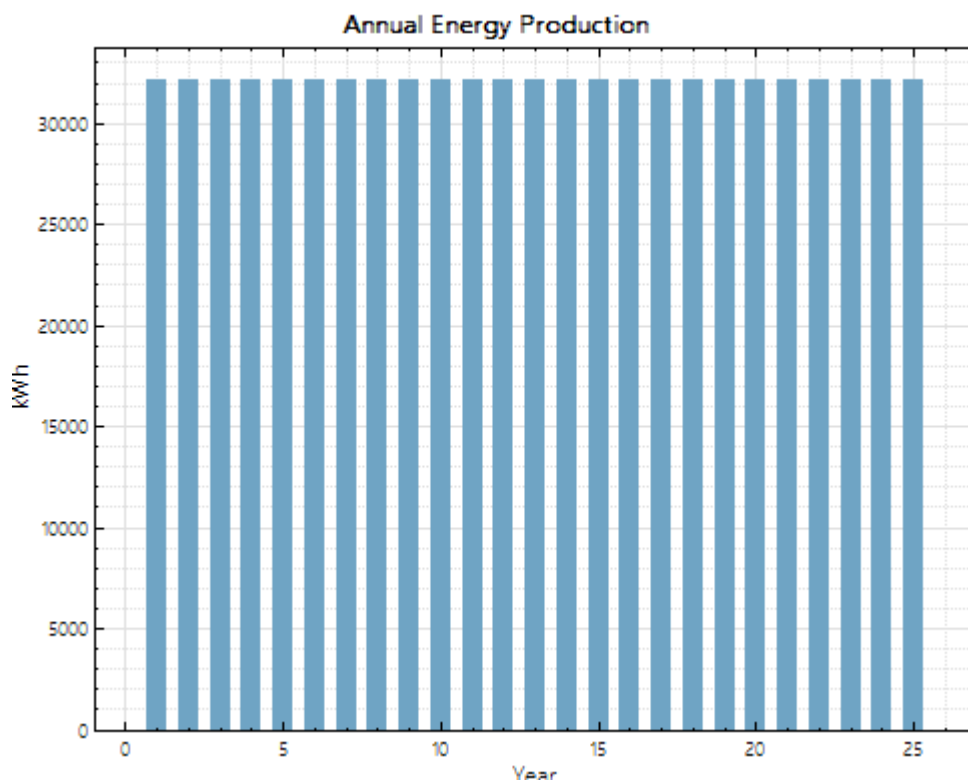
Variable	SES	WGA	SBP	SAIC
<i>Pump Parasitic Power</i>	150	100	175	300
<i>Pump Speed (rpm)</i>	1800	1800	1800	1800
<i>Cooling Fluid Type</i>	50% EG	50% EG	water	50% EG
<i>Cooling Fluid Temperature (K)</i>	288	288	288	288
<i>Cooling Fluid Volumetric Flow Rate (gal/min)</i>	9	7.5	7.5	12
<i>Cooling System Fan Test Power (W)</i>	1000	410	510	2500
<i>Cooling System Fan Test Speed (rpm)</i>	890	890	890	850
<i>Fan Air Density (kg/m³)</i>	1.2	1.2	1.2	1.2
<i>CFM</i>	6000	4000	4500	10000

4.3 Analisis Data Model *Stirling Energy Systems*

Model Performa yang telah diisi kemudian disimulasikan oleh System Advisor Model, karena data yang dianalisis mencakup terlalu banyak maka analisis disesuaikan dengan rumusan masalahnya yaitu Produksi Energi, Rugi-rugi Daya, Efisiensi dan Cash Flow.

4.3.1 Produksi Energi

Produksi Energi Tahunan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya berbasis mesin *stirling* milik SES ialah 32.183 kWh.

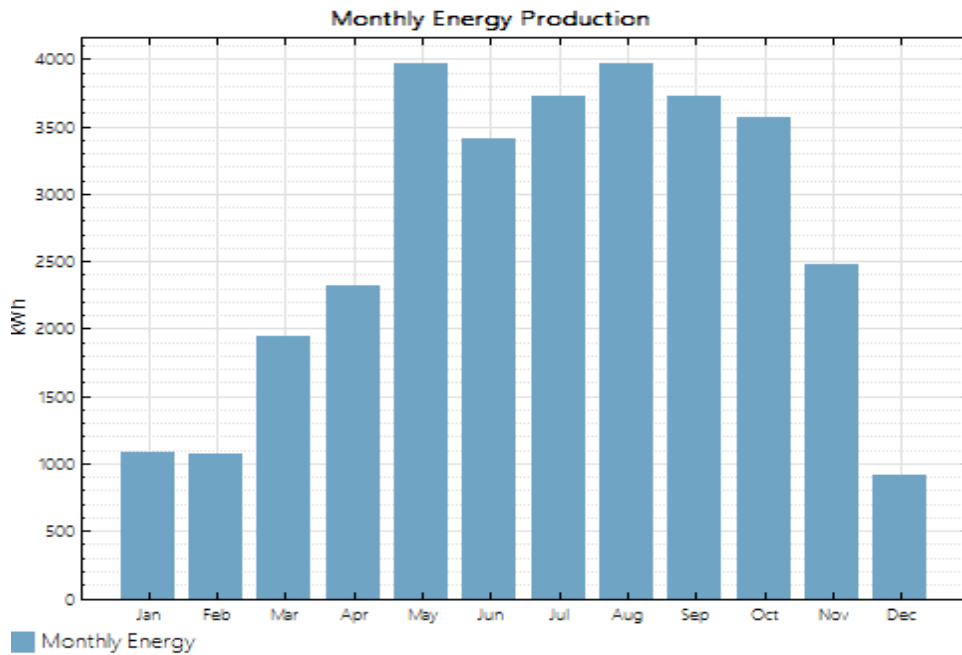


Gambar 4.3.1 Produksi Energi Tahunan SES

Produksi Energi Tahunan Pembangkit tidak mengalami degradasi sesuai dengan hasil analisa infinia corporation yang menyatakan solar dish *stirling* memiliki catatan umur pengoperasian dalam jangka waktu lama dan memiliki kehandalan yang tinggi.

Tabel 4.3.1 Produksi Energi Bulanan SES

Bulan	Energy (kWh)
Jan	1085,61
Feb	1067,87
Mar	1944,12
Apr	2317,58
May	3965,54
Jun	3413,06
Jul	3731,74
Aug	3970,80
Sep	3722,38
Oct	3567,93
Nov	2484,28
Dec	911,87



Gambar 4.3.2 Produksi Energi Bulanan SES

Sistem Pembangkit menghasilkan energi optimal pada bulan Maret sampai Oktober. Pada bulan November sampai April produksinya menurun, hal ini disebabkan oleh keadaan iklim di lokasi tersebut. Indonesia memiliki dua musim

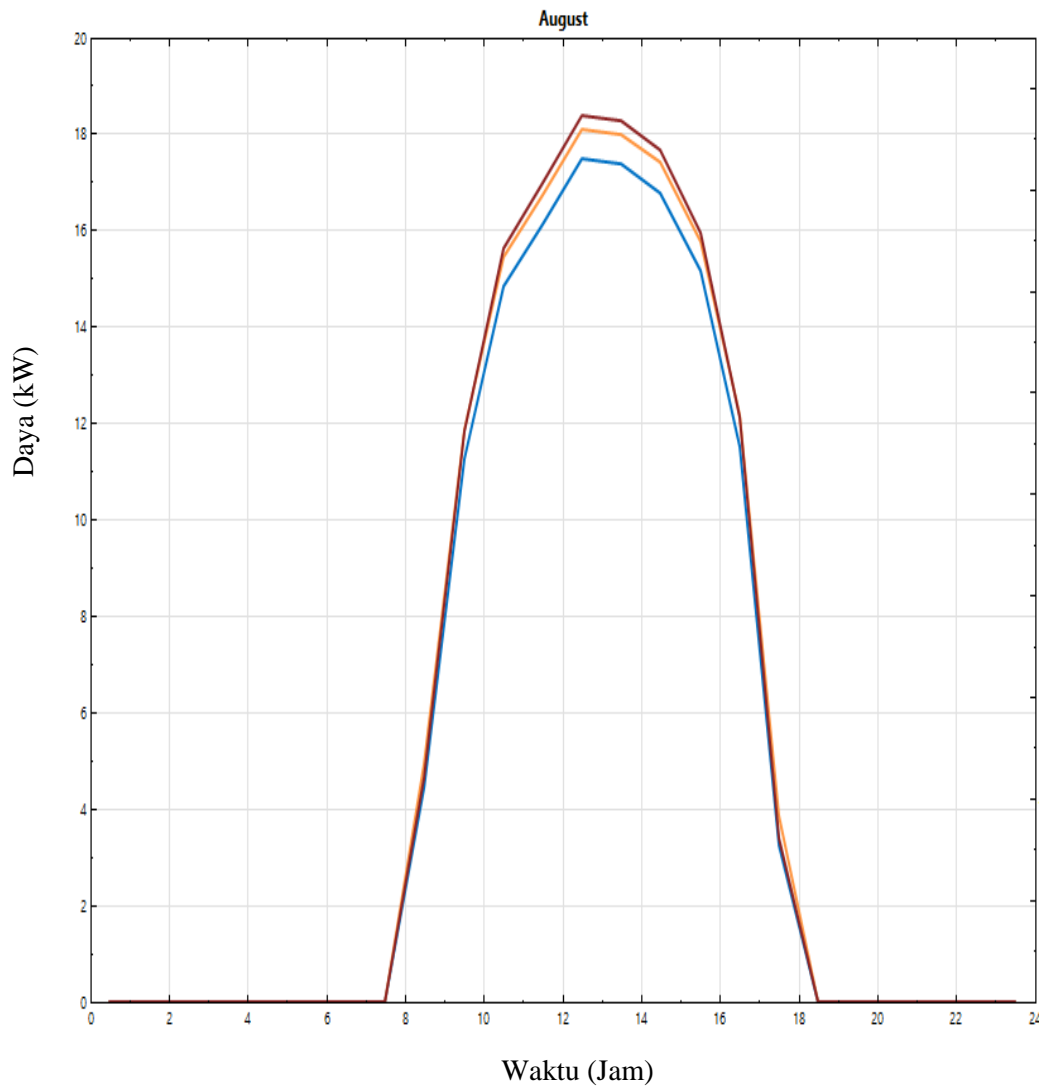
yaitu musim hujan pada bulan Oktober-Maret dan musim kemarau pada bulan April-September.

4.3.2 Efisiensi dan Rugi-Rugi Daya

Berikut hasil perbandingan daya pembangkit hasil simulasi SAM :

Tabel 4.3.2 Perbandingan Daya Pembangkit SES

Tanggal dan Jam	Daya Total Mesin (kW)	Daya Nyata Mesin (kW)	Daya Parasit (W)	Daya yang dihasilkan sistem (kW)
Aug 1 12:00 am	0	0	1,18	0
Aug 1 01:00 am	0	0	1,18	0
Aug 1 02:00 am	0	0	1,18	0
Aug 1 03:00 am	0	0	1,18	0
Aug 1 04:00 am	0	0	1,18	0
Aug 1 05:00 am	0	0	1,18	0
Aug 1 06:00 am	0	0	1,18	0
Aug 1 07:00 am	0	0	1,17	0
Aug 1 08:00 am	0	0	253,45	0
Aug 1 09:00 am	11,54	12,17	633,38	11,54
Aug 1 10:00 am	15,86	16,48	630,12	15,86
Aug 1 11:00 am	16,70	17,33	628,70	16,70
Aug 1 12:00 pm	18,46	19,09	628,63	18,46
Aug 1 01:00 pm	18,89	19,52	627,66	18,89
Aug 1 02:00 pm	18,69	19,32	627,03	18,69
Aug 1 03:00 pm	16,68	17,31	626,95	16,68
Aug 1 04:00 pm	12,67	13,30	628,80	12,67
Aug 1 05:00 pm	4,03	4,66	633,27	4,03
Aug 1 06:00 pm	0	0	1,17	0
Aug 1 07:00 pm	0	0	1,17	0
Aug 1 08:00 pm	0	0	1,17	0
Aug 1 09:00 pm	0	0	1,17	0
Aug 1 10:00 pm	0	0	1,17	0
Aug 1 11:00 pm	0	0	1,18	0



Keterangan :

- Daya Total Mesin
- Daya Nyata Mesin
- Daya yang dihasilkan Sistem

Gambar 4.3.3 Grafik Perbandingan Daya Pembangkit SES.

