

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.

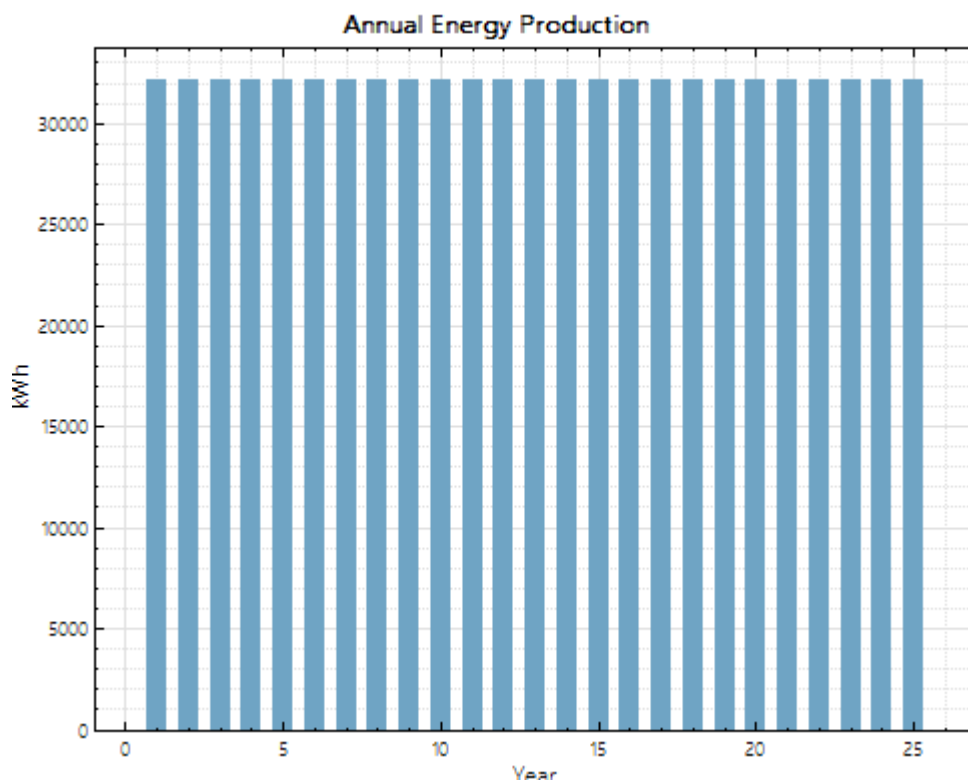
Variable	SES	WGA	SBP	SAIC
<i>Pump Parasitic Power</i>	150	100	175	300
<i>Pump Speed (rpm)</i>	1800	1800	1800	1800
<i>Cooling Fluid Type</i>	50% EG	50% EG	water	50% EG
<i>Cooling Fluid Temperature (K)</i>	288	288	288	288
<i>Cooling Fluid Volumetric Flow Rate (gal/min)</i>	9	7.5	7.5	12
<i>Cooling System 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.

