

# ANALISIS PERPUTARAN RADIASI SURYA TERHADAP KINERJA SEL FOTOLISTRIK SEBAGAI ENERGI RAMAH LINGKUNGAN DI NUSA PENIDA KABUPATEN KLUNGKUNG PROVINSI BALI

I N. Suastaka<sup>1)</sup>, I G. Mahardika<sup>2)</sup>, M S. Mahendra<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Bappeda Kabupaten Klungkung

<sup>2)</sup> Program Magister Ilmu Lingkungan PPs Unud

## ABSTRACT

Photoelectric cells is an equipment made of semiconductor material of Silicone (Si<sup>14</sup>) functioned to catch and converse sun light to become electric energy directly. Through photoelectric phenomenon, that sun light as particles with frequency/wavelength of certain light can release electrons in a material. This electrons' movement can produce electric current. The aim of this research was to find out the performance of a photoelectric cells collector in conversing sun light to become electric energy due to the rotation of solar radiation in Nusa Penida.

The research was conducted at PLTS *electric home solar system* Nusa Penida for 5 days the measurement to the parameter of Current ( $I_{sc}$ ) and Voltage ( $V_{sc}$ ). Each measurement had duration of lighting for 8 hours each from 09.00 until 16.00 Central Indonesian Time, with time interval of 30 minutes. Measurement and data analysis produced in the research on Saturday, June 29<sup>th</sup> 2013 obtained: the amount of solar radiation arrived at earth's outer atmosphere was 1321.90 W/m<sup>2</sup>, and passed along to earth's surface at 621.29 W/m<sup>2</sup>, and received by photoelectric cells collector as heat power at 113.63 Watt, and efficiency produced was 25.3%, and electric power produced was 28.74 Watt, and can be equalized with fossil energy of 0.0237 liter of gasoline, or equivalent to 106.65 rupiah. It meant that, photoelectric cells collector with area of 50 x 110cm<sup>2</sup> in a day can protect earth from global warming of 28.74 Watt, in using of fossil energy at 0.0237 liter of gasoline.

The efficient performance of photoelectric cells was still considered small. In order to achieve big capacity of electric power required a lot of collector modules and large area, so that with the growing of semiconductor technology, it is expected that whenever possible it can reduce electron binding energy on material, and optimize solar lighting system to photoelectric cells collector modules, so that the efficient performance of photoelectric cells can be expected to be above 90%.

**Key words:** Photoelectric cells, Solar energy, Nusa Penida electric, Sun electric.

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara berkembang ketergantungan akan energi terus meningkat. Dengan semakin menipisnya cadangan energi fosil, yang mana dengan emisi energinya berdampak pada pemanasan global (*global warming*), karenanya mengharuskan kita untuk beralih pada sumber energi baru yang ramah lingkungan. Disisi lain meningkatnya kesadaran umat manusia akan penggunaan energi dengan dampaknya terhadap lingkungan yang bersih, sehat dan bebas polusi.

Berorientasi pada letak geografis Indonesia yang beriklim tropis, dapat dipastikan bahwa penerimaan intensitas radiasi matahari (surya) di bumi sepanjang tahunnya sangat tinggi. Potensi energi matahari yang tersedia baru sebagian kecil dapat dimanfaatkan untuk kesejahteraan umat manusia, maka sebagai mahluk yang berpikir kita diarahkan untuk bisa memanfaatkan energi matahari secara maksimal baik secara langsung maupun tidak langsung. Salah

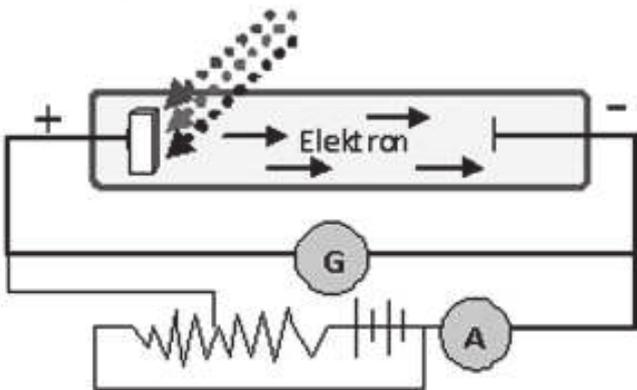
satu pemanfaatan energi matahari secara langsung adalah cahaya matahari dikonversikan menjadi energi listrik secara langsung, dengan menggunakan modul sel fotolistrik sebagai kolektor surya. Sel fotolistrik (*solar cell*) merupakan suatu materi/bahan yang dapat menghasilkan listrik jika dikenai cahaya matahari, atau arus listrik dapat dihasilkan oleh suatu materi dengan menggunakan cahaya matahari sebagai sumber energi.

Dengan tujuan itu semikonduktor sel fotolistrik (*solar cell*) difungsikan menangkap dan mengkonversikan cahaya matahari menjadi energi listrik ramah lingkungan. Energi listrik yang dihasilkan diharapkan dapat menggantikan peran dari penggunaan energi berbahan bakar fosil, serta dapat menanggulangi krisis kelistrikan di pulau-pulau kecil seperti di Nusa Penida. Hal ini masih diperlukan kajian dan analisis penelitian lebih lanjut dari kinerjanya dalam mengkonversikan cahaya matahari menjadi energi listrik terhadap pengaruh perputaran surya di Nusa Penida Kabupaten Klungkung Propinsi Bali.