Tabel diatas merupakan daya yang dihasilkan dan digunakan oleh sistem selama satu hari. Pembangkit Listrik bekerja mulai pada pukul 08.00 sampai 15.00 GMT+9,5. Daya maksimal yang dihasilkan pembangkit yaitu pada jam

13.00-14.00 hal ini disebabkan matahari berada pada titik tertinggi. Daya parasit adalah daya yang digunakan oleh pembangkit untuk keperluan sistem kontrol dan sistem pendinginan, daya 1,17 Watt menandakan pembangkit dalam kondisi tidur atau tidak bekerja, daya sekitar 253 Watt menandakan pembangkit dalam kondisi *Standby* atau siap dan daya sekitar 630 Watt menandakan pembangkit dalam kondisi aktif atau bekerja. Daya total mesin dikurangi daya parasit menghasilkan daya nyata atau daya yang sebenarnya dihasilkan oleh PCU atau *heat engine*. Daya ini kemudian disalurkan ke dalam sistem atau *grid*. Pada penyaluran daya ini, terdeteksi daya sistem yang dihasilkan lebih rendah, hal ini berarti daya pada sistem mengalami rugi-rugi daya dalam penyaluran, penyebab rugi-rugi daya ini disebabkan oleh Tahanan Kabel penghantar (R).

Rugi-rugi daya adalah daya nyata mesin dikurangi daya yang dihasilkan sistem, contoh perhitungannya :

Rugi-rugi daya pada jam 09.00 = 11,5411-11,0794 = 0,4617 kW = 461,7 Watt.

Efisiensi daya mesin adalah daya nyata mesin dibagi daya total mesin dikalikan 100%, contoh perhitungannya :

$$\text{Efisiensi daya mesin jam 09.00} = \frac{11,5411}{12,1745} \times 100\% = 94,8\%$$

Efisiensi daya sistem adalah daya yang dihasilkan sistem dibagi daya nyata mesin dikalikan 100%, contoh perhitungannya :

$$\text{Efisiensi daya sistem jam 09.00} = \frac{11,0794}{11,5411} \times 100\% = 96\%$$

Dibawah ini merupakan tabel hasil perhitungan keseluruhan rugi-rugi dan efisiensi daya :

Tabel 4.3.3 Rugi-rugi dan efisiensi daya SES

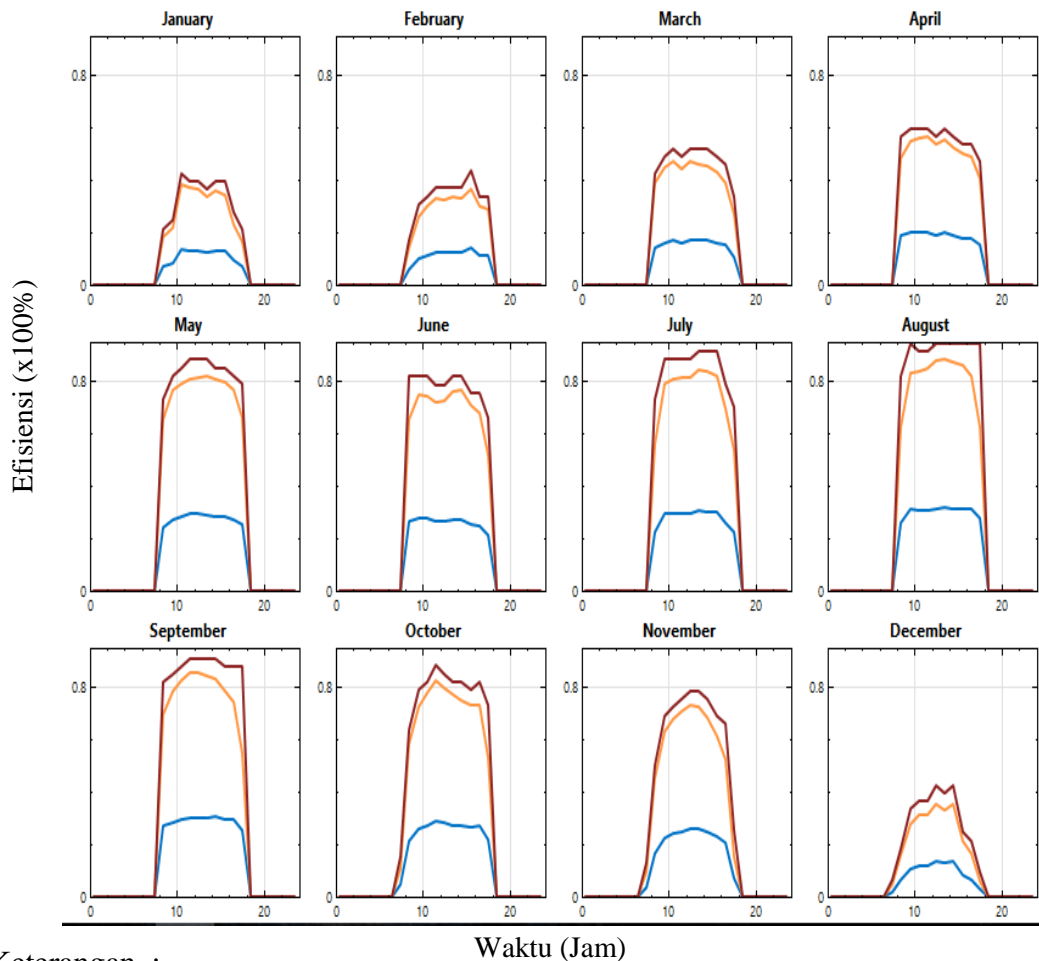
Tanggal dan Jam	Rugi-rugi Daya (kW)	Efisiensi Daya Mesin	Efisiensi Daya Sistem
Aug 1 12:00 am	0	0	0
Aug 1 01:00 am	0	0	0
Aug 1 02:00 am	0	0	0
Aug 1 03:00 am	0	0	0
Aug 1 04:00 am	0	0	0
Aug 1 05:00 am	0	0	0
Aug 1 06:00 am	0	0	0
Aug 1 07:00 am	0	0	0
Aug 1 08:00 am	0	0	0
Aug 1 09:00 am	0,4617	0,95	0,96
Aug 1 10:00 am	0,6345	0,96	0,96
Aug 1 11:00 am	0,6682	0,96	0,96
Aug 1 12:00 pm	0,7384	0,97	0,96
Aug 1 01:00 pm	0,7557	0,97	0,96
Aug 1 02:00 pm	0,7475	0,97	0,96
Aug 1 03:00 pm	0,6672	0,96	0,96
Aug 1 04:00 pm	0,5067	0,95	0,96
Aug 1 05:00 pm	0,1612	0,86	0,96
Aug 1 06:00 pm	0	0	0
Aug 1 07:00 pm	0	0	0
Aug 1 08:00 pm	0	0	0
Aug 1 09:00 pm	0	0	0
Aug 1 10:00 pm	0	0	0
Aug 1 11:00 pm	0	0	0

Rugi-rugi daya pembangkit ini tidak besar sehingga efisiensi daya mesin dan sistemnya sangat tinggi dengan rata-rata efisiensinya diatas 90%. Dengan

System Advisor Model membuktikan Pembangkit Listrik tenaga surya berbasis mesin stirling ini memiliki efisiensi yang sangat tinggi.

4.3.3 Efisiensi Kerja Sistem

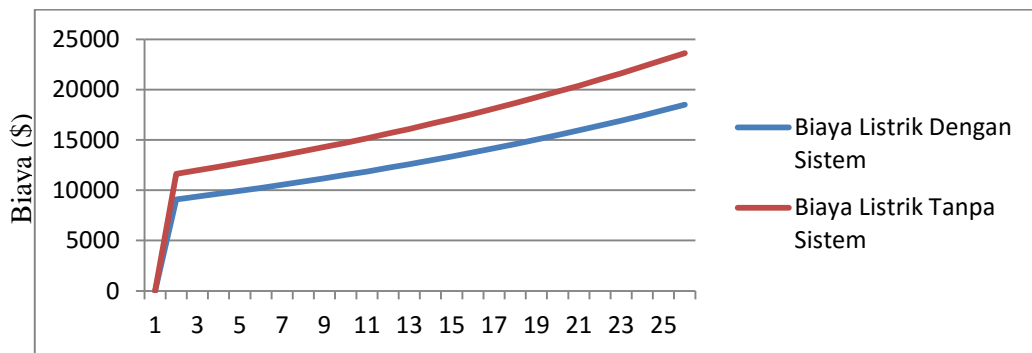
Efisiensi kerja sistem adalah keefektifan kerja sistem mulai dari collector, receiver dan heat engine menkonversikan energi sesuai dengan tujuan sistem tersebut. Keefektifan kinerja sistem ini tidak dapat dihitung secara manual harus memakai software atau program tertentu. Berikut hasil efisiensi kerja sistem pembangkit tenaga surya berbasis mesin stirling :



Gambar 4.3.4 Efisiensi Kerja *Collector*, *Receiver* dan Mesin Stirling SES.

Efisiensi Kerja Sistem maksimal berada pada musim kemarau yaitu bulan Mei sampai Oktober. Kolektor memfokuskan lebih dari 80% sinar matahari yang diterima menjadi energi panas menuju ke *receiver*. *Receiver* menyerap lebih dari 80% energi panas dari kolektor untuk menggerakkan piston mesin stirling. Energi gerak pada mesin stirling ini menggerakkan generator mengubah lebih dari 30% keseluruhan energi panas dan gerak menjadi energi listrik. Hal ini membenarkan bahwa pembangkit stirling ini memiliki efisiensi sistem sebesar 30% untuk mengubah energi panas matahari menjadi energi listrik. Efisiensi kerja sistem pembangkit ini memiliki efek domino, ketika efisiensi kerja kolektor turun maka efisiensi kerja *receiver* dan mesin ikut turun sehingga menghasilkan sedikit energi listrik, begitu juga sebaliknya.

4.3.4 Perbandingan Biaya Kelistrikan



Gambar 4.3.5 Perbandingan Biaya Kelistrikan

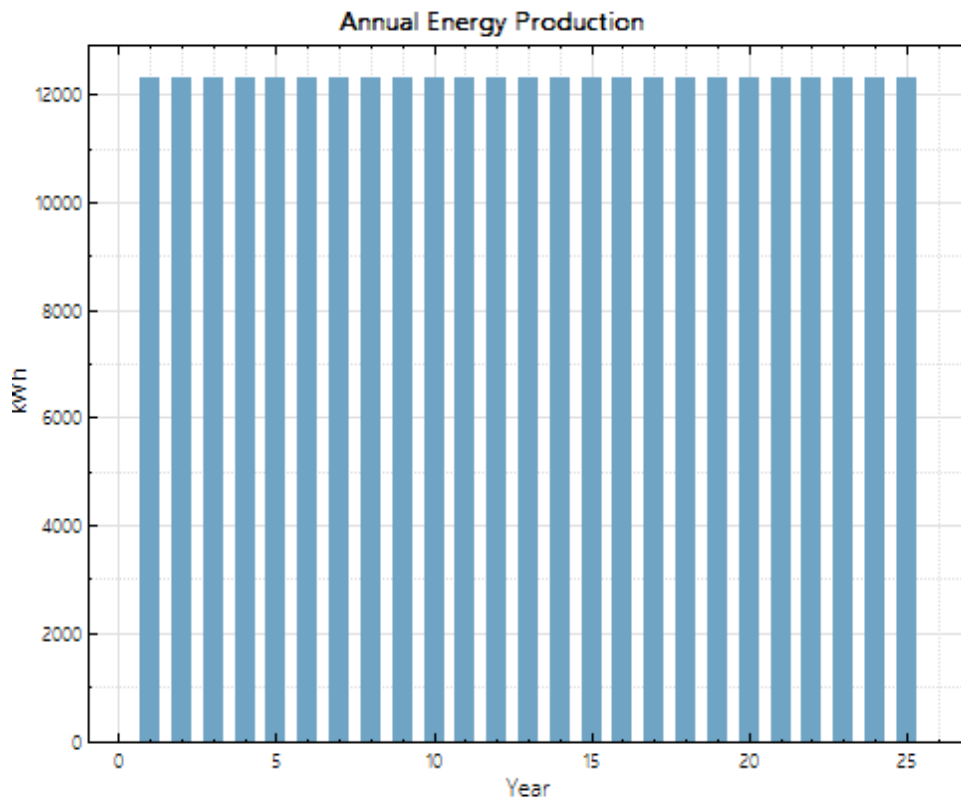
Sistem pembangkit ini selalu di bandingkan dengan *grid* yang telah lama teruji menjadi kebutuhan energi listrik untuk pelanggan dan dapat diketahui nilai Biaya Listrik tanpa *solar dish stirling* sebesar \$ 11,625. Nilai ini mengartikan bahwa apabila industri hanya berlangganan PLN maka harus membayar sebesar \$ 11,625 setiap tahunnya. Ketika disambungkan dengan sistem biaya listriknya berubah menjadi \$ 9,904 yang harus dibayarkan tiap tahunnya sehingga mengirit pemakaian biaya \$ 2,531 tiap tahunnya.

4.4 Analisis Data Model *Western Governor Association*

Model Performa yang telah diisi kemudian disimulasikan oleh System Advisor Model, karena data yang dianalisis mencakup terlalu banyak maka analisis disesuaikan dengan rumusan masalahnya yaitu Produksi Energi, Rugi-rugi Daya, Efisiensi dan Cash Flow.

4.4.1 Produksi Energi

Produksi Energi Tahunan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya berbasis mesin stirling milik WGA ialah 12.322 kWh.