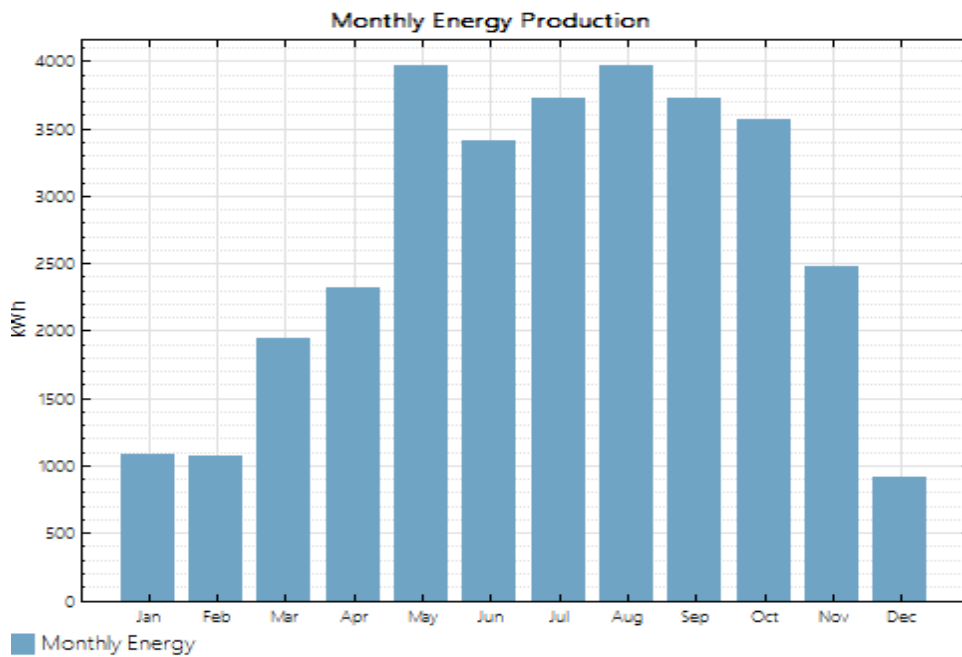


Gambar 4.3.1 Produksi Energi Tahunan SES

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

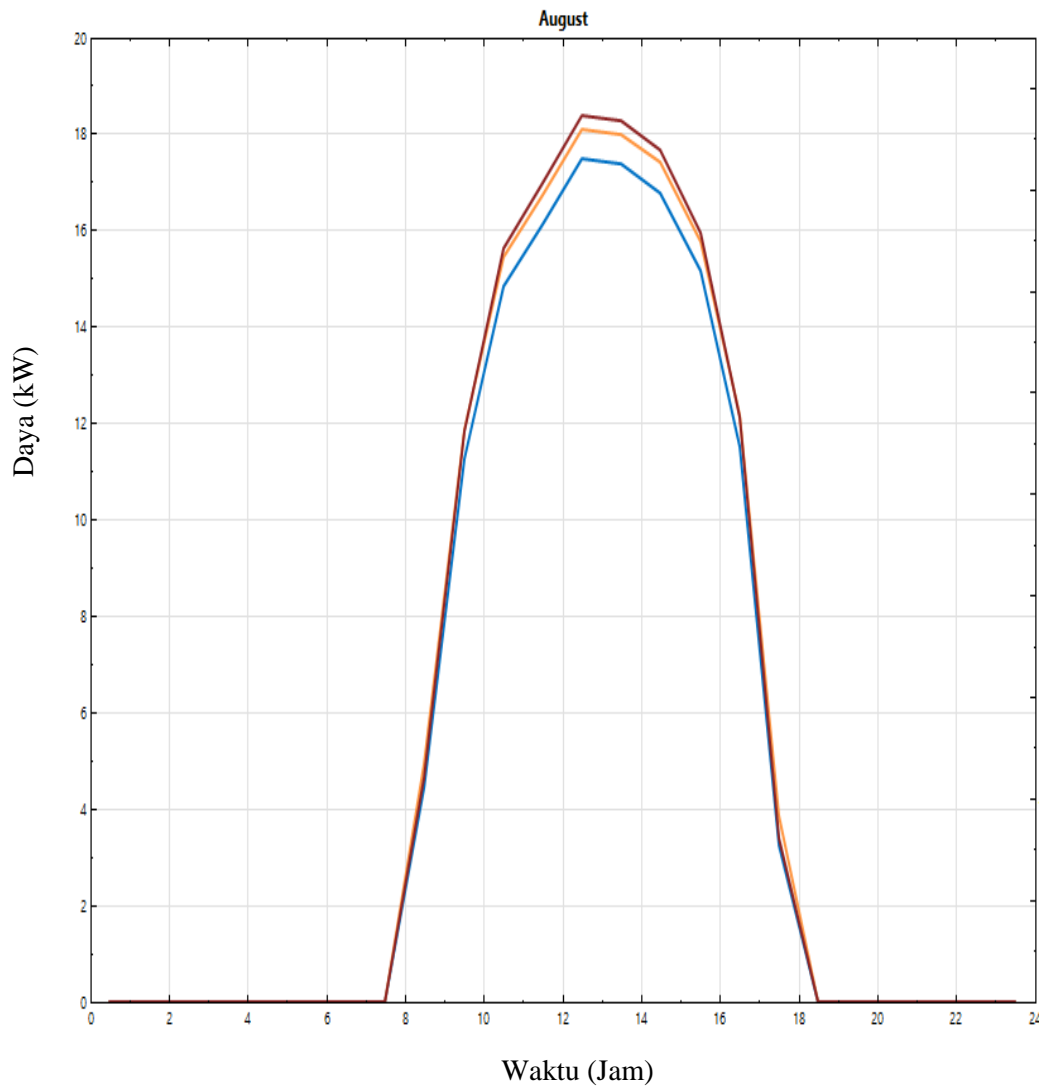
yaitu musim hujan pada bulan Oktober-Maret dan musim kemarau pada bulan April-September.

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

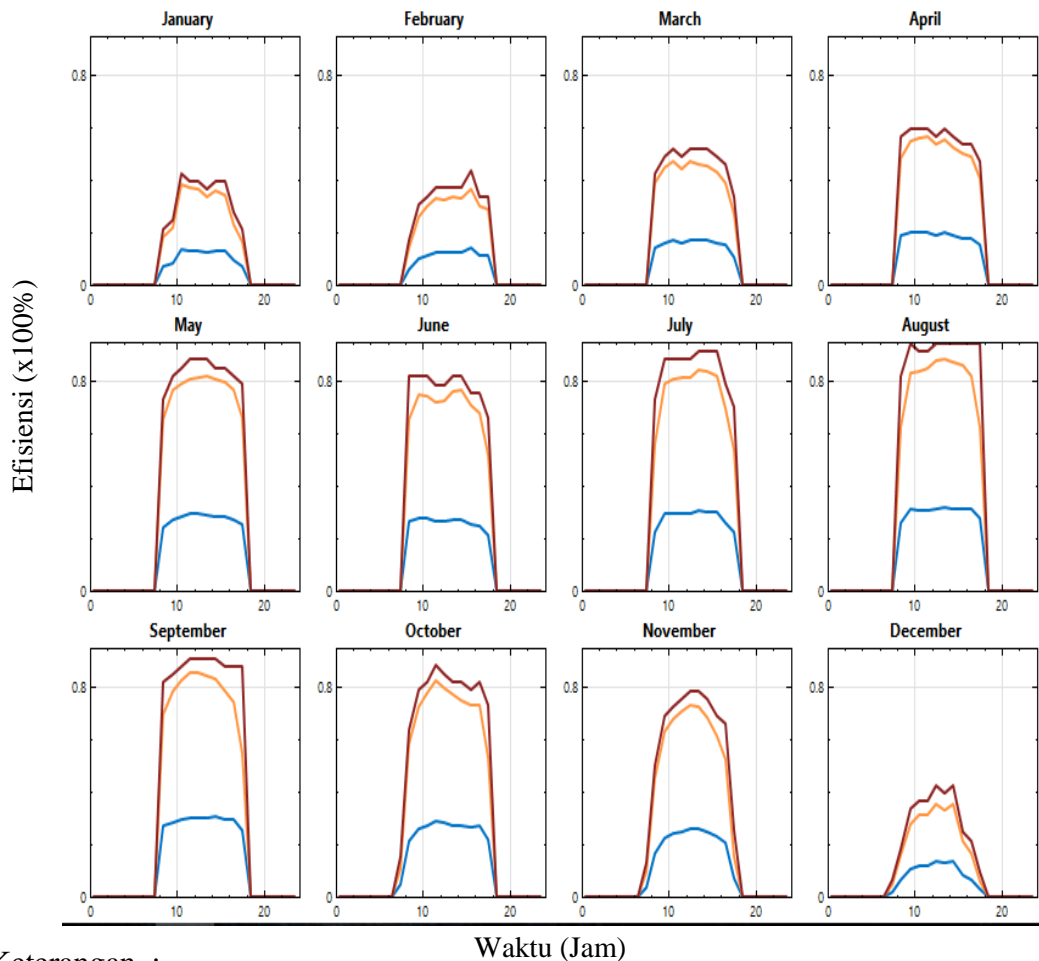
Tanggal dan Jam	Rugi-rugi Daya (kW)	Efisiensi Daya Mesin	Efisiensi Daya Sistem
Aug 1 12:00 am	0	0	0
Aug 1 01:00 am	0	0	0
Aug 1 02:00 am	0	0	0
Aug 1 03:00 am	0	0	0
Aug 1 04:00 am	0	0	0
Aug 1 05:00 am	0	0	0
Aug 1 06:00 am	0	0	0
Aug 1 07:00 am	0	0	0
Aug 1 08:00 am	0	0	0
Aug 1 09:00 am	0,4617	0,95	0,96
Aug 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