Berdasarkan latar belakang di atas menarik diadakan penelitian dengan tujuan untuk mengetahui : (1) Bagaimana kinerja daya panas dari Arus ( $I_{sc}$ ) dan Tegangan ( $V_{sc}$ ) yang dihasilkan sel fotolistrik semikonduktor Silikon ( $Si^{14}$ ) yang difungsikan untuk mengkonversikan energi matahari menjadi energi listrik secara langsung akibat perputaran radiasi suryadi Nusa Penida; (2) Berapa besar efisiensi daya listrik dari daya panas yang dihasilkan oleh sebuah modul kolektor sel fotolistrik dalam luasannya akibat intensitas cahaya matahari yang diterimanya di Nusa Penida; (3) Berapa besar kesetaraan konversi energi sel fotolistrik ke dalam liter bensin energi fosil akibat durasi penyinaran surya dalam satu hari di Nusa Penida?

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

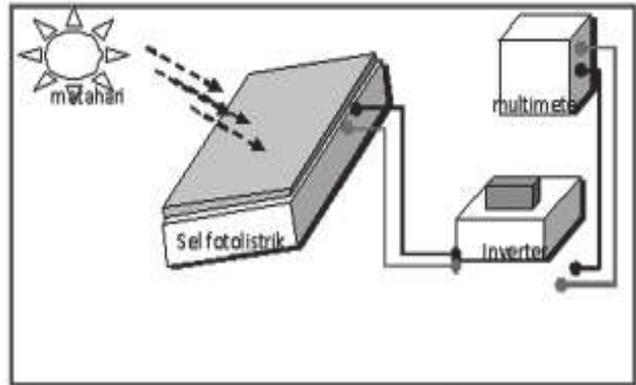
Penelitian dilaksanakan di Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) sistem listrik desentralisasi (*solar home electric*) pada perumahan penduduk di Nusa Penida. Dengan geografis wilayah berada pada  $8^{\circ}43'50''$  LS dan  $115^{\circ} 32' 11''$  BT. Rancangan penelitian adalah : cahaya foton matahari dalam bentuk gelombang elektromagnetik jatuh pada kolektor sel fotolistrik dengan luas  $110 \times 50$  cm, akan mengalirkan arus akibat dari beda potensial yang ditimbulkan cahaya matahari. Besarnya Arus dan Tegangan akan terbaca secara manual oleh alat invertermeter dalam bentuk sensor sistem manual ber-indikator warna hijau, kuning dan merah. Dan alat invertermeter disambung ke alat multimeter untuk mendapatkan besaran arus dan tegangan secara digital.



Gambar 1 Efek fotolistrik pada suatu materi

Waktu pengambilan data penelitian : (1) Ditentukan kala revolusi bumi, yaitu selama lima hari pada bulan Juni-Juli dengan memperhitungkan cuaca lokasi penelitian. Dimana pada bulan tersebut Kecamatan Nusa Penida mengalami musim kemarau. (2) Ditentukan kala rotasi bumi, dengan menggunakan durasi penyinaran selama 8 jam dalam 1 hari, mulai dari pukul 09.00 sampai dengan pukul 16.00 Wita, dalam selang waktu 30 menit.

Pengambilan durasi penyinaran ini mempertimbangkan pepohonan yang tinggi yang dapat menghalangi obyek di tempat penelitian.



Gambar 2 Rangkaian Penelitian Sel fotolistrik di Nusa Penida

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Radiasi Matahari Luar Atmosfer Bumi di Nusa Penida

Pergerakan bumi berevolusi terhadap matahari dalam satu tahun sebagai bentuk lintasan elips, mengakibatkan radiasi panas matahari yang sampai di luar atmosfer bumi akan bervariasi sepanjang tahun. Besarnya radiasi matahari yang sampai di luar atmosfer bumi yang terjadi pada penelitian tanggal 29 Juni 2013 adalah :  $G_{ON} (29 \text{ Juni } 2013) = 1367 \text{ W/m}^2 (1+0,033 \cos)$

Dimana,  $n$  ditentukan dengan persamaan :  $n = 152 + i$ , dimana  $i = 29$ , maka  $n = 152 + 29$ , sehingga nilai  $n$  yang terjadi pada tanggal 29 Juni 2013 adalah 181. Dengan memasukan nilainya mendapatkan :  $G_{ON} = 1367 \text{ W/m}^2 (1+0,033 \cos) = 1321,90 \text{ W/m}^2$

Dengan perhitungan yang sama untuk mendapatkan nilai  $n$  tanggal penelitian berikutnya dan menghitung besarnya radiasi matahari yang memasuki di luar atmosfer bumi (*exstraterrestrial*) berikutnya seperti hasil pada Tabel 1

Tabel 1 Radiasi matahari luar atmosfer bumi dalam 5 hari penelitian di Nusa Penida

No	Tanggal penelitian	Nilai $n$ tanggal penelitian	Radiasi matahari di luar atmosfer bumi ( $\text{W/m}^2$ )
1	29 Juni 2013	$152 + 29 = 181$	1321,90
2	30 Juni 2013	$152 + 30 = 182$	1321,89
3	4 Juli 2013	$181 + 4 = 185$	1321,92
4	5 Juli 2013	$181 + 5 = 186$	1321,96
5	6 Juli 2013	$181 + 6 = 187$	1322,02
Rataan			1321,81

Tabel 1 menunjukkan bahwa dalam lima hari pengambilan dan menganalisis radiasi matahari di luar atmosfer bumi terhadap tanggal penelitian,

menghasilkan nilai bervariasi yang beraturan. Hal ini diakibatkan oleh kecepatan berevolusi bumi terhadap matahari tidak tetap dalam satu tahun tetapi beraturan. Keberaturan yang tidak tetap ini mengikuti kaedah Hukum II Kepler, yaitu kecepatan berevolusi bumi terhadap matahari akan lambat jika berada pada jarak terjauh dan menyapu luasan daerah yang sama terhadap jarak terdekat matahari.