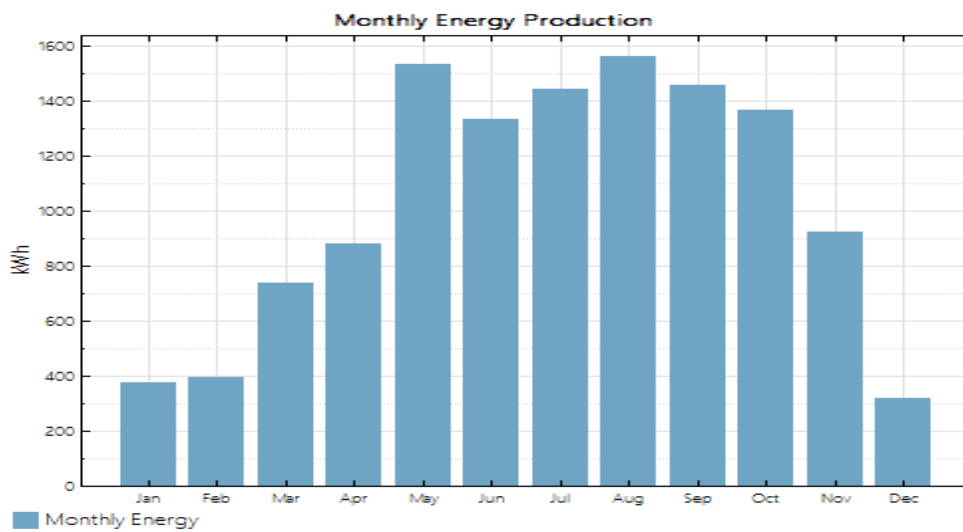


Gambar 4.4.1 Produksi Energi Tahunan WGA

Produksi Energi Tahunan Pembangkit tidak mengalami degradasi sesuai dengan hasil analisa infinia corporation yang menyatakan solar dish stirling memiliki catatan umur pengoperasian dalam jangka waktu lama dan memiliki kehandalan yang tinggi.

Tabel 4.4.1 Produksi Energi Bulanan

Bulan	Energy (kWh)
Jan	376,13
Feb	391,17
Mar	736,71
Apr	878,71
May	1533,38
Jun	1333,81
Jul	1444,61
Aug	1562,01
Sep	1458,64
Oct	1367,88
Nov	922,73
Dec	316,63



Gambar 4.4.2 Produksi Energi Bulanan WGA.

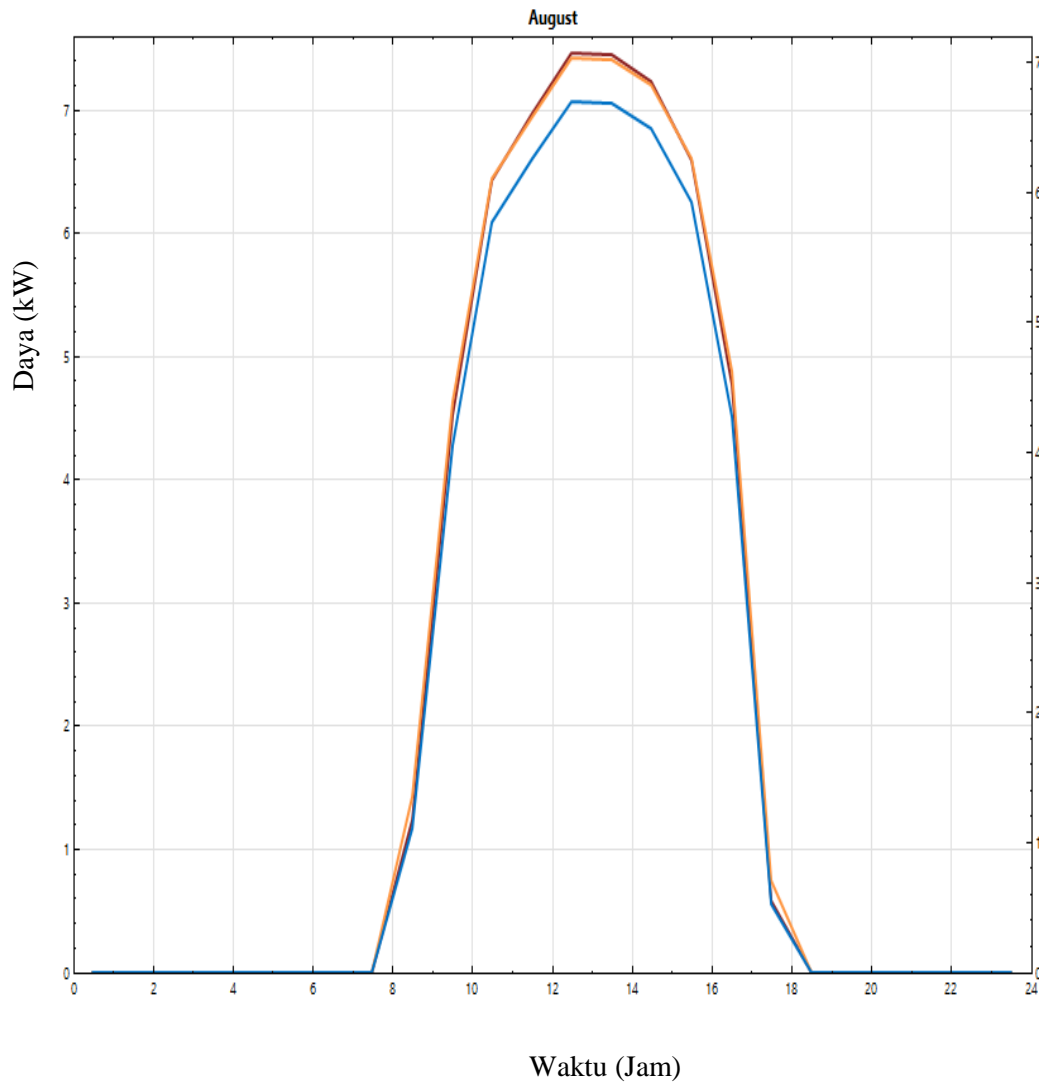
Sistem Pembangkit menghasilkan energi optimal pada bulan Maret sampai Oktober. Pada bulan November sampai April produksinya menurun, hal ini disebabkan oleh keadaan iklim di lokasi tersebut. Indonesia memiliki dua musim yaitu musim hujan pada bulan Oktober-Maret dan musim kemarau pada bulan April-September. Ini membuktikan bahwa pada bulan Maret sampai Oktober curah hujan pada lokasi rendah membuat sinar matahari terus bersinar sehingga

pembangkit menghasilkan energi tanpa ada gangguan. Pada bulan November sampai April, produktivitasnya tidak maksimal dikarenakan curah hujan yang tinggi pada bulan tersebut sehingga pembangkit hanya beberapa jam dalam satu hari bekerja maksimal.

4.4.2 Efisiensi dan Rugi-Rugi Daya

Tabel 4.4.2 Perbandingan Daya Pembangkit WGA

Tanggal dan Jam	Daya Total Mesin (kW)	Daya Nyata Mesin (kW)	Daya Parasit (W)	Daya yang dihasilkan sistem (kW)
Aug 1 12:00 am	0	0	1,07	0
Aug 1 01:00 am	0	0	1,07	0
Aug 1 02:00 am	0	0	1,07	0
Aug 1 03:00 am	0	0	1,07	0
Aug 1 04:00 am	0	0	1,07	0
Aug 1 05:00 am	0	0	1,07	0
Aug 1 06:00 am	0	0	1,07	0
Aug 1 07:00 am	0	0	1,07	0
Aug 1 08:00 am	0	0	203,35	0
Aug 1 09:00 am	4,59	4,23	358,67	4,23
Aug 1 10:00 am	6,68	6,33	356,83	6,33
Aug 1 11:00 am	7,02	6,67	356,10	6,67
Aug 1 12:00 pm	7,72	7,36	355,08	7,36
Aug 1 01:00 pm	7,91	7,55	354,26	7,55
Aug 1 02:00 pm	7,88	7,52	353,77	7,52
Aug 1 03:00 pm	7,16	6,80	354,87	6,80
Aug 1 04:00 pm	5,32	4,96	356,67	4,96
Aug 1 05:00 pm	1,36	1,00	358,73	1,00
Aug 1 06:00 pm	0	0	1,07	0
Aug 1 07:00 pm	0	0	1,07	0
Aug 1 08:00 pm	0	0	1,07	0
Aug 1 09:00 pm	0	0	1,07	0
Aug 1 10:00 pm	0	0	1,07	0
Aug 1 11:00 pm	0	0	1,07	0



Keterangan :

- Daya Total Mesin
- Daya Nyata Mesin
- Daya yang dihasilkan Sistem

Gambar 4.4.3 Grafik Perbandingan Daya Pembangkit SBP.

Tabel diatas merupakan daya yang dihasilkan dan digunakan oleh sistem selama satu hari. Pembangkit Listrik bekerja mulai pada pukul 08.00 sampai 15.00 GMT+9,5. Daya maksimal yang dihasilkan pembangkit yaitu pada jam

13.00-14.00 hal ini disebabkan matahari berada pada titik tertinggi. Daya parasit adalah daya yang digunakan oleh pembangkit untuk keperluan sistem kontrol dan sistem pendinginan, daya 1,07 Watt menandakan pembangkit dalam kondisi tidur atau tidak bekerja, daya sekitar 203 Watt menandakan pembangkit dalam kondisi *Standby* atau siap dan daya sekitar 355 Watt menandakan pembangkit dalam kondisi aktif atau bekerja. Daya total mesin dikurangi daya parasit menghasilkan daya nyata atau daya yang sebenarnya dihasilkan oleh PCU atau *heat engine*. Daya ini kemudian disalurkan ke dalam sistem atau *grid*. Pada penyaluran daya ini, terdeteksi daya sistem yang dihasilkan sama dengan daya nyata mesin, hal ini berarti sistem tidak mengalami rugi-rugi daya dalam penyaluran, rugi-rugi daya ini hanya terjadi pada *Heat Engine*-nya.

Rugi-rugi daya adalah daya nyata mesin dikurangi daya yang dihasilkan mesin, contoh perhitungannya :

Rugi-rugi daya pada jam 09.00 = 4,23-4,23 = 0 Watt.

Efisiensi daya mesin adalah daya nyata mesin dibagi daya total mesin dikalikan 100%, contoh perhitungannya :

$$\text{Efisiensi daya mesin jam 09.00} = \frac{4,23}{4,59} \times 100\% = 92\%$$

Efisiensi daya sistem adalah daya yang dihasilkan sistem dibagi daya nyata mesin dikalikan 100%, contoh perhitungannya :

$$\text{Efisiensi daya sistem jam 09.00} = \frac{4,23}{4,23} \times 100\% = 100\%$$

Dibawah ini merupakan tabel hasil perhitungan keseluruhan rugi-rugi dan efisiensi daya :

Tabel 4.4.3 Rugi-rugi dan efisiensi daya WGA

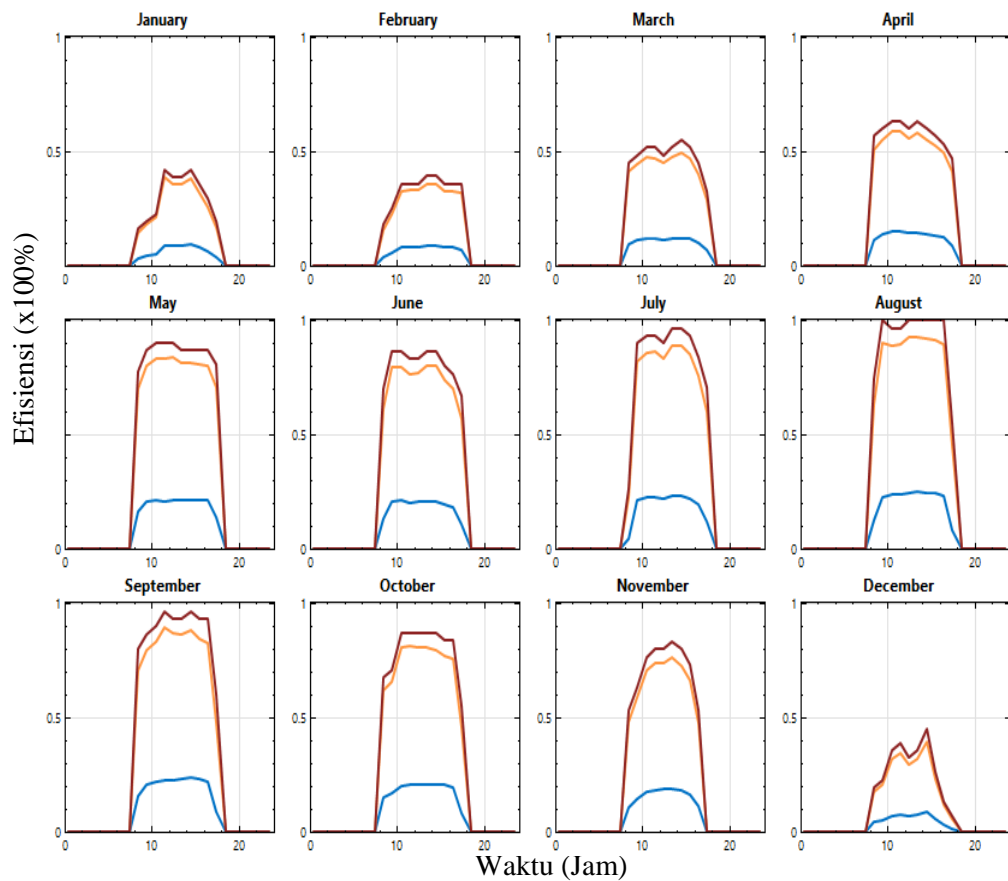
Tanggal dan Jam	Rugi-rugi Daya (kW)	Efisiensi Daya Mesin	Efisiensi Daya Sistem
Aug 1 12:00 am	0	0	0
Aug 1 01:00 am	0	0	0
Aug 1 02:00 am	0	0	0
Aug 1 03:00 am	0	0	0
Aug 1 04:00 am	0	0	0
Aug 1 05:00 am	0	0	0
Aug 1 06:00 am	0	0	0
Aug 1 07:00 am	0	0	0
Aug 1 08:00 am	0	0	0
Aug 1 09:00 am	0	0,92	1,00
Aug 1 10:00 am	0	0,95	1,00
Aug 1 11:00 am	0	0,95	1,00
Aug 1 12:00 pm	0	0,95	1,00
Aug 1 01:00 pm	0	0,96	1,00
Aug 1 02:00 pm	0	0,96	1,00
Aug 1 03:00 pm	0	0,95	1,00
Aug 1 04:00 pm	0	0,93	1,00
Aug 1 05:00 pm	0	0,74	1,00
Aug 1 06:00 pm	0	0	0
Aug 1 07:00 pm	0	0	0
Aug 1 08:00 pm	0	0	0
Aug 1 09:00 pm	0	0	0
Aug 1 10:00 pm	0	0	0
Aug 1 11:00 pm	0	0	0