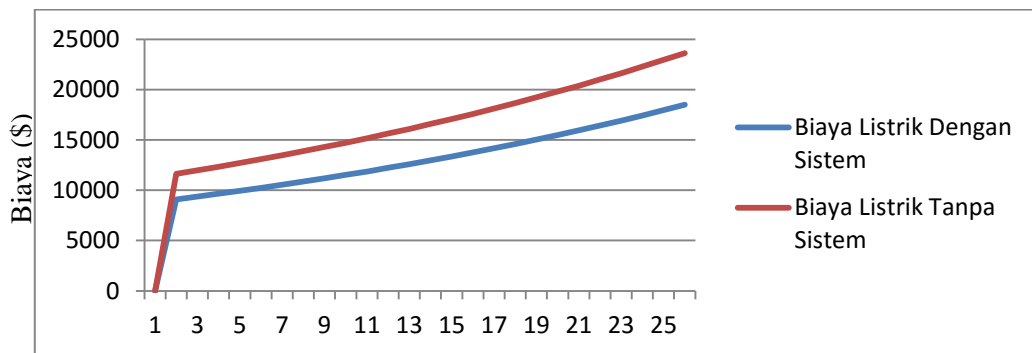
Efisiensi kerja sistem adalah keefektifan kerja sistem mulai dari collector, receiver dan heat engine menkonversikan energi sesuai dengan tujuan sistem tersebut. Keefektifan kinerja sistem ini tidak dapat dihitung secara manual harus memakai software atau program tertentu. Berikut hasil efisiensi kerja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

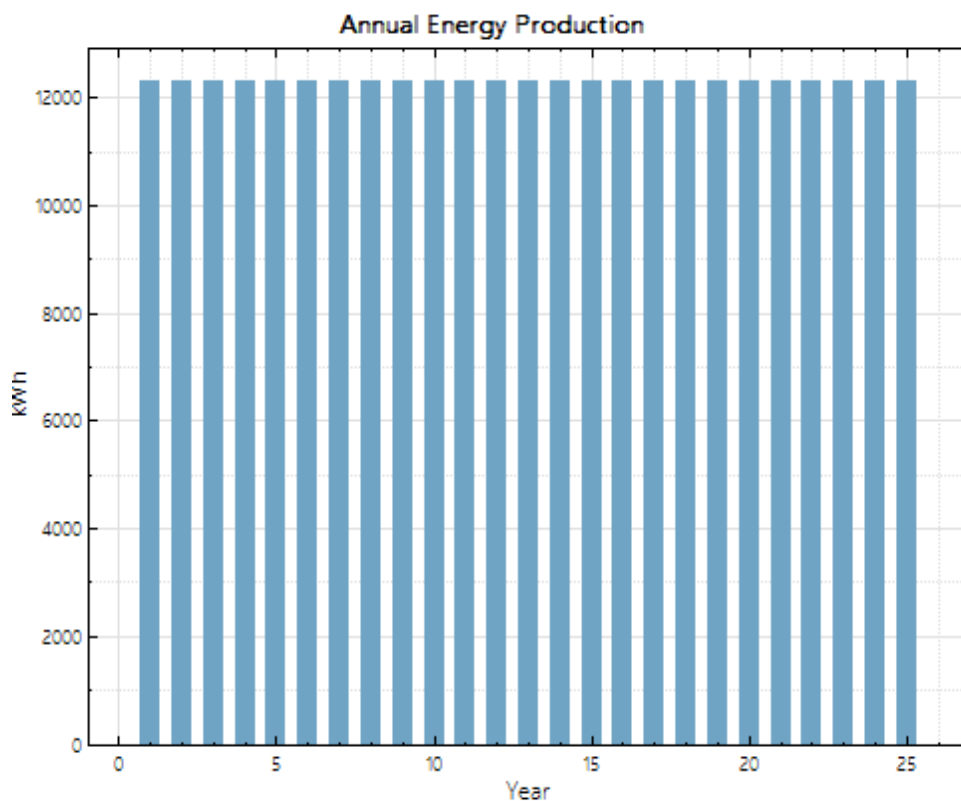
Sistem pembangkit ini selalu di bandingkan dengan *grid* yang telah lama teruji menjadi kebutuhan energi listrik untuk pelanggan dan dapat diketahui nilai Biaya Listrik tanpa *solar dish stirling* sebesar \$ 11,625. Nilai ini mengartikan bahwa apabila industri hanya berlangganan PLN maka harus membayar 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.

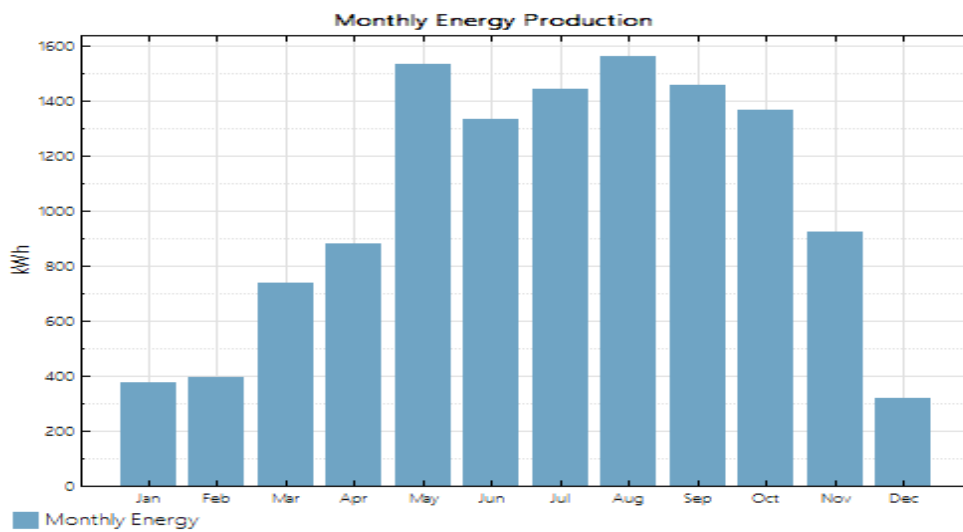


Gambar 4.4.1 Produksi Energi Tahunan WGA

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.

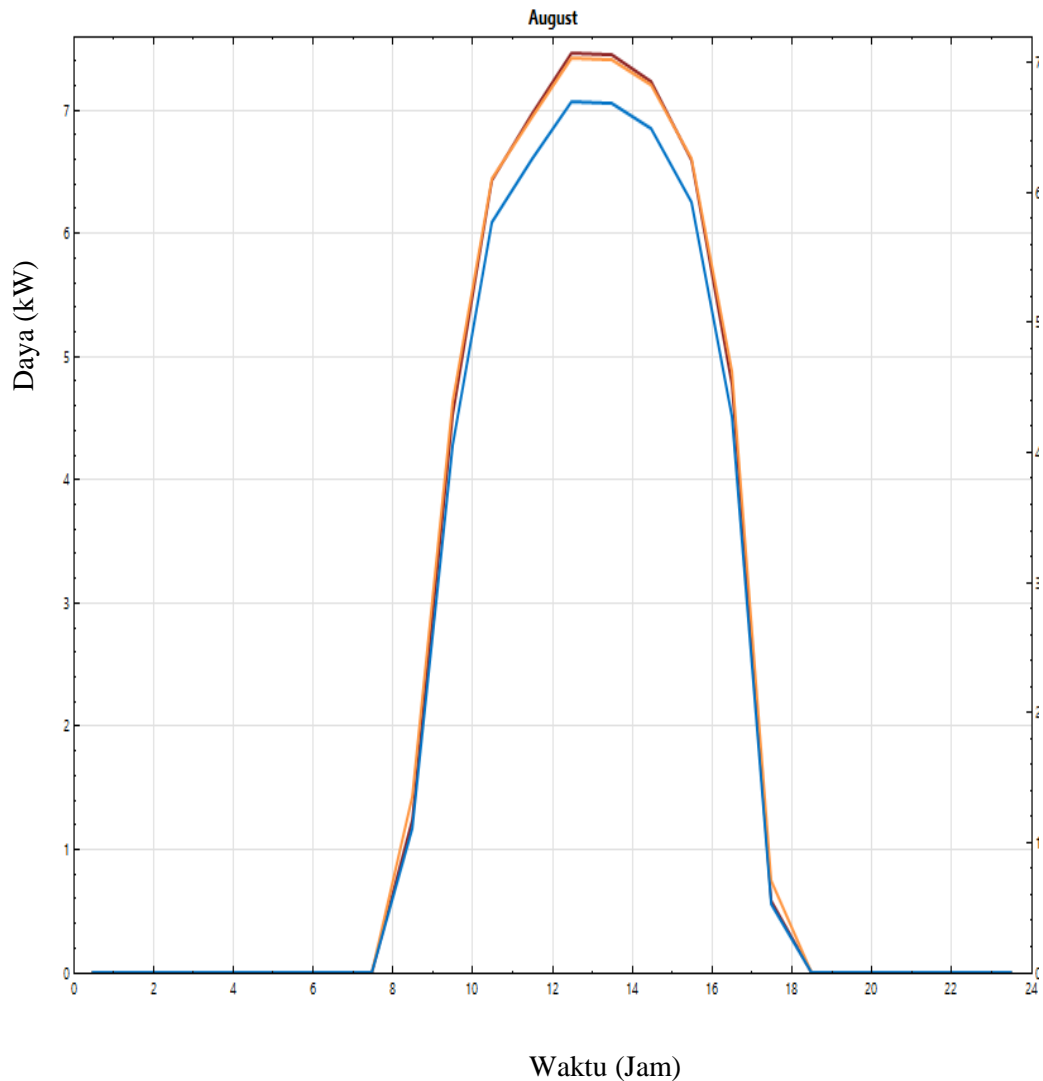
Sistem Pembangkit menghasilkan energi optimal pada bulan Maret sampai Oktober. Pada bulan November sampai April produksinya menurun, hal ini disebabkan oleh keadaan iklim di lokasi tersebut. Indonesia memiliki dua musim yaitu musim hujan pada bulan Oktober-Maret dan musim kemarau pada bulan April-September.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

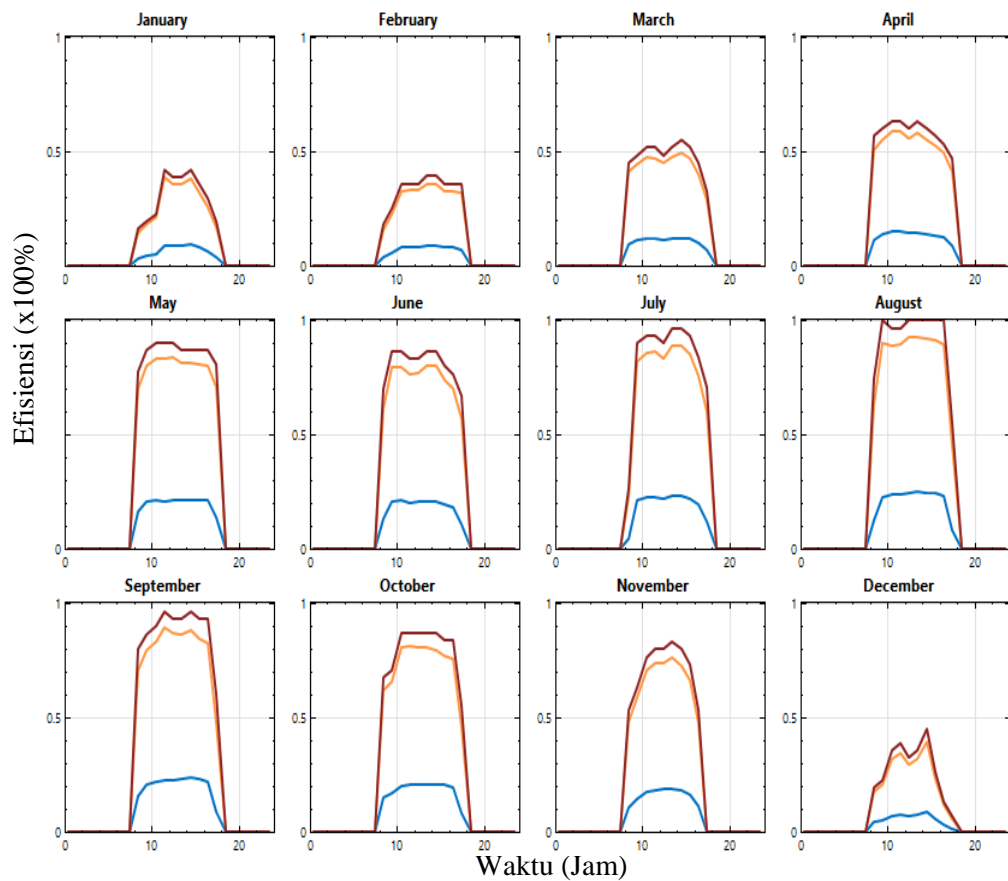
Tanggal dan Jam	Rugi-rugi Daya (kW)	Efisiensi Daya Mesin	Efisiensi Daya Sistem
Aug 1 12:00 am	0	0	0
Aug 1 01:00 am	0	0	0
Aug 1 02:00 am	0	0	0
Aug 1 03:00 am	0	0	0
Aug 1 04:00 am	0	0	0
Aug 1 05:00 am	0	0	0
Aug 1 06:00 am	0	0	0
Aug 1 07:00 am	0	0	0
Aug 1 08:00 am	0	0	0
Aug 1 09:00 am	0	0,92	1,00
Aug 1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



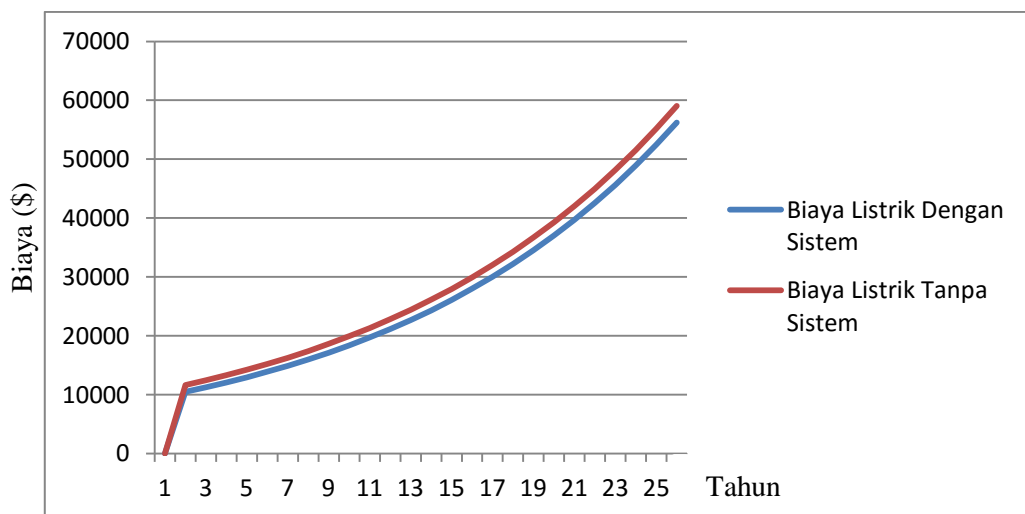
Keterangan :

- 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

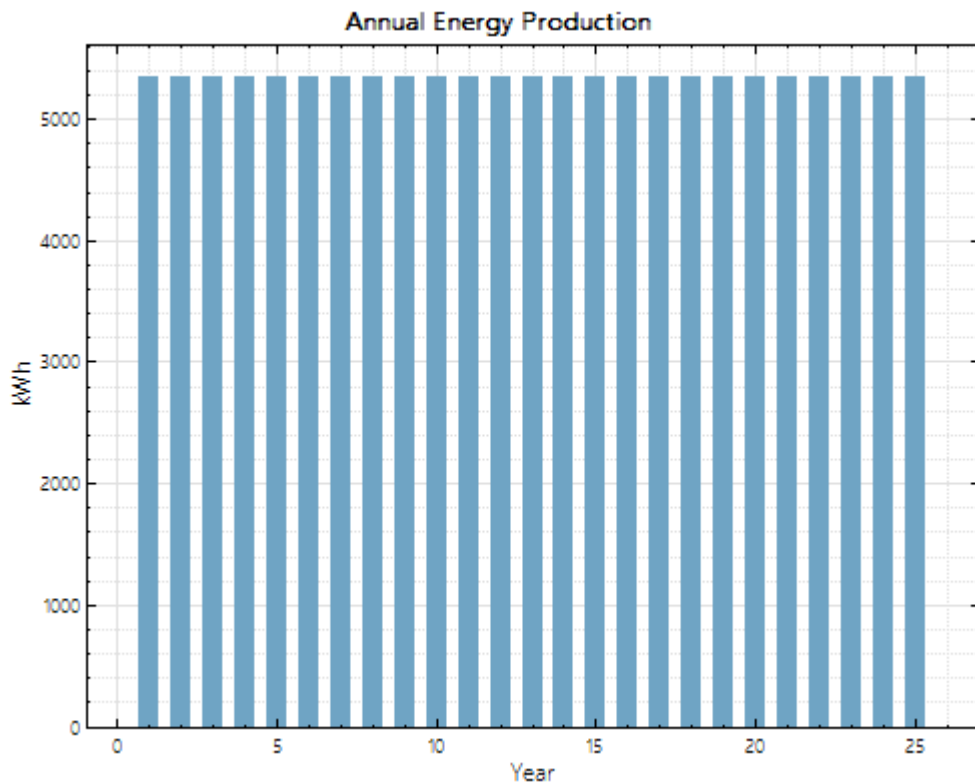
Sistem pembangkit ini selalu di bandingkan dengan *grid* yang telah lama teruji menjadi kebutuhan energi listrik untuk pelanggan dan dapat diketahui nilai Biaya Listrik tanpa *solar dish stirling* sebesar \$ 11,625. Nilai ini mengartikan bahwa apabila industri hanya berlangganan PLN maka harus membayar 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.

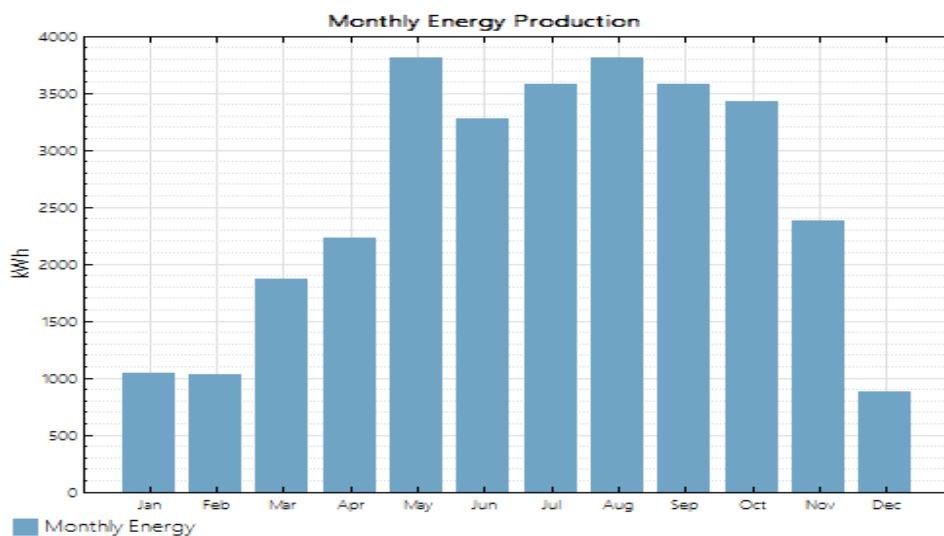


Gambar 4.5.1 Grafik Produksi Energi Tahunan SBP.

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.

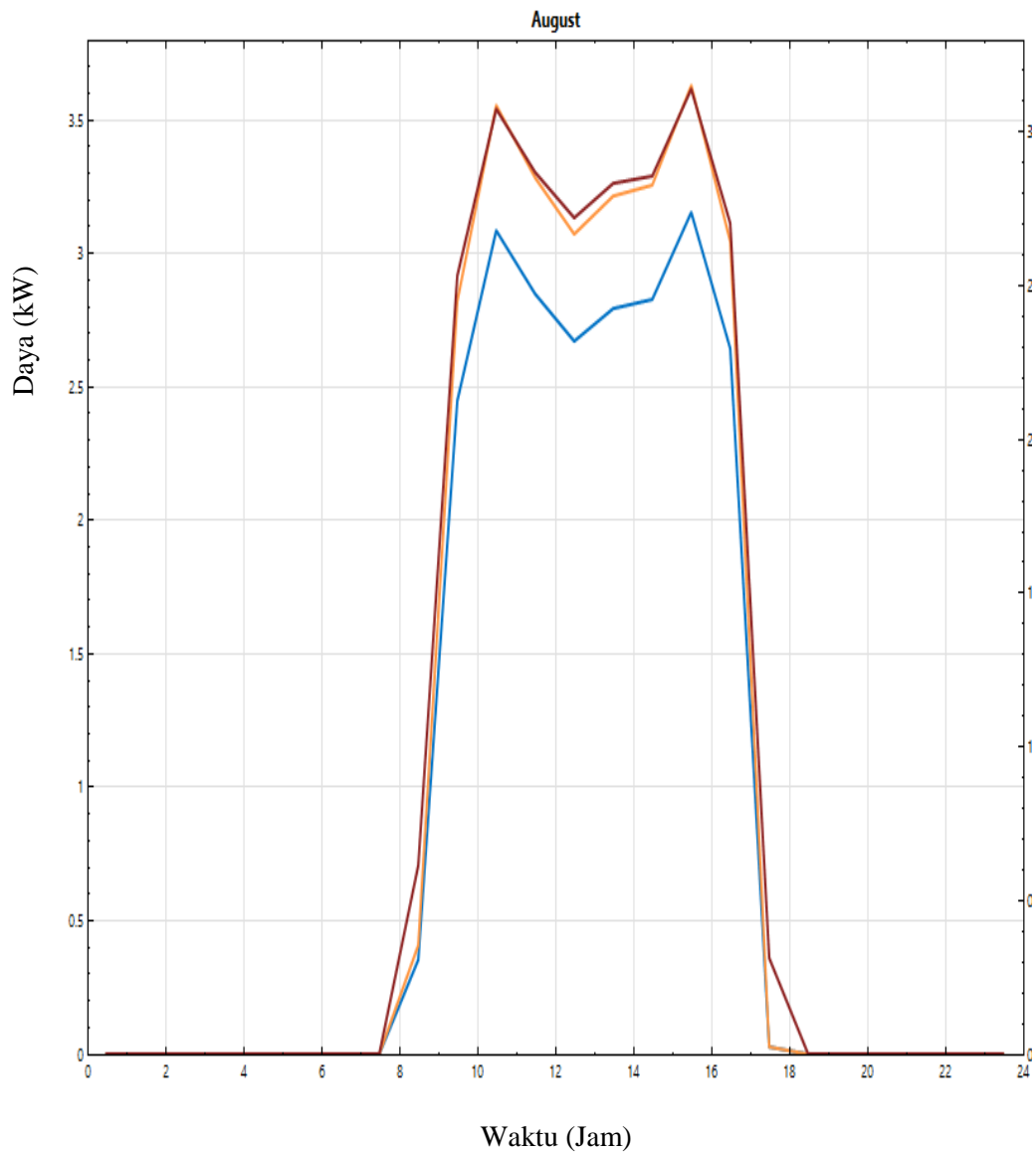
Sistem Pembangkit menghasilkan energi optimal pada bulan Maret sampai Oktober. Pada bulan November sampai April produksinya menurun, hal ini disebabkan oleh keadaan iklim di lokasi tersebut. Indonesia memiliki dua musim yaitu musim hujan pada bulan Oktober-Maret dan musim kemarau pada bulan April-September.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

4.5.2 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

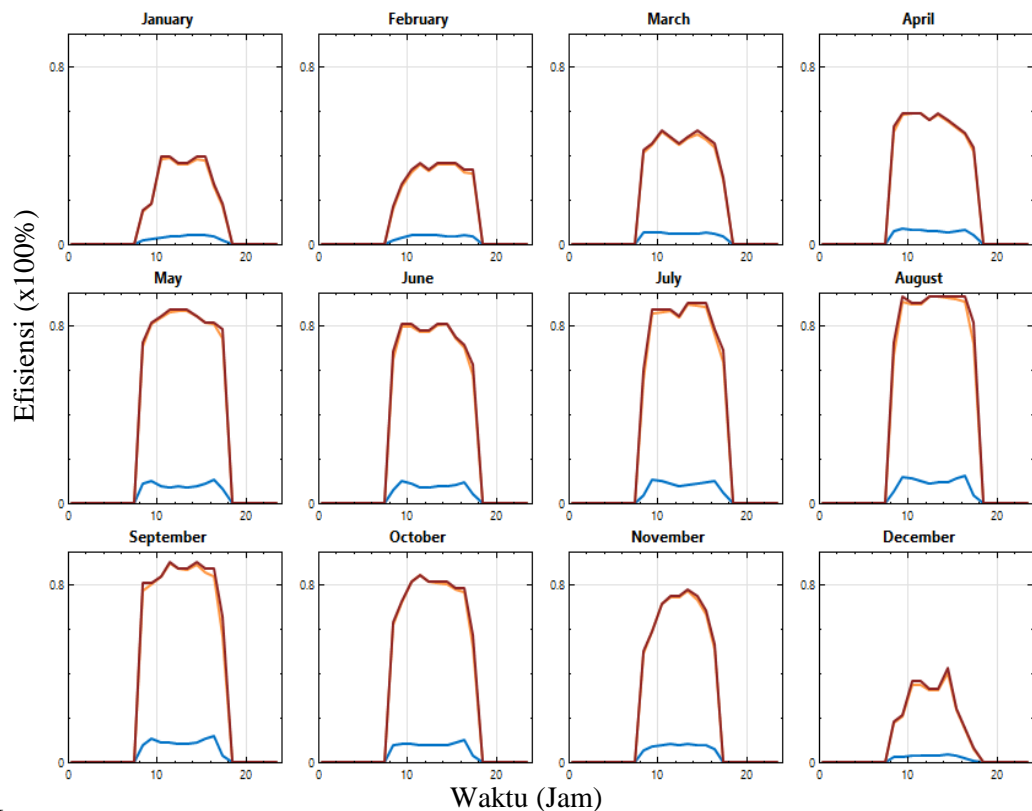
Tanggal dan Jam	Rugi-rugi Daya (kW)	Efisiensi Daya Mesin	Efisiensi Daya Sistem
Aug 1 12:00 am	0	0	0
Aug 1 01:00 am	0	0	0
Aug 1 02:00 am	0	0	0
Aug 1 03:00 am	0	0	0
Aug 1 04:00 am	0	0	0
Aug 1 05:00 am	0	0	0
Aug 1 06:00 am	0	0	0
Aug 1 07:00 am	0	0	0
Aug 1 08:00 am	0	0	0
Aug 1 09:00 am	0	0,84	1,00
Aug 1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



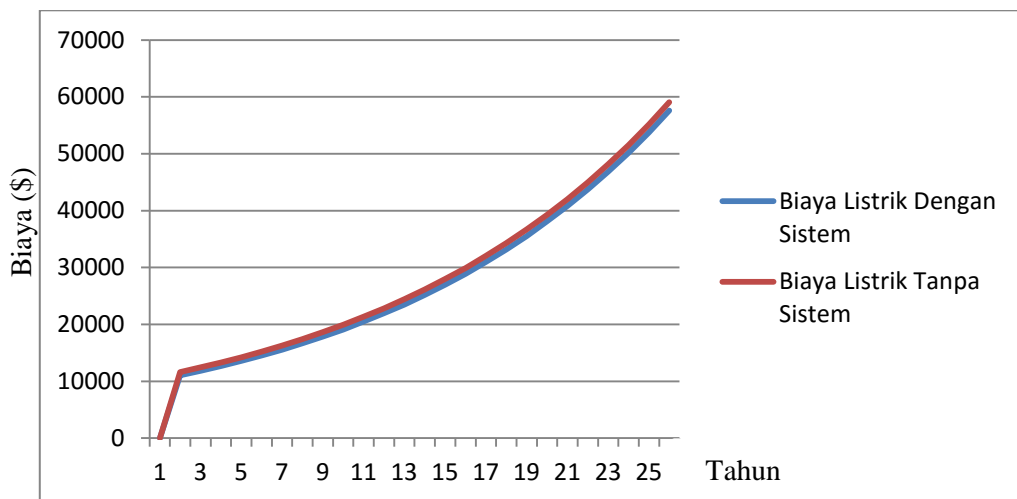
Keterangan :

- 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.

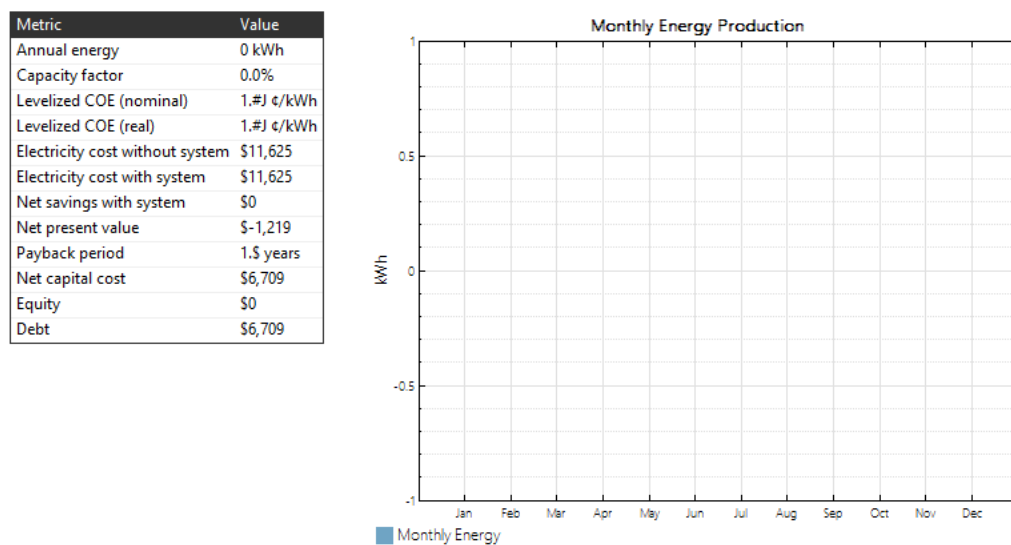
4.6 Analisis Data Model *Science Applications International Corporation*

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.