**3.2. Radiasi Matahari Permukaan Bumi di Nusa Penida**

Bumi dilindungi oleh lapisan yang disebut dengan lapisan atmosfer bumi, akibatnya tidak semua energi cahaya matahari yang menuju bumi dapat diterima sampai di permukaan bumi. Tetapi sebagian besar energi matahari akan terpantulkan kembali ke angkasa luar dalam bentuk gelombang pendek matahari dan sebagian lagi terserap oleh gas-gas lapisan di atmosfer bumi dalam bentuk awan dan aerosol. Radiasi matahari yang menuju atmosfer bumi sebagai konstanta matahari sebesar 1367 W/m<sup>2</sup> dalam jumlah 100% cahaya matahari menuju bumi, hanya 47% cahaya matahari yang dapat mencapai permukaan bumi (Klinken, 1989). Sisanya mengalami pemantulan (*refleksi*) dan penyerapan (*absorpsi*) oleh gas-gas yang ada di lapisan atmosfer bumi.

Besarnya radiasi matahari yang sampai permukaan bumi di Nusa Penida yang terjadi pada tanggal 29 Juni 2013 dapat ditentukan dengan persamaan :  $G_{BM} = G_{ON} \times 47\% = 1321,90 \times 0,47 = 621,29 \text{ W/m}^2$

$G_{ON}$  adalah radiasi matahari diluar atmosfer bumi yang terjadi pada tanggal 29 Juni 2013. Maka besarnya radiasi matahari yang dapat sampai di bumi ( $G_{BM}$ ) yang terjadi pada tanggal 29 Juni 2013 adalah 621.29 W/m<sup>2</sup>.

Dengan perhitungan yang sama untuk mendapatkan radiasi matahari yang sampai di permukaan bumi pada tanggal dan bulan berikutnya seperti hasil pada Tabel 2.

**Tabel 2** Radiasi matahari permukaan bumi dalam lima hari penelitian di Nusa Penida

No	Tanggal penelitian	Radiasi matahari di luar atmosfer bumi (W/m <sup>2</sup> )	Radiasi matahari di permukaan bumi (W/m <sup>2</sup> )
1	29 Juni 2013	1321,90	621,29
2	30 Juni 2013	1321,89	621,28
3	4 Juli 2013	1321,92	621,30
4	5 Juli 2013	1321,96	621,32
5	6 Juli 2013	1322,02	621,34
	Rataan	1321,81	621,30

Tabel 2 memperlihatkan bahwa adanya variasi nilai radiasi matahari yang sampai di permukaan bumi terhadap tanggal dan bulan penelitian dengan

menghasilkan besarnya energi matahari di permukaan bumi (W/m<sup>2</sup>) secara berurut dan beraturan secara oval. Jika data ini diambil dalam satu tahun akan menghasilkan lingkaran bentuk elips. Dan secara periodik, setiap tanggal 30 Juni bumi menerima intensitas cahaya matahari (W/m<sup>2</sup>) paling kecil, hal ini disebabkan karena posisi bumi berada pada jarak terjauh dari matahari.

**3.3. Kinerja Daya Panas Sel Fotolistrik “Solarex MSX-53” di Nusa Penida**

Energi panas matahari yang sampai dipermukaan bumi diterima oleh peralatan sel fotolistrik Solarex MSX-53 dengan luas 110 x 50 cm<sup>2</sup> sebagai kolektor surya. Peralatan ini mampu menangkap dan mengkonversikan cahaya matahari menjadi energi listrik secara langsung, dan energi yang diterima dapat diukur sebagai bentuk daya panas, hal ini disebabkan tegangan dan arus yang timbul akibat foton cahaya matahari sebagai gelombang elektromagnetik dengan frekwensi berbanding terbalik dengan panjang gelombang. Tegangan terjadi akibat beda potensial antara dua jenis bahan semikonduktor yaitu semikonduktor tipe-P dengan semikonduktor tipe-N, dan arus terjadi karena terlepasnya elektron pada bahan semikonduktor akibat perbedaan beda potensial yang dipengaruhi oleh cahaya matahari. Tegangan ( $V_{sc}$ ) sel fotolistrik diukur dengan alat voltmeter, dan arus ( $I_{sc}$ ) diukur dengan alat amperemeter.

Daya panas sebuah modul kolektor sel fotolistrik terhadap intensitas cahaya matahari pukul 09.00 Wita pada Sabtu 29 Juni 2013 adalah :

$$\begin{aligned}
 P_{(Pukul\ 09.00)} &= I_{sc} \times V_{sc} \\
 &= 5,29 \text{ (Ampere)} \times 14,23 \text{ (Volt)} \\
 &= 75,41 \text{ (Watt)}
 \end{aligned}$$

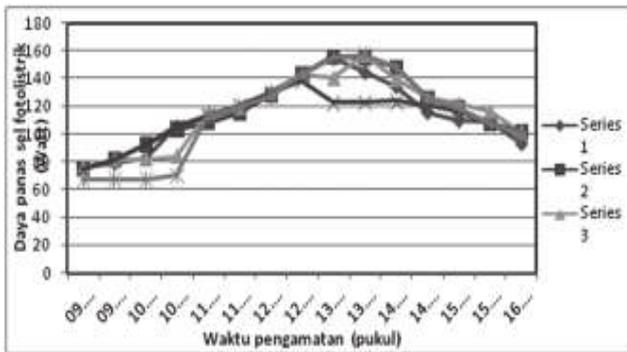
Dimana,  $I_{sc}$  dan  $V_{sc}$  merupakan Arus dan Tegangan sel fotolistrik.