Rugi-rugi daya pembangkit ini tidak besar sehingga efisiensi daya mesin dan sistemnya sangat tinggi dengan rata-rata efisiensinya diatas 90%. Dengan

System Advisor Model membuktikan Pembangkit Listrik tenaga surya berbasis mesin stirling ini memiliki efisiensi yang sangat tinggi.

4.4.3 Efisiensi Kerja Sistem

Efisiensi kerja sistem adalah keefektifan kerja sistem mulai dari collector, receiver dan heat engine menkonversikan energi sesuai dengan tujuan sistem tersebut. Keefektifan kinerja sistem ini tidak dapat dihitung secara manual harus memakai software atau program tertentu. Berikut hasil efisiensi kerja sistem pembangkit tenaga surya berbasis mesin stirling :



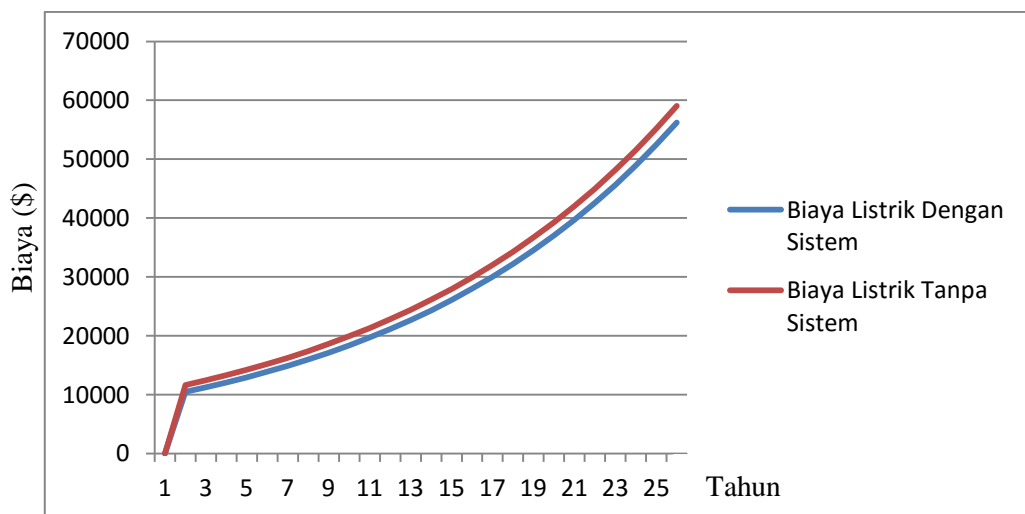
Keterangan :

- Efisiensi Kerja *Collector*
- Efisiensi Kerja *Receiver*
- Efisiensi Kerja Mesin

Gambar 4.4.4 Efisiensi Kerja *Collector*, *Receiver* dan Mesin Stirling WGA.

Efisiensi Kerja Sistem maksimal berada pada musim kemarau yaitu bulan Mei sampai Oktober. Kolektor memfokuskan lebih dari 80% sinar matahari yang diterima menjadi energi panas menuju ke *receiver*. *Receiver* menyerap lebih dari 80% energi panas dari kolektor untuk menggerakkan piston mesin stirling. Energi gerak pada mesin stirling ini menggerakkan generator mengubah lebih dari 10% keseluruhan energi panas dan gerak menjadi energi listrik. Efisiensi kerja sistem pembangkit ini memiliki efek domino, ketika efisiensi kerja kolektor turun maka efisiensi kerja *receiver* dan mesin ikut turun sehingga menghasilkan sedikit energi listrik, begitu juga sebaliknya.

4.4.4 Perbandingan Biaya Kelistrikan



Gambar 4.4.5 Perbandingan Biaya Kelistrikan

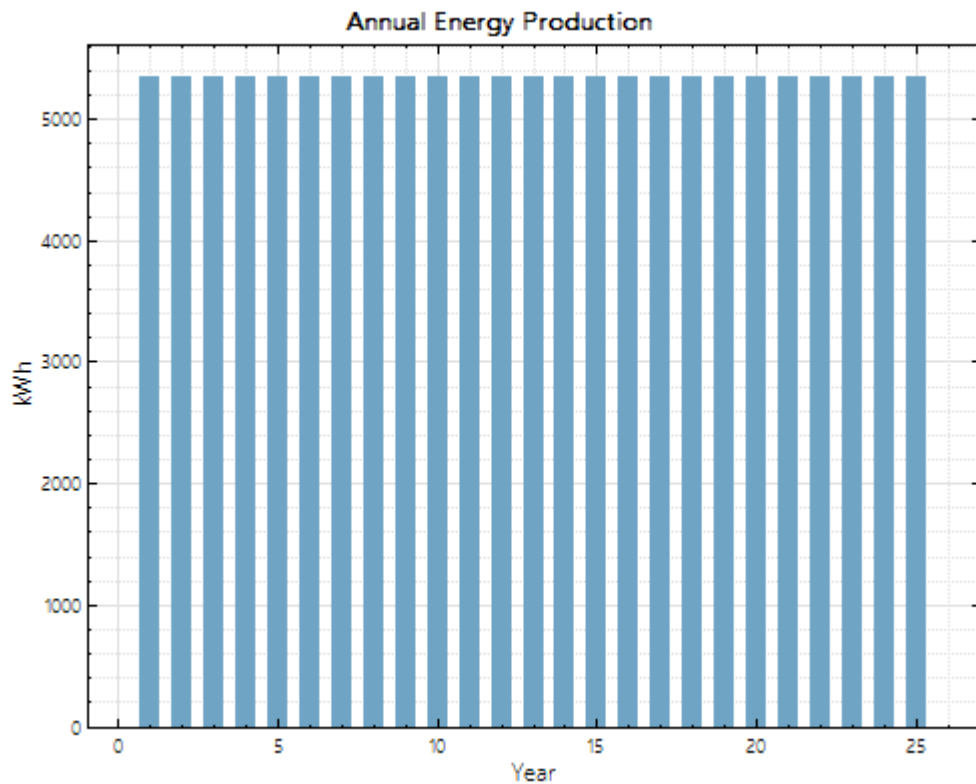
Sistem pembangkit ini selalu di bandingkan dengan *grid* yang telah lama teruji menjadi kebutuhan energi listrik untuk pelanggan dan dapat diketahui nilai Biaya Listrik tanpa *solar dish stirling* sebesar \$ 11,625. Nilai ini mengartikan bahwa apabila industri hanya berlangganan PLN maka harus membayar sebesar \$ 11,625 setiap tahunnya. Ketika disambungkan dengan sistem biaya listriknya berubah menjadi \$ 10,493 yang harus dibayarkan tiap tahunnya sehingga mengirit pemakaian biaya \$ 1,132 tiap tahunnya.

4.5 Analisis Data Model *Schlaic-Bergermann und Partner*

Model Performa yang telah diisi kemudian disimulasikan oleh System Advisor Model, karena data yang dianalisis mencakup terlalu banyak maka analisis disesuaikan dengan rumusan masalahnya yaitu Produksi Energi, Rugi-rugi Daya, Efisiensi dan Cash Flow.

4.5.1 Produksi Energi

Produksi Energi Tahunan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya berbasis mesin stirling milik SBP ialah 5.353 kWh.

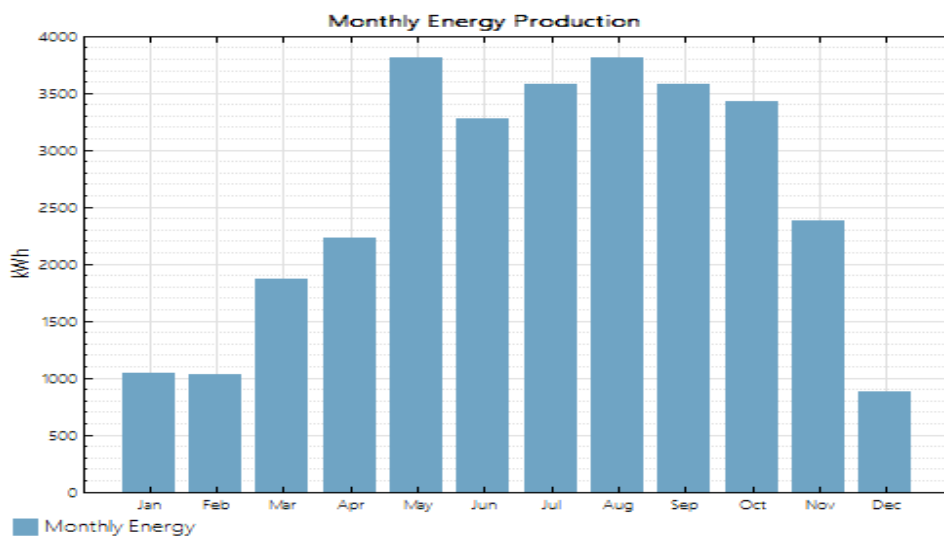


Gambar 4.5.1 Grafik Produksi Energi Tahunan SBP.

Produksi Energi Tahunan Pembangkit tidak mengalami degradasi sesuai dengan hasil analisa infinia corporation yang menyatakan solar dish stirling memiliki catatan umur pengoperasian dalam jangka waktu lama dan memiliki kehandalan yang tinggi.

Tabel 4.4.1 Produksi Energi Bulanan SBP

Bulan	Energy (kWh)
Jan	173,49
Feb	192,83
Mar	320,22
Apr	391,68
May	616,89
Jun	562,82
Jul	611,94
Aug	707,58
Sep	636,29
Oct	577,20
Nov	433,07
Dec	129,02



Gambar 4.5.2 Produksi Energi Bulanan SBP.