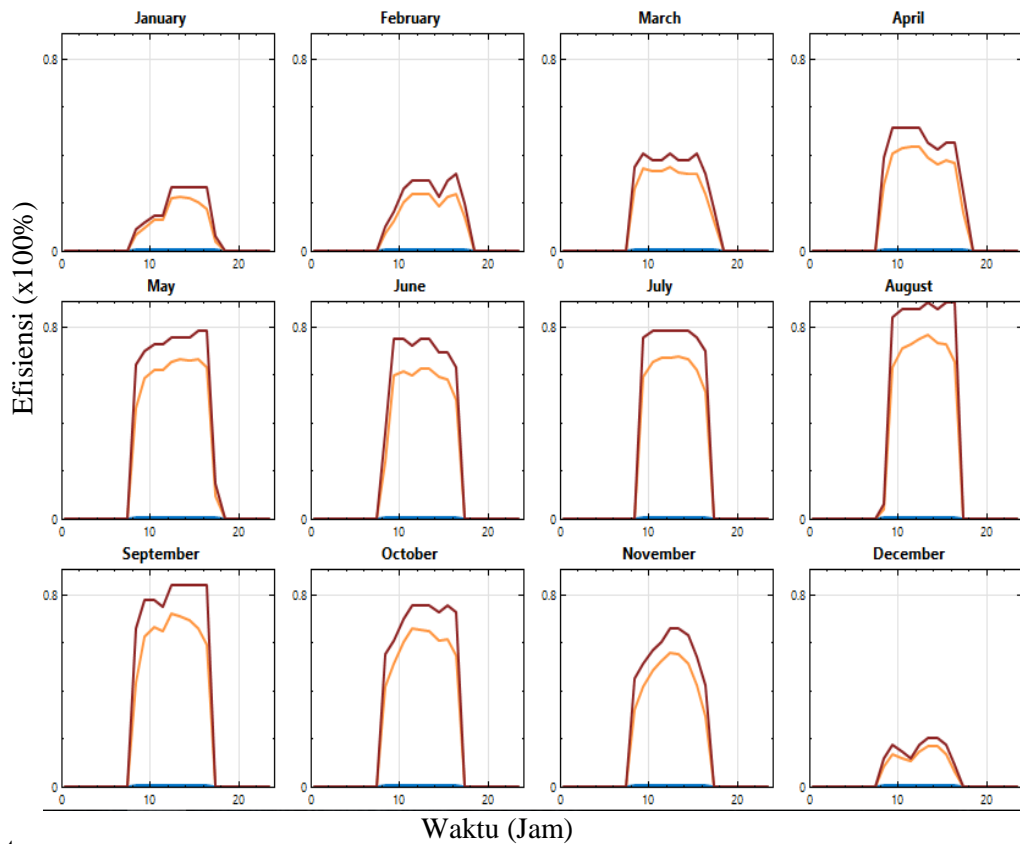
Produksi dari hasil simulasi menunjukkan hasil 0 kWh hal ini berarti ada kesalahan sistem atau ketidakcocokan sistem dengan iklim wilayah tersebut, Untuk itu perlu ditelusuri Efisiensi Kerja Sistemnya.



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.

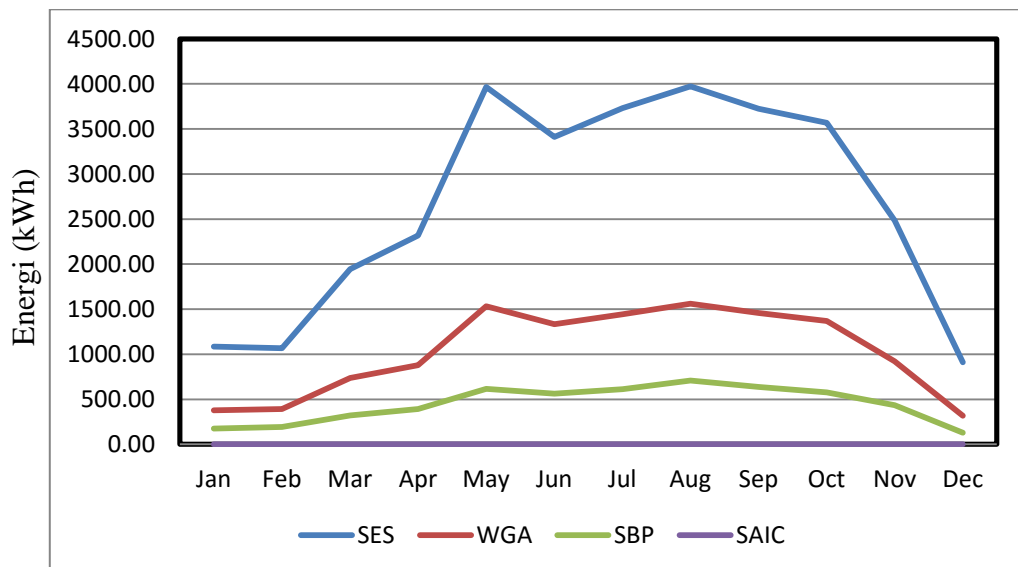
Efisiensi Kerja Kolektor dan *Receiver* baik tapi Mesin hampir tidak bekerja sama sekali efisiensi kerjanya sangat kecil hampir mendekati 0%, hal ini berarti Mesin Stirling model konfigurasi SAIC tidak bisa digunakan karena mesin tidak dapat bekerja pada kondisi iklim di Purbalingga.

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

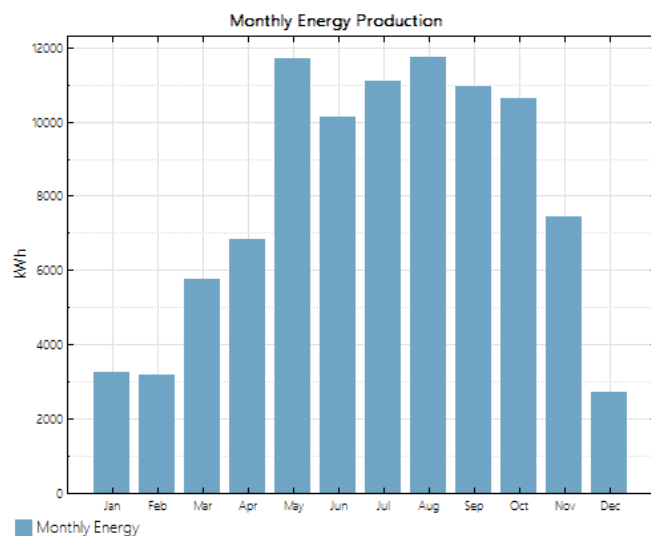


Gambar 4.7.1 Grafik Perbandingan Produksi Energi.

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.