Jadi besarnya daya panas sel fotolistrik penelitian pukul 09.00 Wita pada tanggal 29 Juni 2013 di Nusa Penida adalah 74,41(Watt). Memakai perhitungan yang sama menentukan kinerja daya panas sel foto listrik Solarex MSX-53 di Nusa Penida pengukuran terhadap pengaruh rotasi dan revolusi bumi berikutnya seperti hasil pada Tabel 3.

Tabel 3 terlihat bahwa meningkatnya daya panas sel fotolistrik yang dihasilkan tergantung pada intensitas cahaya matahari dari pengaruh perputaran rotasi dan revolusi bumi. Kinerja daya panas sel fotolistrik terhadap intensitas cahaya matahari dari pukul 09.00 s/d 16.00 Wita dalam lima hari pengukuran yaitu tanggal 29 Juni 2013, 30 Juni 2013, 4 Juli 2013, 5 Juli 2013 dan tanggal 6 Juli 2013. Dan dapat dibuat model grafik hubungan daya panas kolektor terhadap pengaruh intensitas cahaya matahari seperti Gambar 2.

**Tabel 3** Daya panas sel fotolistrik Solarex MSX-53 dalam pengaruh rotasi dan revolusi bumi

No	Waktu	Daya Panas Sel fotolistrik dalam lima hari				
		29 Juni 2013	30 Juni 2013	4 Juli 2013	5 Juli 2013	6 Juli 2013
1	09.00	75,41	75,26	76,07	74,49	63,04
2	09.30	78,80	81,91	81,14	81,26	63,18
3	10.00	84,24	92,31	81,63	92,30	63,18
4	10.30	105,47	103,21	83,87	105,60	63,93
5	11.00	112,06	108,16	115,70	113,35	113,12
6	11.30	117,88	115,31	118,95	120,36	120,12
7	12.00	127,00	128,27	130,78	129,65	127,60
8	12.30	142,83	143,06	143,22	138,30	143,42
9	13.00	154,79	155,71	140,54	122,49	155,31
10	13.30	144,61	154,51	157,01	122,83	157,41
11	14.00	134,36	148,34	139,58	123,54	148,26
12	14.30	115,6	126,30	125,93	120,96	125,28
13	15.00	109,82	118,97	121,72	116,09	119,25
14	15.30	108,66	107,35	116,32	107,68	107,45
15	16.00	92,96	101,98	101,42	100,59	99,91



**Gambar 3** Grafik hubungan daya panas sel fotolistrik terhadap intensitas surya, dalam lima hari pengukuran

Dimana,

- Series 1 = perubahan daya panas pengukuran pertama, Sabtu 29 Juni 2013
- Series 2 = perubahan daya panas pengukuran kedua, Minggu 30 Juni 2013
- Series 3 = perubahan daya panas pengukuran ketiga, Kamis 4 Juli 2013
- Series 4 = perubahan daya panas pengukuran keempat, Jumat 5 Juli 2013
- Series 5 = perubahan daya panas pengukuran kelima, Sabtu 6 Juli 2013

Secara grafis daya panas pengukuran Pertama, Sabtu 29 Juni 2013 dapat dilihat, bahwa kenaikan daya panas yang dihasilkan kolektor sel fotolistrik akibat intensitas radiasi surya, pada pukul 09.00 Wita, sebesar 75,41 Watt, terus meningkat sampai batas tertinggi yaitu pada pukul 13.00 Wita mencapai 154,79 Watt kemudian turun sampai kisaran 92,96 Watt pada pukul 16.00. Wita. Rata-rata daya panas yang dihasilkan cukup tinggi, yang disebabkan kondisi atmosfer di lokasi penelitian cukup cerah, udara relatif bersih dengan suhu rata-rata 23°C.

Secara grafis daya panas pengukuran Kedua, Minggu 30 Juni 2013 dapat dilihat, bahwa kenaikan

daya panas yang dihasilkan oleh kolektor sel fotolistrik akibat intensitas radiasi surya, pada pukul 09.00 sebesar 75,26 Watt, terus meningkat pada pukul 13.00 mencapai 155,71 Watt kemudian turun sampai kisaran 101 Watt pada pukul 16.00. Hal ini disebabkan kondisi atmosfer di lokasi penelitian sangat cerah, udara relatif bersih dan sejuk dengan temperatur lingkungan rata-rata 23°C sehingga intensitas cahaya yang diterima kolektor sel fotolistrik rata-rata tinggi sepanjang waktu penelitian.

Secara grafis daya panas pengukuran Ketiga, Kamis 4 Juli 2013 dapat dilihat, bahwa kenaikan daya panas kolektor sel fotolistrik akibat intensitas radiasi surya, pada pukul 09.00 daya yang diterima sebesar 76,07 Watt, pada pukul 09.30 terjadi perawanan ringan sampai pukul 10.30, dan pukul 11.00 intensitas matahari yang diterima cukup tinggi terus meningkat sampai batas tertentu yaitu pada pukul 13.30 mencapai 157,01 Watt kemudian turun sampai kisaran 101,42 Watt pada pukul 16.00. Kondisi biosfir penelitian rata-rata cukup cerah udara bersih dengan temperatur 23°C, intensitas cahaya yang diterima kolektor fotolistrik rata-rata cukup tinggi.