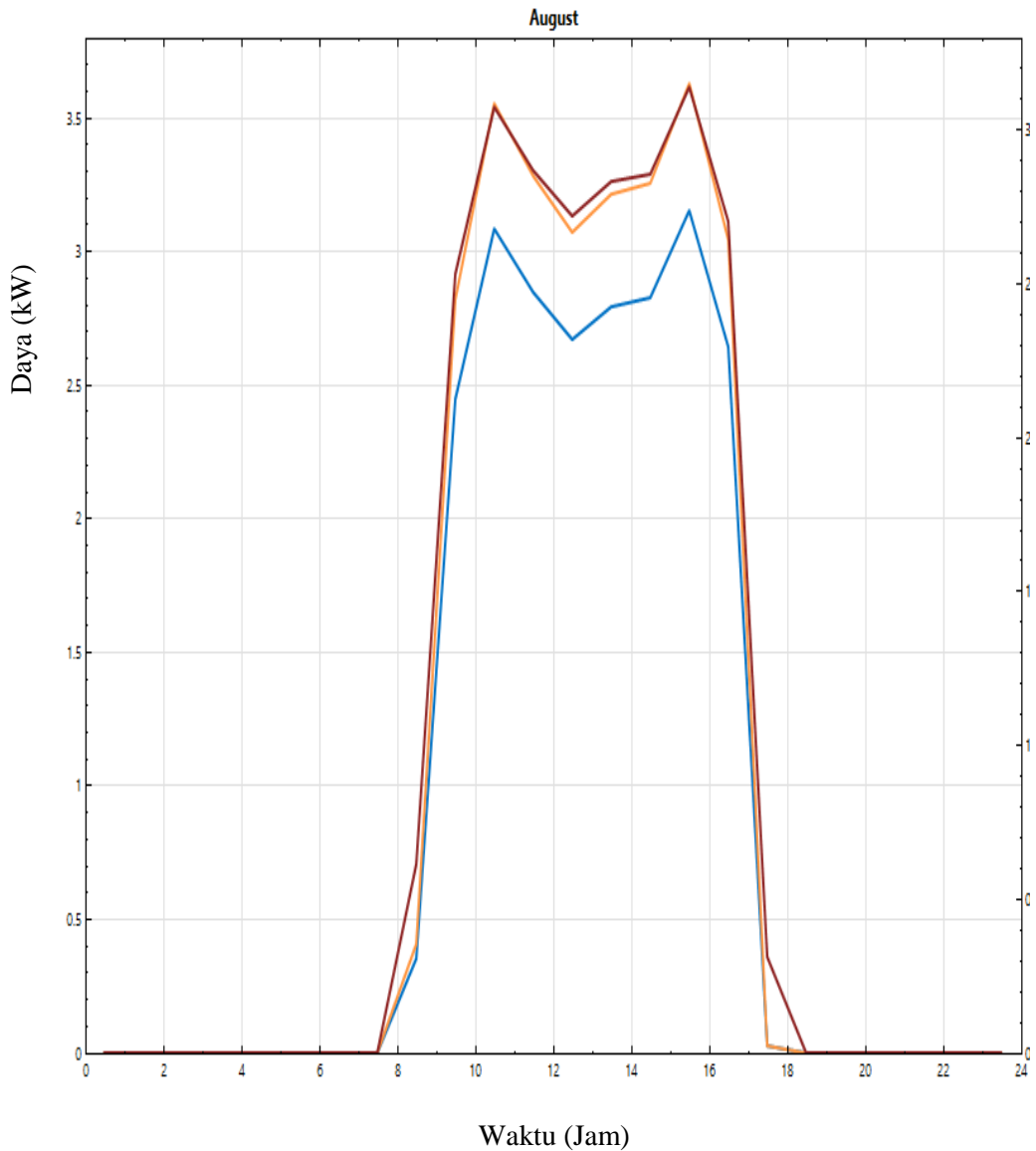
Sistem Pembangkit menghasilkan energi optimal pada bulan Maret sampai Oktober. Pada bulan November sampai April produksi eneginya menurun, hal ini disebabkan oleh keadaan iklim di lokasi tersebut. Indonesia memiliki dua musim yaitu musim hujan pada bulan Oktober-Maret dan musim kemarau pada bulan April-September. Ini membuktikan bahwa pada bulan Maret sampai Oktober curah hujan pada lokasi rendah membuat sinar matahari terus bersinar sehingga

pembangkit menghasilkan energi tanpa ada gangguan. Pada bulan November sampai April, produktivitasnya tidak maksimal dikarenakan curah hujan yang tinggi pada bulan tersebut sehingga pembangkit hanya beberapa jam dalam satu hari bekerja maksimal.

4.5.2 Efisiensi dan Rugi-Rugi Daya

Tabel 4.5.2 Perbandingan Daya Pembangkit SBP

Tanggal dan Jam	Daya Total Mesin (kW)	Daya Nyata Mesin (kW)	Daya Parasit (W)	Daya yang dihasilkan sistem (kW)
Aug 1 12:00 am	0	0	1,09	0
Aug 1 01:00 am	0	0	1,09	0
Aug 1 02:00 am	0	0	1,09	0
Aug 1 03:00 am	0	0	1,09	0
Aug 1 04:00 am	0	0	1,09	0
Aug 1 05:00 am	0	0	1,09	0
Aug 1 06:00 am	0	0	1,09	0
Aug 1 07:00 am	0	0	1,09	0
Aug 1 08:00 am	0	0	274,78	0
Aug 1 09:00 am	2,95	2,48	468,86	2,48
Aug 1 10:00 am	3,74	3,28	467,73	3,28
Aug 1 11:00 am	3,73	3,26	466,89	3,26
Aug 1 12:00 pm	3,47	3,00	466,20	3,00
Aug 1 01:00 pm	3,32	2,85	465,40	2,85
Aug 1 02:00 pm	3,32	2,86	464,98	2,86
Aug 1 03:00 pm	3,69	3,22	465,90	3,22
Aug 1 04:00 pm	3,36	2,89	466,87	2,89
Aug 1 05:00 pm	0,49	0,03	468,23	0,03
Aug 1 06:00 pm	0	0	1,09	0
Aug 1 07:00 pm	0	0	1,09	0
Aug 1 08:00 pm	0	0	1,09	0
Aug 1 09:00 pm	0	0	1,09	0
Aug 1 10:00 pm	0	0	1,09	0
Aug 1 11:00 pm	0	0	1,09	0



Keterangan :

- Daya Total Mesin
- Daya Nyata Mesin
- Daya yang dihasilkan Sistem

Gambar 4.5.3 Grafik Perbandingan Daya Pembangkit SBP.

Tabel diatas merupakan daya yang dihasilkan dan digunakan oleh sistem selama satu hari. Pembangkit Listrik bekerja mulai pada pukul 08.00 sampai 15.00 GMT+9,5. Daya maksimal yang dihasilkan pembangkit yaitu pada jam

13.00-14.00 hal ini disebabkan matahari berada pada titik tertinggi. Daya parasit adalah daya yang digunakan oleh pembangkit untuk keperluan sistem kontrol dan sistem pendinginan, daya 1,09 Watt menandakan pembangkit dalam kondisi tidur atau tidak bekerja, daya sekitar 274 Watt menandakan pembangkit dalam kondisi *Standby* atau siap dan daya sekitar 466 Watt menandakan pembangkit dalam kondisi aktif atau bekerja. Daya total mesin dikurangi daya parasit menghasilkan daya nyata atau daya yang sebenarnya dihasilkan oleh PCU atau *heat engine*. Daya ini kemudian disalurkan ke dalam sistem atau *grid*. Pada penyaluran daya ini, terdeteksi daya sistem yang dihasilkan sama dengan daya nyata mesin, hal ini berarti sistem tidak mengalami rugi-rugi daya dalam penyaluran, rugi-rugi daya ini hanya terjadi pada *Heat Engine*-nya.

Rugi-rugi daya adalah daya nyata mesin dikurangi daya yang dihasilkan mesin, contoh perhitungannya :

Rugi-rugi daya pada jam 09.00 = 2,48-2,48 = 0 Watt.

Efisiensi daya mesin adalah daya nyata mesin dibagi daya total mesin dikalikan 100%, contoh perhitungannya :

$$\text{Efisiensi daya mesin jam 09.00} = \frac{2,48}{2,95} \times 100\% = 84\%$$

Efisiensi daya sistem adalah daya yang dihasilkan sistem dibagi daya nyata mesin dikalikan 100%, contoh perhitungannya :

$$\text{Efisiensi daya sistem jam 09.00} = \frac{2,48}{2,95} \times 100\% = 100\%$$

Dibawah ini merupakan tabel hasil perhitungan keseluruhan rugi-rugi dan efisiensi daya :

Tabel 4.5.3 Rugi-rugi dan efisiensi daya

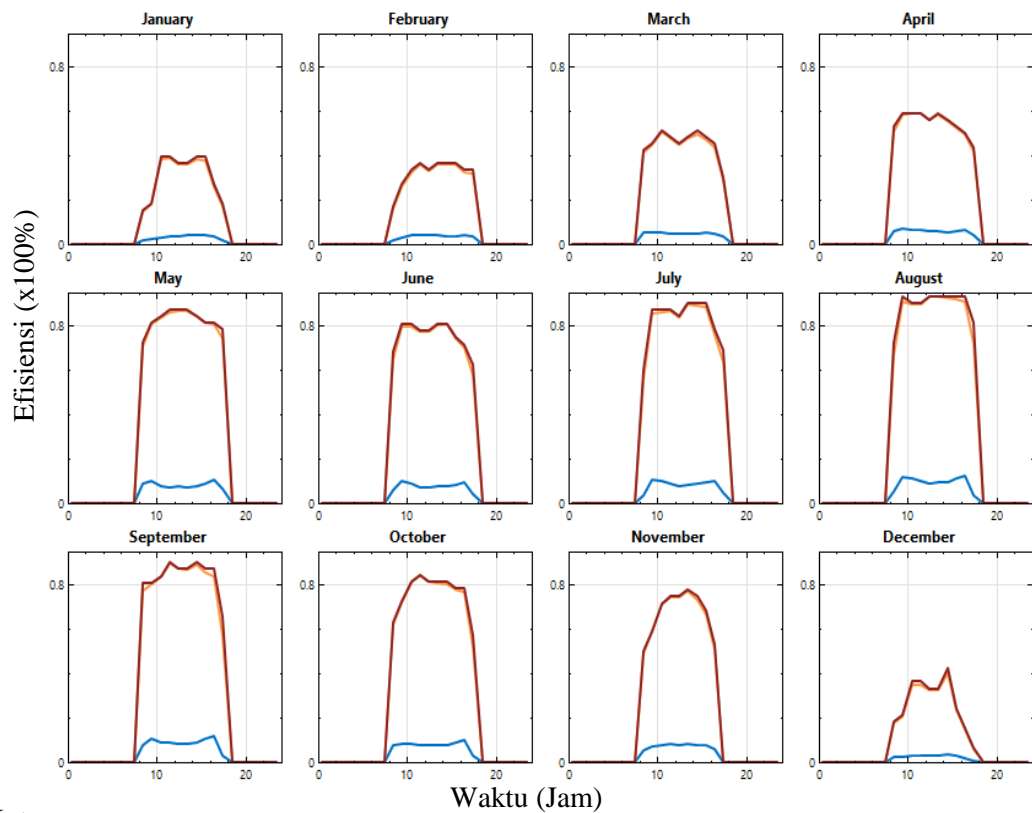
Tanggal dan Jam	Rugi-rugi Daya (kW)	Efisiensi Daya Mesin	Efisiensi Daya Sistem
Aug 1 12:00 am	0	0	0
Aug 1 01:00 am	0	0	0
Aug 1 02:00 am	0	0	0
Aug 1 03:00 am	0	0	0
Aug 1 04:00 am	0	0	0
Aug 1 05:00 am	0	0	0
Aug 1 06:00 am	0	0	0
Aug 1 07:00 am	0	0	0
Aug 1 08:00 am	0	0	0
Aug 1 09:00 am	0	0,84	1,00
Aug 1 10:00 am	0	0,88	1,00
Aug 1 11:00 am	0	0,87	1,00
Aug 1 12:00 pm	0	0,87	1,00
Aug 1 01:00 pm	0	0,86	1,00
Aug 1 02:00 pm	0	0,86	1,00
Aug 1 03:00 pm	0	0,87	1,00
Aug 1 04:00 pm	0	0,86	1,00
Aug 1 05:00 pm	0	0,05	1,00
Aug 1 06:00 pm	0	0	0
Aug 1 07:00 pm	0	0	0
Aug 1 08:00 pm	0	0	0
Aug 1 09:00 pm	0	0	0
Aug 1 10:00 pm	0	0	0
Aug 1 11:00 pm	0	0	0

Rugi-rugi daya pembangkit ini tidak besar sehingga efisiensi daya mesin dan sistemnya sangat tinggi dengan rata-rata efisiensinya diatas 90%. Dengan

System Advisor Model membuktikan Pembangkit Listrik tenaga surya berbasis mesin stirling ini memiliki efisiensi yang sangat tinggi.

4.5.3 Efisiensi Kerja Sistem

Efisiensi kerja sistem adalah keefektifan kerja sistem mulai dari collector, receiver dan heat engine menkonversikan energi sesuai dengan tujuan sistem tersebut. Keefektifan kinerja sistem ini tidak dapat dihitung secara manual harus memakai software atau program tertentu. Berikut hasil efisiensi kerja sistem pembangkit tenaga surya berbasis mesin stirling :



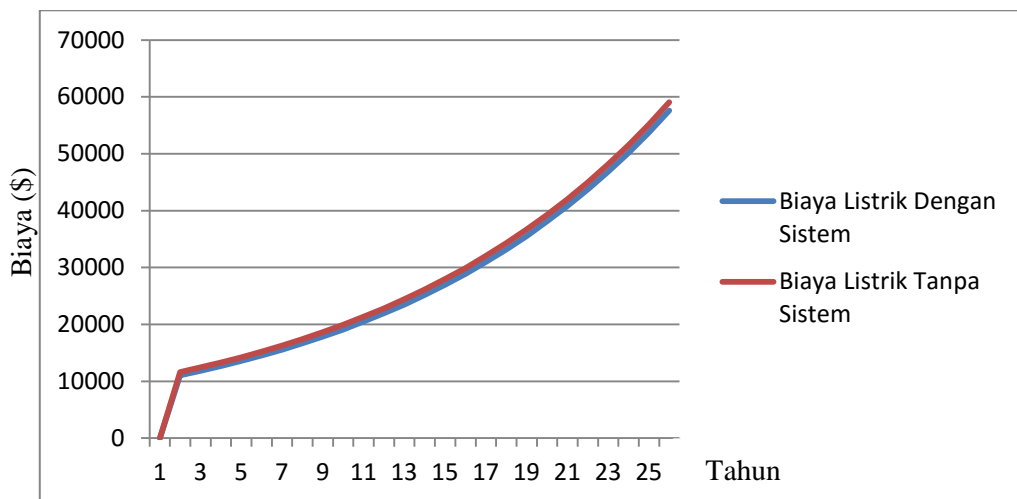
Keterangan :

- Efisiensi Kerja *Collector*
- Efisiensi Kerja *Receiver*
- Efisiensi Kerja Mesin

Gambar 4.5.4 Efisiensi Kerja *Collector*, *Receiver* dan Mesin Stirling SBP.

Efisiensi Kerja Sistem maksimal berada pada musim kemarau yaitu bulan Mei sampai Oktober. Kolektor memfokuskan lebih dari 80% sinar matahari yang diterima menjadi energi panas menuju ke *receiver*. *Receiver* menyerap lebih dari 80% energi panas dari kolektor untuk menggerakkan piston mesin stirling. Energi gerak pada mesin stirling ini menggerakkan generator mengubah lebih dari 5% keseluruhan energi panas dan gerak menjadi energi listrik.. Efisiensi kerja sistem pembangkit ini memiliki efek domino, ketika efisiensi kerja kolektor turun maka efisiensi kerja *receiver* dan mesin ikut turun sehingga menghasilkan sedikit energi listrik, begitu juga sebaliknya.

4.5.4 Perbandingan Biaya Kelistrikan



Gambar 4.3.5 Perbandingan Biaya Kelistrikan

Sistem pembangkit ini selalu di bandingkan dengan *grid* yang telah lama teruji menjadi kebutuhan energi listrik untuk pelanggan dan dapat diketahui nilai Biaya Listrik tanpa *solar dish stirling* sebesar \$ 11,625. Nilai ini mengartikan bahwa apabila industri hanya berlangganan PLN maka harus membayar sebesar \$ 11,625 setiap tahunnya. Ketika disambungkan dengan sistem biaya listriknya berubah menjadi \$ 11,026 yang harus dibayarkan tiap tahunnya sehingga mengirit pemakaian biaya \$ 599 tiap tahunnya.

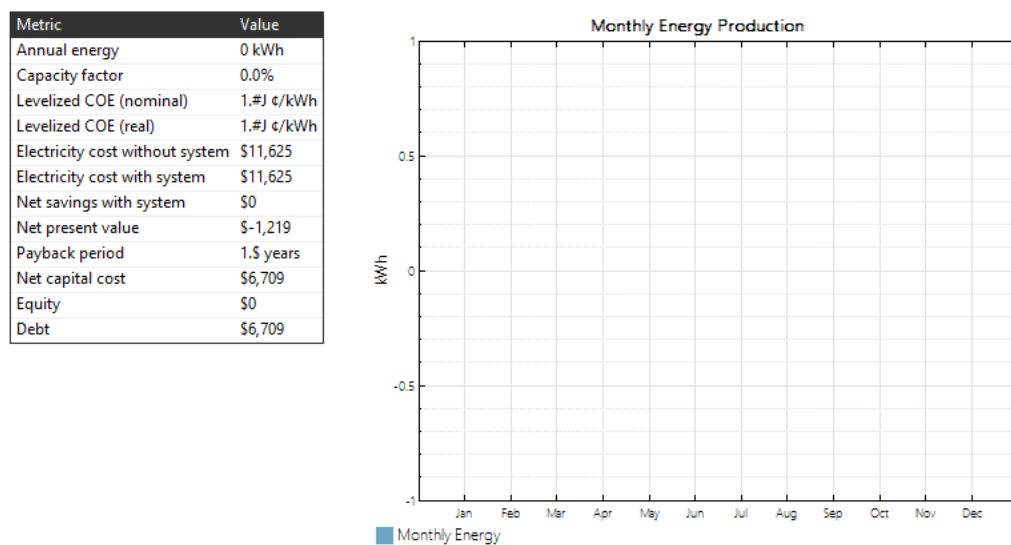
4.6 Analisis Data Model *Science Applications International Corporation*

Model Performa yang telah diisi kemudian disimulasikan oleh System Advisor Model, karena data yang dianalisis mencakup terlalu banyak maka analisis disesuaikan dengan rumusan masalahnya yaitu Produksi Energi, Rugi-rugi Daya, Efisiensi dan Cash Flow.

4.6.1 Produksi Energi

Produksi Energi Tahunan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya berbasis mesin stirling milik SAIC ialah 0 kWh.

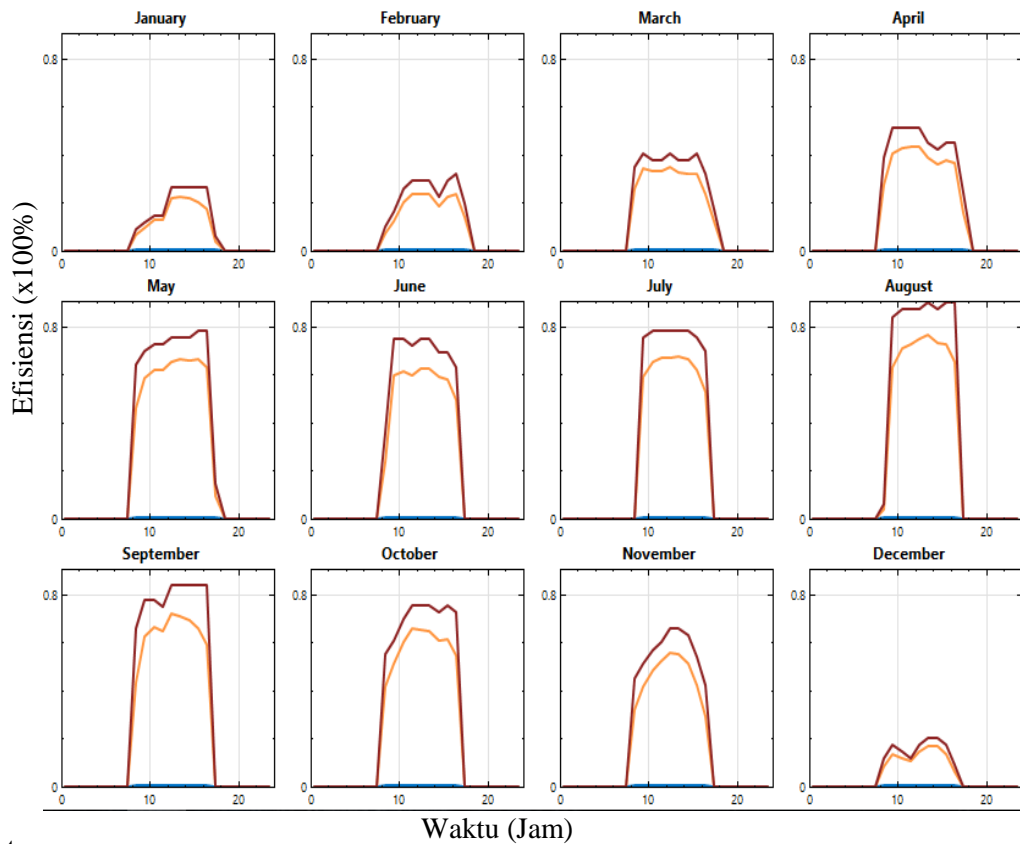
Produksi dari hasil simulasi menunjukkan hasil 0 kWh hal ini berarti ada kesalahan sistem atau ketidakcocokan sistem dengan iklim wilayah tersebut, Untuk itu perlu ditelusuri Efisiensi Kerja Sistemnya.



Gambar 4.6.1 Hasil Simulasi SAM.

Dari Hasil simulasi tidak tampak hasil produksi energi dan nilai energi tiap tahunnya kosong. Hal ini menandakan konfigurasi pembangkit milik SAIC tidak bisa digunakan. Jika Proyek tetap dilanjutkan, investor akan mengalami kerugian terus menerus sebesar \$ 1,219 tiap tahunnya. Oleh Karena itu konfigurasi Pembangkit milik SAIC tidak cocok dipasang di lingkungan beriklim tropis.

4.6.2 Efisiensi Kerja Sistem



Keterangan :

- Efisiensi Kerja *Collector*
- Efisiensi Kerja *Receiver*
- Efisiensi Kerja Mesin

Gambar 4.6.2 Efisiensi Kerja *Collector*, *Receiver* dan Mesin Stirling.

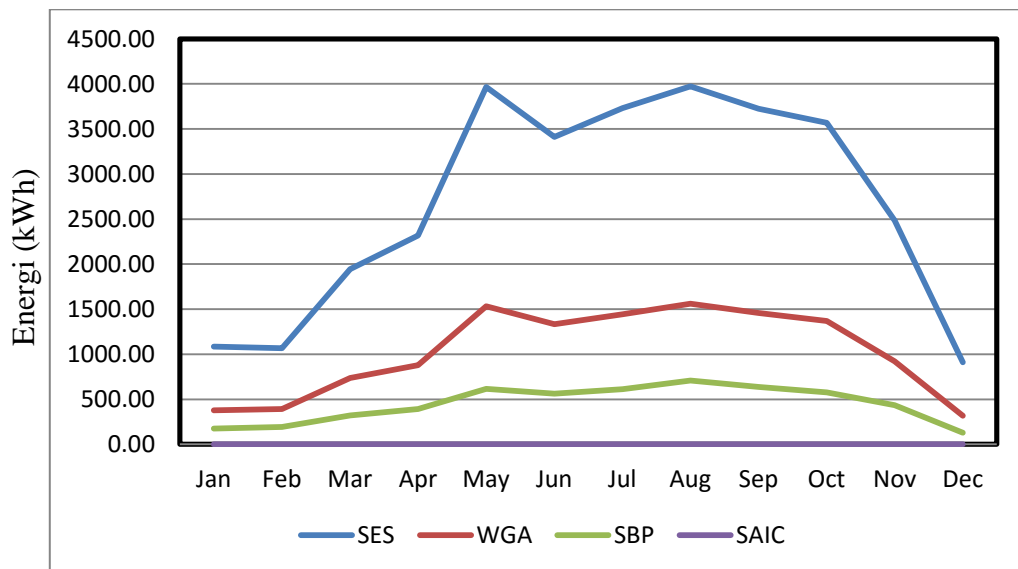
Efisiensi Kerja Kolektor dan *Receiver* baik tapi Mesin hampir tidak bekerja sama sekali efisiensi kerjanya sangat kecil hampir mendekati 0%, hal ini berarti Mesin Stirling model konfigurasi SAIC tidak bisa digunakan karena mesin tidak dapat bekerja pada kondisi iklim di Purbalingga.

Konfigurasi yang mempengaruhi ialah konfigurasi *Heat Engine*-nya, koefisien beale milik SAIC lebih cocok digunakan pada iklim sub tropis. Pada iklim tropis seperti Indonesia perangkat ini tidak dapat berjalan karena adanya perbedaan suhu dan kecepatan angin yang membuat mesin tidak bekerja sebagaimana mestinya.

4.7 Perbandingan Produksi Energi

Tabel 4.7.1 Perbandingan Produksi Energi

Bulan	Energi (kWh)			
	SES	WGA	SBP	SAIC
Jan	1085,61	376,13	173,49	0,00
Feb	1067,87	391,17	192,83	0,00
Mar	1944,12	736,71	320,22	0,00
Apr	2317,58	878,71	391,68	0,00
May	3965,54	1533,38	616,89	0,00
Jun	3413,06	1333,81	562,82	0,00
Jul	3731,74	1444,61	611,94	0,00
Aug	3970,80	1562,01	707,58	0,00
Sep	3722,38	1458,64	636,29	0,00
Oct	3567,93	1367,88	577,20	0,00
Nov	2484,28	922,73	433,07	0,00
Dec	911,87	316,63	129,02	0,00
Per Tahun	32.183	12.322	5.353	0

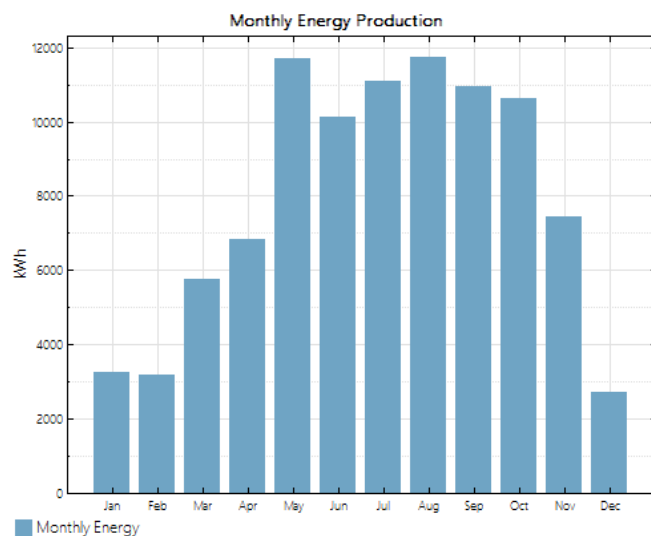


Gambar 4.7.1 Grafik Perbandingan Produksi Energi.