Secara grafis daya panas pengukuran Keempat, Jumat 5 Juli 2013 dapat dilihat, bahwa kenaikan daya panas kolektor sel fotolistrik akibat intensitas cahaya matahari, dari pukul 09.00 sebesar 74,49 Watt, pada pukul 09.30 intensitas surya terus meningkat secara optimal sampai pukul 12.00. di siang hari pada pukul 12.00 sampai pukul 14.00 terjadi cuaca berawan, sehingga intensitas matahari yang diterima tidak optimal. Dari mulai pukul 14.00 ke atas berjalan optimal sampai batas tertentu mencapai 123,54 Watt kemudian turun sampai kisaran 100,59 Watt pada pukul 16.00. Kondisi biosfir di lokasi penelitian cukup optimal, cuaca mendung disaat pukul 12.00 s/d 14.00, tidak sampai terjadi hujan.

### 3.4. Daya Panas Rata-Rata Sel Fotolistrik Solarex MSX-53

Besarnya daya panas ( $P_{sc}$ ) sel fotolistrik (*solar cell*) sangat ditentukan oleh Arus ( $I_{sc}$ ) dan Tegangan ( $V_{sc}$ ) yang dihasilkannya. Besarnya Arus dan Tegangan kolektor sel fotolistrik dipengaruhi oleh intensitas cahaya matahari yang sampai ke modul kolektor surya, dan intensitas cahaya matahari tergantung kepada tiga hal yaitu : Pertama pengaruh waktu rotasi bumi, yaitu perputaran bumi pada porosnya selama 24 jam yang mengakibatkan terjadinya perbedaan sudut jatuh sinar matahari di bumi. Kedua kala revolusi bumi, yaitu perputaran bumi mengelilingi matahari dalam satu tahun secara periodik dengan jarak bervariasi, sehingga berpengaruh terhadap intensitas cahaya di bumi. Dan yang ketiga keadaan cuaca di lokasi penelitian, yaitu keadaan kondisi langit pada suatu saat di

tempat penelitian yang terkait dengan keadaan atmosfer bumi yaitu cuaca cerah, berawan dan hujan. Cuaca cerah akan menghasilkan intensitas yang tinggi dibandingkan cuaca berawan ataupun hujan.

Besarnya Daya panas rata-rata kolektor surya ( $P_{sc}$ ) dalam satu hari pada penelitian Pertama, 29 Juni 2013 ditentukan dengan persamaan : jumlah daya panas penelitian hari Pertama ( $\sum P_{sc}$ ) dibagi dengan banyaknya selang interval waktu penyinaran ( $n$ ), dengan  $n$  bernilai 15 titik pengukuran. Maka didapat :

$$P = \frac{\text{Jumlah daya panas}}{\text{Banyaknya titik pengukuran}} = \frac{\sum P_{sc}}{n} = \frac{1704,56}{15} = 113,63 \text{ Watt}$$

Dengan perhitungan yang sama mendapatkan daya panas rata-rata dalam satu hari kinerja kolektor sel fotolistrik ( $P_{sc}$ ) pada pengukuran tanggal berikutnya seperti hasil pada Tabel 4.

**Tabel 4** Daya panas rata-rata sel fotolistrik dalam lima hari penelitian di Nusa Penida

No	Tanggal penelitian	Daya panas total kolektor/hari (Watt)	Daya panas rata-rata kolektor (Watt)
1	29 Juni 2013	1.704,56	113,63
2	30 Juni 2013	1.760,63	117,38
3	4 Juli 2013	1.733,93	115,59
4	5 Juli 2013	1.646,20	109,75
5	6 Juli 2013	1.390,24	111,36
Rataan		1.647,11	113,54

Tabel 4 menunjukkan bahwa dalam 5 hari penelitian, dihasilkan daya panas bervariasi dan tidak beraturan. Besarnya daya panas yang tidak beraturan dalam lima hari ini dipengaruhi kondisi atmosfer bumi pada lokasi penelitian. Cuaca merupakan faktor yang paling dominan dalam menentukan besarnya kinerja daya panas yang dihasilkan sel fotolistrik (*solar cell*).

### 3.5. Efisiensi Kolektor Sel Fotolistrik Solarex MSX-53 di Nusa Penida

Efisiensi sebuah modul kolektor sel fotolistrik (*solar cell*) merupakan kemampuan dari Tegangan ( $V_{sc}$ ) yang dapat melepaskan Arus ( $I_{sc}$ ) akibat penyinaran dari cahaya matahari. Dapat diketahui bahwa dalam peristiwa fotolistrik, jenis cahaya dengan panjang gelombang yang lebih pendek akan lebih banyak melepaskan elektron yang ada pada sel fotolistrik (daya guna sel fotolistrik), sedangkan jenis cahaya dengan panjang gelombang yang panjang akan lebih banyak menjadi daya panas. Hal ini

memunculkan nilai efisiensi pada sel fotolistrik. Besarnya efisiensi dari kolektor sel fotolistrik yang terjadi pada tanggal 29 Juni 2013 dapat ditentukan dengan persamaan:  $\bar{P} = \frac{P_{sc}}{E_{sc}} \times 100\%$

Dimana :

$P_{sc}$  = daya panas kolektor sel fotolistrik

$E_{sc}$  = radiasi matahari di permukaan bumi pada tanggal pengukuran

$$(113,63 \text{ W})$$

$$621,29 \text{ W/m}^2 \times 3600$$

$$0,5 \text{ jam} \times 3600 \text{ dt}$$

$L_{sc}$  = luas efektif kolektor sel fotolistrik

$$\bar{P} = \frac{P_{sc}}{L_{sc}} \times 100\%$$

$$\frac{113,63}{1242,58 \times 0,36} \times 100\%$$

$$= 25,3 \%$$

$$= 25,3 \%$$

$$= 25,3 \%$$

Dimana, mengalikan konstanta 0,5 jam dengan 3600 detik adalah untuk menyetarakan satuan dari sebuah daya listrik adalah Watt (joule/detik). Dengan memakaiperhitungan yang sama menentukan nilai efisiensi ( $\bar{P}$ ) pada penelitian hari berikutnya seperti hasil pada Tabel 5.

**Tabel 5** Efisiensi kolektor sel fotolistrik dalam lima hari penelitian

No	Tanggal penelitian	Radiasi surya di bumi (W/m)	Daya panas rata-rata (Watt)	Efisiensi (%)
1	29 Juni 2013	621,29	113,63	25,3
2	30 Juni 2013	621,28	117,38	26,1
3	4 Juli 2013	621,30	115,59	25,8
4	5 Juli 2013	621,32	109,75	24,5
5	6 Juli 2013	621,34	111,36	24,8
Rataan			113,54	25,3

Tabel 5 menunjukkan bahwa, dalam penelitian ini efisiensi yang dihasilkan oleh sebuah kolektor sel fotolistrik mempunyai nilai rata-rata 25,3%. Efisiensi dari kinerja sebuah sel fotolistrik (*solar cell*) ditentukan oleh 3 faktor yaitu: Pertama penggunaan panjang gelombang cahaya matahari dalam peristiwa terlepasnya elektron pada bahan. Kedua intensitas cahaya matahari yang dipengaruhi oleh faktor cuaca di lokasi penelitian. Dan ketiga ketinggian suatu tempat dari permukaan bumi akan menghasilkan kinerja efisiensi sel fotolistrik yang lebih besar. Hal ini disebabkan karena dalam pemanfaatan sel fotolistrik, ketinggian tempat lebih banyak dipengaruhi cahaya dengan gelombang pendek. serta ketinggian menjadikan suhu lingkungan semakin dingin, atmosfer bumi semakin sejuk dan bersih, sehingga cahaya matahari lebih mudah terserap masuk ke sel fotolistrik.

**3.6. Daya Listrik Sel Fotolistrik Solarex MSX-53 di Nusa Penida**

Dengan mengetahui nilai efisiensi dari daya panas yang dihasilkan kolektor sel fotolistrik, maka besarnya daya listrik dari sel fotolistrik dapat ditentukan. Besarnya daya listrik yang dapat dihasilkan dalam satu hari penelitian yang terjadi pada tanggal 29 Juni 2013 adalah perkalian dari daya panas terhadap nilai efisiensi, yaitu :  
 Daya listrik = Daya panas x Nilai efisiensi  
 = 113,63 Watt x 25,3% = 113,63 Watt x  
 = 28,74 Watt

Sebuah modul kolektor sel fotolistrik dapat menghasilkan daya listrik sebesar 28,74 Watt, mengandung arti bahwa sebuah modul dapat menghasilkan daya listrik sebesar 28,74 Watt dalam setiap saat pemakaian pada selang waktu lamanya penyinaran, dan secara kelistrikan sel fotolistrik (*solar cell*) dengan jumlah daya tersebut dapat menyalakan sebuah lampu dengan beban daya sebesar 28,74 Watt dalam pemakaian selama 8 jam perhari.

Dengan perhitungan yang sama untuk menentukan besarnya daya listrik sel fotolistrik pada pengukuran hari berikutnya seperti hasil pada Tabel 6.

**Tabel 6** Daya listrik kolektor sel fotolistrik dalam lima hari penelitian

No	Tanggal penelitian	Daya panas (Watt)	Efisiensi (%)	Daya Listrik (Watt)
1	29 Juni 2013	113,63	25,3	28,74
2	30 Juni 2013	117,38	26,1	30,63
3	4 Juli 2013	115,59	25,8	29,86
4	5 Juli 2013	109,75	24,5	26,91
5	6 Juli 2013	111,36	24,8	27,72
Rataan		113,54	25,3	28,77

**3.7. Kesetaraan Energi Sel Fotolistrik terhadap Energi Fosil**

Besarnya daya listrik dari sel fotolistrik dalam satu hari dapat dikonversikan kesetaraannya dengan energi fosil dalam liter bensin pada penelitian Pertama, Sabtu 29 Juni 2013 adalah :

$$\text{Liter bensin} = \frac{\text{Daya listrik} \times \text{durasi penyinaran}}{\text{Equivalen energi bensin}}$$

$$= \frac{28,74(\text{J/dt}) \times 8(\text{jam}) \times 3600(\text{dt})}{\text{Equivalen energi bensin}} = \frac{827712 \text{ Joule}}{34800000 (\text{J/liter})}$$

$$= 0,0237 \text{ liter}$$

Dimana, mengalikan durasi penyinaran 8 jam dengan 3600 detik adalah untuk menyetarakan

besaran dalam detik, sehingga mendapatkan satuan energi adalah Joule (watt x detik). dan equivalen 1 liter bensin = 34,8 x 10<sup>6</sup> J (Klinken, 1989).

Dengan perhitungan yang sama menentukan kesetaraan daya listrik sel fotolistrik dalam liter bensin energi fosil pada tanggal pengukuran berikutnya seperti Tabel 7.

**Tabel 7** Kesetaraan energi listrik dengan energi fosil dalam lima hari pengukuran

No	Tanggal penelitian	Daya listrik (Watt)	Energi fosil bensin (Liter)	Nilai nominal/ hari (Rp)
1	29 Juni 2013	28,74	0,0237	154,05
2	30 Juni 2013	30,63	0,0253	164,45
3	4 Juli 2013	29,86	0,0247	160,55
4	5 Juli 2013	26,91	0,0222	144,3
5	6 Juli 2013	27,72	0,0229	148,85
Rataan		28,77	0,0237	154,44

Besarnya biaya yang dikeluarkan berdasarkan daya listrik yang dihasilkan sel fotolistrik (*solar cell*) yang dihitung dari kesetaraan harga bahan bakar minyak (bensin) yang dihabiskan pada tanggal 29 Juni 2013 adalah :  
 Biaya = A x B

Dimana , A adalah bensin yang dihabiskan untuk daya listrik  
 B adalah harga 1 liter bensin  
 Sehingga besarnya biaya = 0,0237 liter x Rp. 6500,- = Rp. 154,05

Dimana, Rp. 6500,- merupakan harga rupiah 1 liter bensin di saat penelitian. Dengan memakai cara perhitungan yang sama untuk menghitung nilai rupiah yang dihasilkan sel fotolistrik dalam hari penelitian berikutnya adalah seperti hasil pada Tabel 7.

**3.8. Uji Analisis Hasil Penelitian Sel Fotolistrik sebagai Energi**

Nominal masukan energi listrik dari sel fotolistrik merupakan jumlah nominal energi yang dapat diterima dalam satuan luasan kolektor sel fotolistrik. Secara nominal besarnya nilai rata-rata masukan energi listrik dalam lima hari penelitian yaitu jumlah rupiah yang dihasilkan selama lima hari penelitian dibagi dengan variabel 5, maka didapat :

$$\text{Nominal masukan energi rata-rata 5 hari} = \frac{\text{Jumlah nilai rupiah}}{5}$$

$$= \frac{\text{Rp. } (154,04 + 164,45 + 160,55 + 144,3 + 148,85)}{5}$$

$$= \text{Rp. } 154,44$$

Besarnya nominal rata-rata masukan energi dalam lima hari penelitian adalah 106,91 rupiah. Untuk dapat mengetahui masukan nilai rupiah dalam satu bulan, kita mengalikan nilai rata-rata lima hari penelitian dengan 30 hari. Maka didapat :

$$\text{Nominal masukan energi dalam 1 bulan} = \text{Rp. } 154,44 \times 30 = \text{Rp. } 4633,2$$

Sebagai uji analisis hasil dari penelitian ini, yaitu menggunakan perbandingan dari nilai nominal pengeluaran daya listrik sel fotolistrik dalam satu bulan (pengeluaran energi didapat dari analisis observasi langsung di perumahan penduduk). Dari observasi data sekunder, sistem kelistrikan *solar home electric* menyertakan beban pemakaian daya listrik berupa : 4 lampu penerangan masing-masing 10 Watt dan TV 14 inc yang mempunyai daya 65 Watt. Dan mengaktifkan pemakaian daya listrik rata-rata 3 jam dalam satu hari, yaitu dari pukul 06.00 s/d 08.00 Wita. Dengan menggunakan teori kelistrikan, maka nominal pengeluaran energi listrik dalam satu bulan didapat dari perkalian jumlah total daya listrik yang digunakan dikalikan dengan lamanya pemakaian rata-rata 1 hari dalam sebulan, dan hasilnya dikalikan dengan harga daya listrik per Kwh-nya, yaitu :

$$\begin{aligned} \text{Nominal keluaran energi dalam 1 bulan yaitu, } W &= P \times t \\ &= [(10 \text{ Watt} \times 4) + 65 \text{ Watt}] \times (3 \text{ jam} \times 30 \text{ hari}) \\ &= 105 \text{ Watt} \times 60 \text{ jam} = 6300 \text{ Watt.jam} = 6,3 \text{ Kwh} \end{aligned}$$

Jika, 1 Kwh pada batas daya 900 VA (dua paket) = Rp. 605,- (harga di saat penelitian) maka, dalam satu bulan nominal pengeluaran energi listrik adalah :

$$= \frac{\text{Harga 1 Kwh}}{\text{Kwh}} \times \frac{\text{Rp. 605,00}}{\text{Kwh}}$$

$$\begin{aligned} \text{Nominal pengeluaran energi listrik dalam 1 bulan :} \\ \text{Rp} \times W &= 6,3 \text{ Kwh} = \text{Rp. } 3811,- \end{aligned}$$

Besarnya pengeluaran nominal energi listrik sel fotolistrik dengan sistem *solar home electric* di Nusa Penida dalam satu bulan sebesar 3811,- rupiah.

Jadi di dalam penelitian kinerja sel fotolistrik ini, ada nilai kesetaraan antara nominal masukan energi sebesar Rp. 4633,2 dengan nominal keluaran energi sebesar Rp. 3811,00 yang rata-rata dalam satu bulan di Nusa Penida Kabupaten Klungkung Propinsi Bali.

#### 4. SIMPULAN DAN SARAN

##### 4.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil suatu simpulan pada penelitian ini adalah :

1. Kinerja sel fotolistrik dipengaruhi oleh sudut jatuh cahaya matahari. Semakin kecil sudut

jatuh cahaya matahari menghasilkan energi yang besar, dan semakin besar sudut jatuh cahaya matahari menghasilkan energi yang kecil. Atau posisi matahari di siang hari mempunyai sudut jatuh yang lebih kecil dibandingkan dengan posisi matahari di pagi atau sore hari.