Produksi Energi tertinggi ialah Pembangkit model konfigurasi SES dan SAIC yang paling rendah (tidak mampu bekerja). Pembangkit Listrik Tenaga Surya berbasis mesin stirling milik SES cocok digunakan sebagai energi alternatif membantu produksi PT. Sun Chang. Produksi Energi teroptimal dari ketiga konfigurasi ialah dari bulan Mei sampai Oktober dengan rata-rata Produksi Energi Pembangkit milik SES 3728,575 kWh, WGA 1450,055 kWh dan SBP 618,787 kWh.

Konfigurasi Pembangkit milik SES merupakan yang paling cocok dan efisien digunakan di Purbalingga dengan produksi energi yang paling tinggi tiap tahunnya. Untuk mencukupi kebutuhan beban PT.Sun Chang diperlukan 3 Pembangkit milik SES yang harus diinstalasi berikut hasil simulasi dari software SAM :

Metric	Value
Annual energy	95,425 kWh
Capacity factor	14,5%
Levelized COE (nominal)	0.30 ¢/kWh
Levelized COE (real)	0.24 ¢/kWh
Electricity cost without system	\$11,625
Electricity cost with system	\$1,360
Net savings with system	\$10,265
Net present value	\$91,119
Payback period	1.6 years
Net capital cost	\$18,470
Equity	\$0
Debt	\$18,470



Gambar 4.7.2 Grafik Perbandingan Produksi Energi.

Produksi Energinya sebesar 95,425 kWh per tahun dengan kebutuhan beban per tahun mencapai 82,460 kWh per tahun. Biaya kelistrikan yang dibayarkan hanya sebesar \$ 1,360 per tahun. Energi Listrik sisa 12,965 kWh per tahun dapat dijual ke PLN sebesar Rp 476/kWh. Sehingga bisa mendapatkan total keuntungan sebesar Rp 6.171.340,- tiap tahunnya.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

1. Data konfigurasi pembangkit sudah tersedia di NREL dan data beban diambil di PT. Sun Chang.
2. Total beban daya pemakaian oleh PT. Sun Chang ialah 229,0572 kW per hari, 6871,716 kWh per bulan dan 82.640,64 kWh per tahun.
3. Pembangkit listrik tenaga surya berbasis mesin stirling model SES menghasilkan energi listrik sebesar 30.895 kWh atau 31 MWh, WGA 12.322 kWh atau 12,3 MWh, SBP 5.353 kWh atau 5,4 MWh tiap tahun, terbilang tinggi untuk satu pembangkit listrik energi terbarukan.
4. Pembangkit listrik tenaga surya berbasis mesin stirling bekerja maksimal pada musim kemarau dengan konversi energi surya ke listrik sebesar SES 30%, WGA 15% dan SBP 8%. Pembangkit listrik tenaga surya berbasis mesin stirling memiliki efisiensi rata-rata kerja sistem *collector* dan *receiver* sebesar 80%.
5. Biaya tanpa sistem pembangkit ialah \$11, 265 per tahun, biaya dengan konfigurasi sistem ses ialah \$9,904, WGA \$10,493 dan SBP \$ 11,026.
6. Diperlukan total 3 Pembangkit konfigurasi SES, 7 Pembangkit konfigurasi WGA dan 17 Pembangkit konfigurasi SBP untuk mencukupi kebutuhan beban PT. Sunchang. Spesifikasi Pembangkit yang paling cocok dipasang ialah Pembangkit listrik tenaga surya berbasis mesin stirling milik SES. Karena tidak membutuhkan biaya banyak, tempat yang luas dan produksi energi yang lebih banyak.

5.2 Saran

1. Perlunya pembangunan satu pembangkit untuk penelitian di Indonesia.
2. Perlunya penelitian secara langsung di lapangan untuk pembangkit listrik tenaga surya berbasis mesin stirling untuk mengetahui secara real datanya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bartolini. 2012. *Onboard Hybrid Propulsion and Sewage Treatment System Powered by a Stirling Engine Unit*. ISEC, Italy.
- Cinar C dan Karabulut H. 2005. *Manufacturing and Testing of Gamma Type Stirling Engine*. *Renewable Energy*, 30, 57-66.
- Dobos, A., Neises, T., Wagner, M., dan Blair, N.(2016). *System Advisor Model*. NREL, USA.
- Fraser, Paul R.. 2008. *Stirling Dish System Performance Prediction Model*. University of Wisconsin-Madison.
- Goswami, D. Yogi dan Kreith, Frank. 2015. *Energy Efficiency and Renewable Energy Handbook Second Edition*. Boca Raton: CRC Press.
- Jamal, A., Suropto, S., Syahputra, R. (2015). *Multi-Band Power System Stabilizer Model for Power Flow Optimization in Order to Improve Power System Stability*. *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 80(1), pp. 116-123.
- Jamal, A., Syahputra, R. (2013). *UPFC Based on Adaptive Neuro-Fuzzy for Power Flow Control of Multimachine Power Systems*. *International Journal of Engineering Science Invention (IJESI)*, 2(10), pp. 05-14.
- Jamal, A., Syahputra, R. (2016). *Heat Exchanger Control Based on Artificial Intelligence Approach*. *International Journal of Applied Engineering Research (IJAER)*, 11(16), pp. 9063-9069.
- Kalogirou, Soteris A.. 2014. *Solar Energy Engineering Processes and Systems Second Edition*. Amsterdam : Elsevier.
- 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.
- S. Sumathi, L.Ashok Kumar dan P. Surekha. 2015. *Solar PV and Wind Energy Conversion Systems*. Coimbatore: Springer.
- Scheckel, Paul. 2013. *The Homeowner's Energy Handbook Your Guide to Getting Off Grid Paperback*. North Adams: Storey Publishing.

- Sciubba, Enrico. 2015. *Thermal Model of a Dish Stirling Cavity-Receiver*. Energies, ISSN 1996-1073.
- Stine, W. B., dan Richard B. Diver. 1994. *A Compendium of Solar Dish/Stirling Technology*. Vol. SAND93-7026.
- Stine, W. B., dan Frank Kreith. 1999. *Mechanical Engineering Handbook*. Boca Raton: CRC Press LLC.
- Stine, William B., and Raymond W. Harrigan. 1987. *Solar Energy Fundamentals and Design with. Stine, William B., and A. A. Heckes. "Energy and Availability Transport Losses in a Point-Focus Solar Concentrator Field."* Journal of Solar Energy Engineering 109: p. 205-209.
- Stine, William B., dan C. G. McDonald. 1989. "Cavity Receiver Convective Heat Loss." *International Solar Energy Society*", Solar World Congress. Kobe, Japan, September 4-8.---. "Cavity Receiver Heat Loss Measurements." 10th Annual ASME Solar Energy Conference. Denver, Colorado, April 10-14.
- Stine, William B. 1995. "*Experimentally Validated Long-Term Energy Production Prediction Model for Solar Dish/Stirling Electric Generating Systems.*" IECEC'95.
- Stirling Energy Systems, Inc. 2007. *Solar Dish Stirling Systems Report For NREL CSP Technology Workshop*.
- Struchtrup, Henning. 2014. *Thermodynamics and Energy Conversion*. Victoria : Springer.
- Syahputra, R., (2016), "*Transmisi dan Distribusi Tenaga Listrik*", LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
- Syahputra, R., (2015), "*Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik*", LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). *Performance Improvement of Radial Distribution Network with Distributed Generation Integration Using Extended Particle Swarm Optimization Algorithm*. International Review of Electrical Engineering (IREE), 10(2). pp. 293-304.

- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). *Reconfiguration of Distribution Network with DER Integration Using PSO Algorithm*. TELKOMNIKA, 13(3). pp. 759-766.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2015). *PSO Based Multi-objective Optimization for Reconfiguration of Radial Distribution Network*. International Journal of Applied Engineering Research (IJAER), 10(6), pp. 14573-14586.
- Syahputra, R. (2015). *Simulasi Pengendalian Temperatur Pada Heat Exchanger Menggunakan Teknik Neuro-Fuzzy Adaptif*. Jurnal Teknologi, 8(2), pp. 161-168.
- Syahputra, R. (2015). *Characteristic Test of Current Transformer Based EMTP Software*. Jurnal Teknik Elektro, 1(1), pp. 11-15.
- Syahputra, R., (2012), “*Distributed Generation: State of the Arts dalam Penyediaan Energi Listrik*”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2012.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2014). *Optimization of Distribution Network Configuration with Integration of Distributed Energy Resources Using Extended Fuzzy Multi-objective Method*. International Review of Electrical Engineering (IREE), 9(3), pp. 629-639.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2014). *Performance Analysis of Wind Turbine as a Distributed Generation Unit in Distribution System*. International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT), Vol. 6, No. 3, pp. 39-56.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2014), “*Distribution Network Efficiency Improvement Based on Fuzzy Multi-objective Method*”. IPTEK Journal of Proceedings Series. 2014; 1(1): pp. 224-229.
- Syahputra, R., (2013), “*A Neuro-Fuzzy Approach For the Fault Location Estimation of Unsynchronized Two-Terminal Transmission Lines*”, International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT), Vol. 5, No. 1, pp. 23-37.

- Syahputra, R., (2012), “*Fuzzy Multi-Objective Approach for the Improvement of Distribution Network Efficiency by Considering DG*”, International Journal of Computer Science & Information Technology (IJCSIT), Vol. 4, No. 2, pp. 57-68.
- Syahputra, R., (2010), “*Aplikasi Deteksi Tepi Citra Termografi untuk Pendeteksian Keretakan Permukaan Material*”, Forum Teknik, Vol. 33, 2010.
- Syahputra, R., Soesanti, I. (2015). “*Control of Synchronous Generator in Wind Power Systems Using Neuro-Fuzzy Approach*”, Proceeding of International Conference on Vocational Education and Electrical Engineering (ICVEE) 2015, UNESA Surabaya, pp. 187-193.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M. (2014). “*Optimal Distribution Network Reconfiguration with Penetration of Distributed Energy Resources*”, Proceeding of 2014 1st International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE) 2014, UNDIP Semarang, pp. 388 - 393.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2013), “*Distribution Network Efficiency Improvement Based on Fuzzy Multi-objective Method*”. International Seminar on Applied Technology, Science and Arts (APTECS). 2013; pp. 224-229.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2012), “*Reconfiguration of Distribution Network with DG Using Fuzzy Multi-objective Method*”, International Conference on Innovation, Management and Technology Research (ICIMTR), May 21-22, 2012, Melacca, Malaysia.
- Syahputra, R. (2010). *Fault Distance Estimation of Two-Terminal Transmission Lines*. Proceedings of International Seminar on Applied Technology, Science, and Arts (2nd APTECS), Surabaya, 21-22 Dec. 2010, pp. 419-423.
- Syahputra, R., (2015), “*Teknologi dan Aplikasi Elektromagnetik*”, LP3M UMY, Yogyakarta, 2016.

- Syahputra, R., (2014), “*Estimasi Lokasi Gangguan Hubung Singkat pada Saluran Transmisi Tenaga Listrik*”, Jurnal Ilmiah Semesta Teknik Vol. 17, No. 2, pp. 106-115, Nov 2014.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2011), “*Modeling and Simulation of Wind Energy Conversion System in Distributed Generation Units*”. International Seminar on Applied Technology, Science and Arts (APTECS). 2011; pp. 290-296.
- Syahputra, R., Robandi, I., Ashari, M., (2011), “*Control of Doubly-Fed Induction Generator in Distributed Generation Units Using Adaptive Neuro-Fuzzy Approach*”. International Seminar on Applied Technology, Science and Arts (APTECS). 2011; pp. 493-501.
- Syahputra, R., Soesanti, I. (2015). *Power System Stabilizer model based on Fuzzy-PSO for improving power system stability*. 2015 International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture, and Industrial Automation (ICAMIMIA), Surabaya, 15-17 Oct. 2015 pp. 121 - 126.
- Syahputra, R., Soesanti, I. (2016). *Power System Stabilizer Model Using Artificial Immune System for Power System Controlling*. International Journal of Applied Engineering Research (IJAER), 11(18), pp. 9269-9278.
- Syahputra, R., Soesanti, I. (2016). *Application of Green Energy for Batik Production Process*. Journal of Theoretical and Applied Information Technology (JATIT), 91(2), pp. 249-256.

www.kat.al, e-book website.

www.nrel.gov/sam, software development kit and manual book website.

LAMPIRAN

DATA SPESIFIKASI PEMBANGKIT SOLAR DISH STIRLING

SUMBER : NREL,2014

Ada empat sistem konfigurasi yang dapat digunakan yaitu konfigurasi sistem dari SES (*Stirling Energy Systems*), WGA (*Western Governors Association*), SBP (*Schlaic-Bergermann und Partner*) dan SAIC (*Science Applications International Corporation*).