2. Besarnya rata-rata energi radiasi matahari luar atmosfer bumi di Nusa Penida adalah 1321,81 W/m<sup>2</sup>, dapat diteruskan ke permukaan bumi sebesar 621,30 W/m<sup>2</sup>, oleh kolektor sel fotolistrik dengan luas 50 x 110 cm<sup>2</sup> dapat menghasilkan daya panas sebesar 113,543 Watt. Dari daya panas 113,63 Watt yang masuk, hanya menghasilkan efisiensi sebesar 25,3%, atau dapat menghasilkan daya listrik sebesar 28,77 Watt
3. Besarnya energi fosil yang dapat tergantikan penggunaan energinya oleh energi listrik matahari dengan menggunakan kolektor sel fotolistrik Solarex MSX-53 seluas 50 x 110 cm<sup>2</sup> di Nusa Penida dalam durasi 8 jam penyinaran adalah sebesar 0,0237 liter bensin.

##### 4.2. Saran-saran.

1. Efisiensi sel fotolistrik (*solar cell*) di Nusa Penida masih tergolong kecil yaitu sekitar 25,3%. Untuk meningkatkan nilai efisiensi dari sel fotolistrik, diharapkan posisi kolektor sel fotolistrik selalu mengarah pada sudut datang cahaya matahari dengan sistem kolektor berpenjajak surya, sehingga penerimaan intensitas cahaya matahari menjadi maksimal sepanjang hari.
2. Nusa Penida merupakan pulau kecil dengan sumber energi terbatas, maka diharapkan dapat dikembangkan sumber-sumber energi terbarukan lainnya yang ramah lingkungan sehingga masyarakat Nusa Penida terhindar dari krisis energi dan bumi dapat terhindar dari pemanasan global

#### DAFTAR PUSTAKA

- Akhadi, M. 2009. *Ekologi Energi, Mengenal Dampak Lingkungan dalam Pemanfaatan Sumber-sumber Energi*. Graha Ilmu. Jogyakarta.
- Bappeda Kabupaten Klungkung. 2010. *Profil Daerah Kabupaten Klungkung*.
- Bappeda Kabupaten Klungkung. 2010. *Statistik Klungkung Dalam Angka*.
- Boxwell, M. 2009. *Solar Electricity Handbook, A simple, practical guide to using electric solar panel and photovoltaic solar PV system*. 19<sup>th</sup> Edition.

- Duffie, JA & William Beckman. 1980. *Solar Engineering of Thermal Proces*. Jhon Willey and Sons. New York.
- Effendi, A. *Pembangkit Listrik Sel Surya pada Daerah Pedesaan*. Jurnal 1 (1); Januari 2011. URL : [http://www.itpelektro.com.3%20Asnal\\_%20Pembangkit%20sel](http://www.itpelektro.com.3%20Asnal_%20Pembangkit%20sel).
- Gabriel, J.F. 2001. *Fisika Lingkungan*. Jakarta.
- Holmen, J.P. 1991. *Perpindahan Kalor*, Alih bahasa Ir. E Jasifi, M.Sc. Erlangga. Surabaya.
- Hollingsworth, R.E.1984. *Electronic profile of a GaAs solar cell through photoluminescence*. Journal Phys. 56, 3451. URL : <http://dx.doi.org/10.1063/1.333912>.
- Jansen, T.I. 1995. *Teknologi Rekayasa Surya*. Alih Bahasa Wiranto Arismunandar. Edisi Pertama. Pradnya Paramita Jakarta.
- Klinken, V.G. 1989. *Energi dalam Masyarakat Modern, dalam Pandangan Fisika*. Satya Wacana. Semarang.
- Klinken, V.G. 1989. *Pengantar Fisika Modern*. Satya Wacana. Semarang.
- Kementerian Negara Lingkungan Hidup Republik Indonesia. 2007. *Rencana Aksi Nasional dalam Menghadapi Perubahan Iklim*. Seminar Nasional. Jakarta.
- Rostyono, D dan Suardi. 1993. *Sistem Solar Home Nusa Penida*. BPPT.
- Trewartha, GT - Lyle Hort. 1995. *Pengantar Iklim*. Alih Bahasa Ir. Sri Andani, MS. Edisi Kelima. Gajah Mada University Pres. Jogjakarta.
- Tjasyono, B.NK. 1986. *Iklim dan Lingkungan*. PT Cendikia Jaya Utama. Bandung.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 27 Tahun 2007. *Tentang Pengelolaan Wilayah Pesisir dan Pulau-Pulau Kecil*.
- Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 30 Tahun 2007. *Tentang Energi*.
- Witoelar,R.. 2011. *Pembangunan Berkelanjutan Bagi Generasi Mendatang dalam Iklim yang Berubah*. Pidato Ilmiah. Universitas Udayana. Denpasar.
- Vliet, HB. 1982. *Solar Thermal Energy System*. New York.
- Gribbin, J. 2002. *Fisika Kuantum, Panduan Bagi Pemula ke Dunia Sub-atomik*. Alih Bahasa Mirzan Satriawan, Ph.D. Erlangga. Cirakas Jakarta.
- Wiley, J. 1981. *Physics of Semiconductor Devices*. Second Edition. Canada.
- Wright, R.T. 2008. *Environmental Science*, Pearson International Edition. Tenth Edition. USA