Tabel 4.1. *Collector Default Parameter Values.*

Variable	SES	WGA	SBP	SAIC
<i>Projected Mirror Area (m²)</i>	87.7	41.2	56.7	113.5
<i>Total Mirror Area(m²)</i>	91.0	42.9	60	117.2
<i>Insolation Cut In (W/m²)</i>	200	275	250	375
<i>Wind Stow Speed (m/s)</i>	16	16	16	16
<i>Receiver Aperture Diameter for Reference Intercept Factor (m)</i>	0.184	0.14	0.15	0.38
<i>Reference Intercept Factor</i>	0.995	0.998	0.93	0.90
<i>Reference Focal Length of Mirror (m)</i>	7.45	5.45	4.5	12.0

Tabel 4.2. *Receiver default parameter values.*

Variable	SES	WGA	SBP	SAIC
<i>Absorber Absorptance</i>	0.90	0.90	0.90	0.90
<i>Absorber Surface Area (m²)</i>	0.6	0.15	0.15	0.8
<i>Cavity Wall Absorptance</i>	0.6	0.6	0.6	0.6
<i>Cavity Wall Surface Area (m²)</i>	0.6	0.15	0.15	0.8
<i>Internal Diameter of the Cavity Perpendicular to the Receiver Aperture (m)</i>	0.46	0.35	0.37	0.5
<i>Internal Depth of the Cavity Perpendicular to the Aperture (m)</i>	0.46	0.35	0.37	0.5
<i>Receiver Insulation Thickness (m)</i>	0.075	0.075	0.075	0.075
<i>Insulation Thermal Conductivity (W/m-K)</i>	0.06	0.06	0.06	0.06
<i>Delta Temp. for DIR Receiver(°C)</i>	90	70	70	90

Tabel 4.3 *Stirling Engine Default Parameter values.*

Variable	SES	WGA	SBP	SAIC
<i>Heater Head Set Temperature (K)</i>	993	903	903	993
<i>Heater Head Lowest Temperature (K)</i>	973	903	903	973
<i>Engine Operating Speed (rpm)</i>	1800	1800	1800	2200
<i>Displaced Engine Volume (m³)</i>	3.80×10^{-4}	1.60×10^{-4}	1.60×10^{-4}	4.80×10^{-4}
<i>Beale Constant Coefficient</i>	4.247×10^{-2}	8.50686×10^{-2}	$-1,82451 \times 10^{-3}$	-1.6×10^{-2}
<i>Beale First-order Coefficient</i>	1.682×10^{-5}	1.94116×10^{-5}	2.60289×10^{-5}	1.5×10^{-5}
<i>Beale Second-order Coefficient</i>	-5.105×10^{-10}	-3.18449×10^{-10}	-4.68164×10^{-10}	-3.50×10^{-10}
<i>Beale Third-order Coefficient</i>	7.07260×10^{-15}	0	0	3.85×10^{-15}
<i>Beale Fourth-order Coefficient</i>	-3.586×10^{-20}	0	0	-1.6×10^{-20}
<i>Pressure Constant Coefficient</i>	6.58769×10^{-1}	-7.36342×10^{-1}	-2.00284×10^{-2}	3.47944×10^{-5}
<i>Pressure First-order Coefficient</i>	2.34963×10^{-4}	3.6416×10^{-4}	3.52522×10^{-4}	5.26329×10^{-9}

Tabel 4.4 *Parasitic Variable Reference Conditions.*

Variable	SES	WGA	SBP	SAIC
<i>Pump Parasitic Power (W)</i>	150	100	175	300
<i>Pump Speed (rpm)</i>	1800	1800	1800	1800
<i>Cooling Fluid Type</i>	50% EG	50% EG	water	50% EG
<i>Cooling Fluid Temperature (K)</i>	288	288	288	288
<i>Cooling Fluid Volumetric Flow Rate (gal/min)</i>	9	7.5	7.5	12
<i>Cooling System Fan Test Power (W)</i>	1000	410	510	2500
<i>Cooling System Fan Test Speed (rpm)</i>	890	890	890	850
<i>Fan Air Density (kg/m³)</i>	1.2	1.2	1.2	1.2
<i>Fan Volumetric Flow Rate (CFM)</i>	6000	4000	4500	10000

No	Beban	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (kW)	Frekuensi	Waktu (Jam)	Per Hari (kWh)	Per Bulan (kWh)
1	motor 1	350	1.07	0.3745	50	4	1.498	44.94
2	motor 2	220	0.56	0.1232	50	4	0.4928	14.784
3	motor 3	220	0.56	0.1232	50	4	0.4928	14.784
4	transformer	220	2.25	0.495	50	4	1.98	59.4
5	4 kulkas	220	0.45	0.396	50	24	9.504	285.12
6	6 ac	220	1.81	0.3982	50	8	3.1856	95.568
7	2 pompa air	220	1.3	0.572	50	4	2.288	68.64
8	2 tv	220	0.54	0.2376	50	10	2.376	71.28
9	30 lampu industri 50W	220	0.65	4.29	50	21	90.09	2702.7
10	5 mesin cuci	220	1.05	1.155	50	10	11.55	346.5
11	50 mesin jahit 60W	220	1.2	13.2	50	8	105.6	3168
TOTAL							229.0572	6871.716

No	Jam	Motor 1	Motor 2	Motor 3	Ac	Transformer	Mesin Jahit 60W	Kulkas	Lampu Industri 50 W	Mesin Cuci	Pompa Air	Tv	Jumlah
1	06.00							0.4	1.07				1.47
2	07.00					0.45	6.6	0.4	4.29				11.74
3	08.00	0.37	0.125	0.125		0.45	6.6	0.4	4.29	1.155	0.572		14.087
4	09.00	0.37	0.125	0.125		0.45	6.6	0.4	4.29	1.155	0.572	0.24	14.327
5	10.00	0.37	0.125	0.125	0.4	0.45	6.6	0.4	4.29	1.155	0.572	0.24	14.727
6	11.00	0.37	0.125	0.125	0.4	0.45	6.6	0.4	4.29	1.155	0.572	0.24	14.727
7	12.00				0.4		9.9	0.4	4.29	1.155		0.24	16.385
8	13.00				0.4		13.2	0.4	4.29	1.155			19.445
9	14.00				0.4		13.2	0.4	4.29	1.155			19.445
10	15.00				0.4		13.2	0.4	4.29	1.155		0.24	19.685
11	16.00				0.4		9.9	0.4	4.29	1.155		0.24	16.385
12	17.00				0.4		6.6	0.4	4.29	1.155		0.24	13.085
13	18.00							0.4	4.29			0.24	4.93
14	19.00							0.4	4.29			0.24	4.93
15	20.00							0.4	1.07			0.24	1.71
16	21.00							0.4	1.07				1.47
17	22.00							0.4	1.07				1.47
18	23.00							0.4	1.07				1.47
19	24.00							0.4	1.07				1.47
20	01.00							0.4	1.07				1.47
21	02.00							0.4	1.07				1.47
22	03.00							0.4	1.07				1.47
23	04.00							0.4	1.07				1.47
24	05.00							0.4	1.07				1.47
		1.48	0.5	0.5	3.2	2.25	99	9.6	67.54	11.55	2.288	2.4	200.308

About

published by Paul Gilman on Tue, 2014-02-04 10:02

SAM is developed by the National Renewable Energy Laboratory (NREL) with funds from the U.S. Department of Energy. SAM collaborates with Sandia National Laboratories for the photovoltaic models, and has collaborated with the University of Wisconsin's Solar Energy Laboratory for the concentrating solar power models.

For a general description of the software, see [Home](#).

History

SAM was originally developed by the National Renewable Energy Laboratory in collaboration with Sandia National Laboratories in 2005, and at first used internally by the U.S. Department of Energy's Solar Energy Technologies Program for systems-based analysis of solar technology improvement opportunities within the program. The first public version was released in August 2007 as the Solar Advisor Model Version 1, making it possible for solar energy professionals to analyze photovoltaic systems and concentrating solar power parabolic trough systems in the same modeling platform using consistent financial assumptions. Since 2007, two new versions have been released each year, adding new technologies and financing options. In 2010, the name changed to "System Advisor Model" to reflect the addition of non-solar technologies. As of the fall of 2013, NREL began releasing one new version per year with periodic updates as needed.

The DOE, NREL, and Sandia continue to use the model for program planning and in grant programs. Since the first public release, over 35,000 people representing manufacturers, project developers, academic researchers, and policy makers have downloaded the software. Manufacturers are using the model to evaluate the impact of efficiency improvements or cost reductions in their products on the cost of energy from installed systems. Project developers use SAM to evaluate different system configurations to maximize earnings from electricity sales. Policy makers and designers use the model to experiment with different incentive structures.

Development Team

The members of the core development team are listed in the table below. This team meets on a weekly basis to discuss progress on new features and capabilities, resolve bugs and other issues, and plan for documentation and outreach projects including webinars, reference manuals, and validation studies. To contact the team, please [email us](#).

Name	Role	Organization
Nate Blair	Project Management	NREL
Aron Dobos	Project Management and Software Development	NREL
Janine Freeman	Photovoltaic and Wind Models	NREL
Nicholas DiOrio	Photovoltaic and Battery Storage Models	NREL
Ty Neises	Concentrating Solar Power Models	NREL
Michael Wagner	Concentrating Solar Power Models	NREL
Steven Janzou	Software Development	NREL Subcontractor
Paul Gilman	User Support and Documentation	NREL Subcontractor



NREL



Gmail

Navigation icons: back, forward, search, archive, trash, move to inbox, and other actions. "6 dari 9" indicates page 6 of 9.

TULIS

Kotak Masuk (101)

Berbintang

Penting

Pesan Terkirim

Draf (2)

Lingkaran

Notes

Notes card for "Fajar" with a close button.



Tidak ada chat terbaru
Mulai yang baru



Re: [Website Feedback] Download SAM for Windows

Kotak Masuk

SAM Support

SAM Support <SAM.Support@nrel.gov> 15 Mar ☆
ke saya

Language and notification settings: Inggris, Indonesia, Terjemahkan pesan, Nonaktifkan untuk: Inggris

Hello,
Thank you for the message.
Please try again. I tried the link today and it is working. Please let me know if you still have trouble with the download.
Best regards,
Paul.

Paul Gilman
Solar Advisor Model Technical Support
solar.advisor.support@nrel.gov

From: sam.support@nrel.gov <sam.support@nrel.gov> on behalf of fajarofa10@gmail.com <fajarofa10@gmail.com>
Sent: Friday, March 11, 2016 10:26 AM
To: SAM Support
Subject: [Website Feedback] Download SAM for Windows

dawnova (<https://sam.nrel.gov/user/58190>) sent a message using the contact form at <https://sam.nrel.gov/contact>.

I can't download SAM software for Windows but I can download for other OS (Linux and Mac OS). Please Help Me...I need this software for my thesis
Thanks for your attention

Tampilkan detail

Browser tabs: sam nrel - Penelusuran, About | System Advisor, Reminder: SAM SDK Sur...

Address bar: <https://mail.google.com/mail/u/0/#search/NREL/156948dbdc899dc8>

Google search bar: NREL

Gmail navigation: Pindahkan ke Kotak Masuk, Lainnya

3 dari 9

TULIS

Kotak Masuk (101)

Berbintang

Penting

Pesan Terkirim

Draf (2)

Lingkaran

Notes

F Fajar

Reminder: SAM SDK Survey

From: sam.support@nrel.gov via surveymonkey.com <member@surveymonkey.com> Berhenti berlangganan

Date: 17 Agt

Language: Inggris > Indonesia Terjemahkan pesan Nonaktifkan untuk: Inggris

SAM Software Development Kit (SDK) User Survey 2016

We recently contacted you about the System Advisor Model (SAM) Software Development Kit (SDK) survey, but haven't received your responses. We'd really appreciate your participation.

Click the button below to start or continue the survey. Thank you for your time!

Best regards,
Aron Dobos
National Renewable Energy Laboratory

[Begin Survey](#)

Tidak ada chat terbaru
[Mulai yang baru](#)

Browser tabs: sam nrel - Penelusuran, About | System Advisor, SAM Webinars - fajarofa

Address bar: <https://mail.google.com/mail/u/0/#search/NREL/1564c1f6d7b183e4>

Search: NREL

Gmail navigation: Pindahkan ke Kotak Masuk, Lainnya

4 dari 9

TULIS

Kotak Masuk (101)

- Berbintang
- Penting
- Pesan Terkirim
- Draf (2)
- Lingkaran
- Notes
- Selengkapnya -

Fajar

Tidak ada chat terbaru
Mulai yang baru

SAM Support sam.support@nrel.gov [Lihat](#) mail164.atl121.mcsv.net ke saya 2 Agt

Inggris > Indonesia [Terjemahkan pesan](#) [Nonaktifkan untuk: Inggris](#)

[View this email in your browser](#)

Dear Sam User,

We are pleased to announce two new webinars demonstrating the use of SAM 2016.3.14. The webinars are free, but you must register to participate. Please register separately for each webinar:

- [Modeling a Residential Photovoltaic System in SAM 2016.3.14](#)
Wed Aug 31 2016 1:00 pm - 2:00 pm MDT
- [Modeling a Photovoltaic Battery System in SAM 2016.3.14](#)
Wed Sep 7 2016 1:00 pm - 2:00 pm MDT

We also continue to offer bi-weekly SAM Round Tables, which are informal 30-minute online sessions with the SAM team where you can ask questions and give us feedback. The round tables are also free. To register for one or more round tables: