

STUDI KARAKTERISTIK PENCATUAN SEL SURYA TERHADAP SUHU DAN INTENSITAS CAHAYA MATAHARI DI KOTA CILEGON

Muradi Suwargina^{1*}, Imam Tri Sulistyo², Komarudin³

^{1*}Dosen, ^{2,3}Mahasiswa Fakultas Teknik Elektro, STT Fatahillah, Cilegon Jl. Griya Serdang Indah No. 229 Tlp. (0254) 398905, Fax.(0254) 398377.

*muradisw@yahoo.com

ABSTRAK

Keterbatasan tersedianya sumber energi fosil sebagai penghasil energi listrik, telah mendorong penelitian dan pengembangan kearah penggunaan sumber energi alternatif, salah satunya adalah sumber energi matahari. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian yang lebih detail untuk memahami sistem listrik yang berasal dari sumber energi matahari ini. Peralatan yang digunakan untuk mengubah energi matahari menjadi energi listrik ini adalah sel surya. Dikarenakan energi dari matahari yang ditangkap oleh sel surya berubah-ubah maka perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut mengenai efek dari perubahan intensitas dan temperatur dari sinar matahari. Pengujian ini dilakukan di wilayah cilegon guna menentukan kelayakan penerapan sistem sel surya ini di kota Cilegon. Pada penelitian ini akan dibahas karakteristik sel surya terhadap perubahan intensitas cahaya matahari dan suhu. Berdasarkan hasil studi maka didapatkan bahwa perubahan intensitas matahari sangat berpengaruh terhadap karakteristik sel surya. Dari hasil penelitian dan pendekatan yang dilakukan maka nilai energi harian yang terendah didapatkan pada bulan Februari tahun 2014 yaitu 475,19 Wh dan tertinggi di bulan Oktober tahun 2014 yaitu 781,77 Wh.

Kata kunci : karakteristik, sel surya, intensitas matahari, kota cilegon

ABSTRACT

The availability of fossil energi sources for producing electrical energi has become rare, this condition push the research for developing alternative energi sources, such as solar energi. . Therefore it is necessary to do a more detailed study to understand the energi change process that comes from the sun's energi source. Sel surya is the equipment to do this job. Due to the energi from the sun is captured by sel suryas fickle it is necessary to further study the effects of changes in the intensity and temperature of the sunlight. This testing is done in the region in order to determine the feasibility of applying sel surya system in Cilegon city. The research found that the change in the intensity of the sun's influence on the sel surya characteristics. Furthermore, the research and approach result taken from precipitate data in 2014 is : the lowest daily energi values obtained in February 2014 that is 475.19 Wh and the highest is in the October 2014 that is 781.77 Wh.

Keywords: photovoltaic cell, characteristic, sunlight intensity, Cilegon city

1. PENDAHULUAN

Energi terbarukan didefinisikan sebagai energi yang dapat diperoleh ulang (terbarukan). Salah satu upaya untuk mengatasi krisis energi listrik adalah mengurangi ketergantungan terhadap sumber energi fosil dan menggantinya dengan energi terbarukan. Hal ini dikarenakan energi fosil yang ada, jumlahnya terbatas dan energi fosil ini juga merupakan energi yang tidak dapat diperbaharui, jadi butuh jutaan tahun untuk menciptakannya. Karena kelangkaan tersebut, tentu saja akan berdampak terhadap segi ekonominya. Keterbatasan tersedianya sumber energi fosil sebagai penghasil energi listrik, telah mendorong penelitian dan pengembangan kearah penggunaan sumber energi alternatif, salah satunya adalah sumber energi matahari. Potensi dari sumber matahari dapat memberikan sumbangsih yang besar, bila dapat dimanfaatkan secara optimal dengan mendesain suatu sistem pengubah energi yang dapat mensuplai kebutuhan energi. Oleh karena itu perlu dilakukan kajian yang lebih detail untuk memahami sistem listrik yang berasal dari sumber energi matahari ini.

Satu masalah yang muncul pada penggunaan energi matahari ini adalah energi yang dihasilkan berubah ubah tergantung pada musim dan lingkungan. Berdasarkan perubahan musim inilah maka dibutuhkan sebuah analisa mengenai hubungan antara musim dengan energi yang dihasilkan dari sel surya.

Dengan latar belakang tersebut, penulis berupaya untuk mencari karakteristik pencatuan sel surya terhadap pengaruh suhu dan intensitas cahaya matahari. Selain itu juga dicari kisaran energi yang dihasilkan sel surya pada masing-masing bulan di kota Cilegon.

2. LANDASAN TEORI

2.1 Umum

Photovoltaic adalah proses/metode sederhana dalam memanfaatkan energi matahari. Peralatan photovoltaic (sel surya)

dapat mengubah energi sinar matahari menjadi energi listrik, dengan tanpa bising, polusi, kuat, handal dan tahan lama.

Energi listrik yang dihasilkan tersebut dapat langsung digunakan, atau disimpan terlebih dahulu dalam sistem penyimpanan energi seperti baterai, untuk kemudian dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan sehari-hari. Selain masalah PV, baterai juga memiliki karakteristik tersendiri. Setiap baterai memiliki karakteristik yang berbeda, tergantung merek dagang dan fabrikasinya. Maka perlu dipelajari lebih lanjut mengenai karakteristik dari PV, dan juga karakteristik dari baterai.

2.2 Teori Sel Surya

Sel surya adalah peralatan yang dapat mengubah energi matahari menjadi energi listrik. Jadi secara langsung arus dan tegangan yang dihasilkan oleh sel surya bergantung pada penyinaran matahari. Pada sel surya ini dibutuhkan material yang dapat menangkap matahari, dan energi tersebut digunakan untuk memberikan energi keelektron agar dapat berpindah melewati band gapnya ke pita konduksi, dan kemudian dapat berpindah ke arah luar. Melalui proses tersebutlah arus listrik dapat mengalir dari sel surya. Umumnya peralatan dari sel surya ini menggunakan prinsip PN junction.

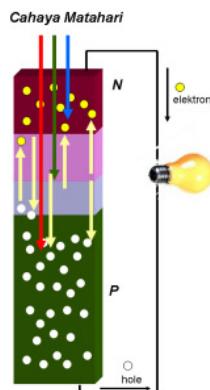
2.2.1 Proses Pembangkitan Arus pada Sel surya

Untuk keperluan sel surya, semikonduktor *n* berada pada lapisan atas sambungan *p* yang menghadap ke arah datangnya cahaya matahari, dan dibuat jauh lebih tipis dari semikonduktor *p*, sehingga cahaya matahari yang jatuh ke permukaan sel surya dapat terus terserap dan masuk ke daerah deplesi dan semikonduktor *p*.

Ketika sambungan semikonduktor ini terkena cahaya matahari, maka elektron mendapat energi dari cahaya matahari untuk melepaskan dirinya dari semikonduktor *n*,

daerah deplesi maupun semikonduktor. Terlepasnya elektron ini meninggalkan hole pada daerah yang ditinggalkan oleh elektron yang disebut dengan fotogenerasi elektron-hole (*electron-hole photogeneration*) yakni, terbentuknya pasangan elektron dan hole akibat cahaya matahari.

Selanjutnya, dikarenakan pada sambungan *pn* terdapat medan listrik E , elektron hasil fotogenerasi tertarik ke arah semikonduktor n , begitu pula dengan hole yang tertarik ke arah semikonduktor p .



Gambar 2.1 Arus listrik pada sel surya^[1]

Apabila rangkaian kabel dihubungkan ke dua bagian semikonduktor, maka elektron akan mengalir melalui kabel. Jika sebuah lampu kecil dihubungkan ke kabel, lampu tersebut menyala dikarenakan mendapat arus listrik, dimana arus listrik ini timbul akibat pergerakan elektron.

Persamaan yang dapat menjelaskan jumlah energi pada foton adalah rumus berikut:

$$E = \frac{hc}{\lambda} \quad (2.1)$$

Dimana,

h = Konstanta Planc $h = 6.626 \times 10^{-34}$ joule·s
 c = kecepatan cahaya $c = 2.998 \times 10^8$ m/s.

Dengan mengalikan kedua nilai tersebut maka didapatkan

$$hc = 1.99 \times 10^{-25} \text{ joules-m.} \quad (2.2)$$

Satu electron Volt adalah energi yang dibutuhkan untuk menaikkan sebuah electron sebesar 1 volt, dimana satu Foton dengan energi 1 eV = 1.602×10^{-19} J.

Oleh karena itu, kita dapat menulis konstanta diatas untuk hc dalam satuan eV:

$$hc = (1.99 \times 10^{-25} \text{ J-m}) \times (1 \text{ eV}/1.602 \times 10^{-19} \text{ J})$$

$$= 1.24 \times 10^{-6} \text{ eV-m} \quad (2.3)$$

Lebih jauh, kita dapat mengubah ke dalam satuan dalam μm (unit untuk λ):

$$hc = (1.24 \times 10^{-6} \text{ eV-m}) \times (10^6 \mu\text{m/m})$$

$$= 1.24 \text{ eV-}\mu\text{m} \quad (2.4)$$

Dengan merepresentasikan persamaan energi foton dalam satuan eV dan μm , kita dapat simpulkan sebuah persamaan yang berhubungan dengan energi dan panjang gelombang dari sebuah Foton, yaitu:

$$E(\text{eV}) = \frac{1.24}{\lambda(\mu\text{m})}$$

Nilai eksak dari $1 \times 10^6(hc/q)$ adalah 1.2398 tapi dengan pendekatan nilai 1,24 sudahlah cukup.

Untuk menghitung nilai Kerapatan Daya dalam satuan W/m^2 , energi Foton harus dalam satuan Joules. Persamaannya adalah sebagai berikut :

$$H\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right) = \phi \times \frac{hc}{\lambda} \text{ dalam satuan SI}$$

$$H\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right) = \phi \times q \frac{1.24}{\lambda(\mu\text{m})} \text{ untuk panjang}$$

gelombang dalam μm

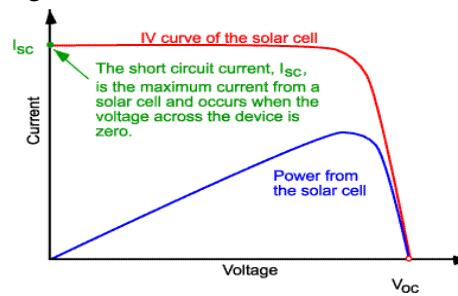
$$H\left(\frac{\text{W}}{\text{m}^2}\right) = \phi \times q E(\text{eV}) \text{ untuk energi dalam}$$

satuan eV

Dimana Φ adalah flux Foton dan q adalah nilai dari muatan listrik ($1.6 \cdot 10^{-19}$)

2.2.2 Karakteristik Arus Hubung Singkat

Arus hubung singkat adalah arus yang diukur ketika tegangan dari sel surya bernilai nol dan sel surya dalam keadaan dishort. Ini terjadi ketika sejumlah *carrier* yang dikumpulkan pada PN-junction bergerak kerangkaian luar.



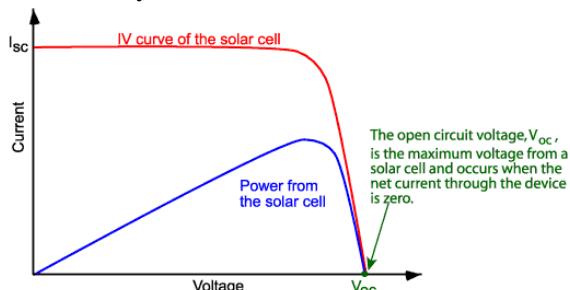
Gambar 2.2 Kurva IV sel surya yang menunjukkan arus *short circuit*.^[2]

Arus sel surya tergantung pada beberapa faktor diantaranya:

- Luas dari sel surya
- Jumlah foton
- Spectrum dari cahaya yang jatuh.
- Sifat optikal sel surya
- Probabilitas pengumpulan sel surya

2.2.3 Karakteristik Tegangan Rangkaian Terbuka

Karakteristik tegangan rangkaian terbuka atau *open circuit* adalah tegangan yang diukur ketika rangkaian sel surya dalam keadaan terbuka, sehingga tidak ada arus yang mengalir kerangkaian luar, dan arus bernilai nol. Tegangan open circuit ini merupakan tegangan terbesar yang dapat dibangkitkan oleh sel surya.



Gambar 2.3 Kurva IV sel surya yang menunjukkan tegangan open circuit [2]

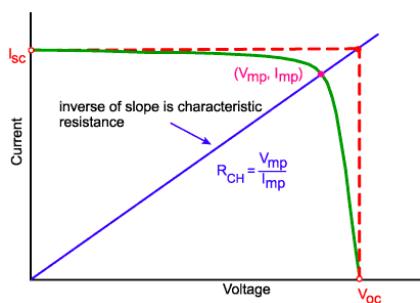
Persamaan untuk V_{oc} adalah

$$V_{oc} = \frac{n k T}{q} \ln \left(\frac{I_L}{I_0} + 1 \right)$$

Dengan I_L dan I_0 adalah arus yang dibangkitkan cahaya dan arus saturasi dioda.

2.2.4 Efek Resistif

Karakteristik resistansi dari sebuah sel surya dapat diukur dari resistansi keluaran sel surya pada maksimum power point. Karakteristik resistansi ditunjukkan pada gambar dibawah

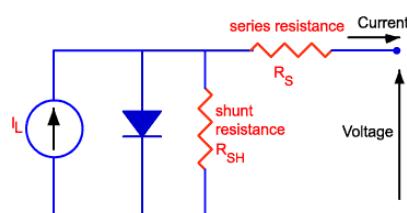


Gambar 2.4 Karakteristik resistansi [2]

Karakteristik resistansi dari sel surya adalah invers dari kemiringan garis, dimana menurut Green,

$$R_{CH} = \frac{V_{mp}}{I_{mp}}$$

Secara umum resistansi pada sel surya dibagi dua yaitu resistansi seri dan shunt.



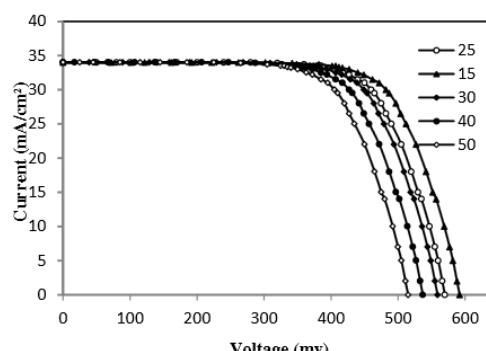
Gambar 2.5 Resistansi seri dan shunt pada rangkaian sel surya. [2]

Resistansi seri sel surya mempunyai 3 penyebab yaitu:

- Pergerakan arus melalui emiter dan base
- Resistansi antara kontak logam dan silikon
- Resistansi kontak logam atas dan bawah.

2.2.5 Efek Temperatur

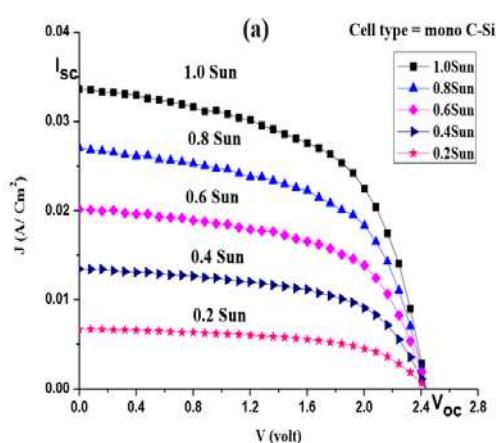
Bahan semikonduktor memiliki sifat sensitif terhadap temperatur, begitu juga sel surya. Bertambahnya temperatur dapat mengurangi band gap dari sel surya, sehingga akan berpengaruh terhadap beberapa parameter dari sel surya. Bertambahnya temperatur dapat dilihat sebagai peningkatan energi elektron dari material. Sehingga untuk memutuskan ikatan membutuhkan energi yang lebih rendah dari kondisi normal. Pada model ikatan band gap semikonduktor, penurunan energi ikatan juga menurunkan band gap.



Gambar 2.6 Efek temperature pada karakteristik IV surya [2]

2.2.7 Efek Intensitas Cahaya Matahari

Intensitas cahaya matahari memiliki pengaruh yang penting baik pada arus *short circuit*, tegangan *open circuit*, *Fill factor*, efisiensi, dan hambatan seri maupun hambatan shunt. Intensitas cahaya dinyatakan dalam jumlah matahari, dimana satu matahari sesuai dengan standar iluminasi pada AM 1.5 atau 1 kW/m².



Gambar 2.7 Kurva IV terhadap perubahan intensitas cahaya matahari [3]

Pada thin film sel surya, pengumpulan arus yang berasal dari cahaya akan berkurang pada intensitas yang tinggi, dengan area iluminasi kecil. Hal ini disebabkan pada intensitas yang tinggi ada batasan tertentu yang disebabkan resistansi seri dan bertambahnya losses tegangan yang bergantung pada pengumpulan carrier.

2.3 Sistem Penyimpanan Energi

Sistem penyimpanan energi yang biasa dipakai untuk penyimpanan energi keluaran sel surya adalah baterai. Baterai ini digunakan karena sel surya memiliki karakteristik daya keluaran yang tidak stabil, berubah-ubah sesuai dengan intensitas cahaya yang jatuh pada permukaannya, sedangkan beban umumnya menyarankan suplai daya yang stabil, dan apabila daya masukannya berubah ubah maka dapat merusak beban tersebut.

Dikarenakan pentingnya baterai dalam sistem sel surya tersebut, maka penting bagi

kita untuk mengetahui kerakteristik dari baterai. Karakteristik yang perlu diperhatikan diantaranya tegangan baterai, parameter *charging* dan *discharging*, kapasitas daya dan lain lain. Baterai yang ideal mempunyai efisiensi yang tinggi, *self discharge* yang rendah, dan harga yang murah.

Kapasitas aki yang tertera pada tulisan tidaklah kapasitas sesungguhnya. Kapastias aki adalah besarnya ampere arus listrik yang bisa disuplai/dimuat oleh aki dalam waktu 1 jam. Sebenarnya ini bukan indikator mutlak, sebab nilai Ah bisa berubah tergantung kondisi aki & lingkungan sekitarnya. Ini merupakan penjelasan dari hukum Peukert. Rumusnya yaitu [7]:

$$It = C \left(\frac{C}{IH} \right)^{k-1} \quad (2.8)$$

H = rata waktu pencatuan (hours).

C = rata-rata kapasitas saat pencatuan (Ah).

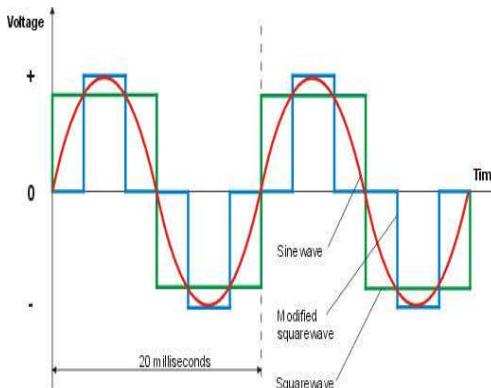
I = arus actual saat pencatuan (A).

k = Peukert constant

t = waktu aktual pencatuan dari baterai (h).

2.4 Inverter

Inverter adalah Rangkaian elektronika daya yang digunakan untuk mengkonversikan tegangan searah (DC) ke suatu tegangan bolak-balik (AC). Ada beberapa topologi inverter yang ada sekarang ini, dari yang hanya menghasilkan tegangan keluaran kotak bolak-balik (push-pull inverter) sampai yang sudah bisa menghasilkan tegangan sinus murni (tanpa harmonisa).



Gambar 2.8 Beda gelombang inverter

2.5 Data Historis Cuaca selama setahun di Cilegon.

Dalam melakukan pendekatan untuk mencari total rata-rata energi harian yang didapatkan dari sel surya, maka penulis menggunakan data dari data cuaca selama setahun pada tahun 2014. Selain itu juga digunakan data cuaca pada bulan April tahun 2015 sebagai acuan.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metodologi Penelitian Pengujian Karakteristik Pencatuan Sel Surya

Pada penelitian yang dilakukan oleh penulis, penulis merencanakan beberapa tahap dalam penelitian ini. Dari mulai pemasangan instalasi hingga pengujian atau pengambilan data.

Secara garis besar urutan metodologi yang dilakukan oleh penulis dapat dilihat pada flowchart berikut :



Gambar 3.1 Flowchart Penelitian Karakteristik Sel Surya

3.2 Konfigurasi Pengukuran Pencatuan Sel surya pada Baterai

Secara keseluruhan, rangkaian tersebut dapat digambarkan pada gambar dibawah ini :



Gambar 3.2 Rangkaian percobaan

Pada gambar diatas terdapat inverter sebagai beban yang akan menyala saat malam hari. Selain rangkaian diatas, intensitas cahaya matahari diukur dengan menggunakan luxmeter. Pengukuran intensitas cahaya ini dilakukan setiap 15 menit sekali, beserta pencatatan kondisi kondisi khusus seperti adanya awan atau terjadi hujan. Luxmeter yang dipakai menggunakan alat ukur digital. Selain intensitas cahaya, diukur juga nilai temperature di sekitar sel surya dengan menggunakan termocouple. Termocouple yang digunakan disini juga merupakan alat ukur digital.

Beban yang digunakan sebagai acuan adalah beban AC dengan melalui inverter terlebih dahulu. Besar yang keluar dari aki dibuat hampir sama dengan rata-rata arus saat charging.

Sel surya yang digunakan ada 3, masing-masing dapat menghasilkan 100 wattpeak.

Tabel 3.2 Spesifikasi Sel Surya

Model type	GH100M36
Power output	100 W
Power output tolerances	±3 %
Module efficiency	15.2 %
Voltage at Pmax, Vmpp	18 V
Current at Pmax, Impp	5.55 A
Open circuit voltage, Voc	22.6 V
Short circuit current, Isc	5.95 A

4. Analisis dan Pembahasan

Tabel 4.1 Hasil Pengukuran tanggal 12 April 2015, panjang kabel 20 meter

No	Jam	Lux (klx)	Suhu (°C)	I charge (A)	V charge (Volt)
1	10:00	115,7	40	7,5	12,78
2	10:15	108,9	39,5	8	12,98
3	10:30	113,2	42,4	7,7	12,99
4	10:45	112,3	40,9	7,5	12,67
5	11:00	90,1	39,1	8	12,94

No	Jam	Lux (klx)	Suhu ('C)	I charge (A)	V charge (Volt)
6	11:15	113,3	46,3	7,5	13,04
7	11:30	120,3	48,1	7,5	13,06
8	11:45	30,2	37,4	7,5	12,72
9	12:00	19,4	33,9	2,5	12,65
10	12:15	11,3	31,3	2	12,63
11	12:30	26,3	27,7	4	12,83
12	12:45	49,8	31,2	6	13,3
13	13:00	127,6	41,8	8	13,22
14	13:15	81,5	43,2	7,5	13,14
15	13:30	33,8	34,7	3,5	12,9
16	13:45	51,7	37,9	7	13,24
17	14:00	47,3	37,3	5	13,11
18	14:15	68,6	37,4	6,4	13,24
19	14:30	67,5	38,1	6,5	13,29
20	14:45	57,4	38,2	6	13,29
21	15:00	42,2	36,2	4,7	13,23
Rata-rata			6,01	13,01	
Total Energi			395,23 Wh		

Tabel 4.2 Hasil Pengukuran tanggal 18 April 2015, panjang kabel 40 meter

No	Jam	Lux (klx)	Suhu ('C)	I charge (Ampere)	V charge (Volt)
1	8:00	80,6	37,1	5,5	12,67
2	8:15	85	36,5	5,5	12,9
3	8:30	89,6	36,3	5,5	12,95
4	8:45	91,9	39	5,5	12,98
5	9:00	105,2	40,3	5,5	13,07
6	9:15	32,2	31,5	3,5	12,93
7	9:30	34,1	36,4	4	13,04
8	9:45	97,5	38,2	6	13,26
9	10:00	110,4	38,5	6	13,03
10	10:15	34,1	37,1	3,5	13,1
11	10:30	61	37,8	6	13,08
12	10:45	44,1	35,4	4	13,3
13	11:00	51,1	35,7	5	13,44
14	11:15	85,1	38	6	13,68
15	11:30	66,9	41,5	4,8	13,06
16	11:45	72,5	39,7	5	13,74
17	12:00	34,6	36,3	3,5	13,5
18	12:15	36,6	36,1	3,8	13,65
19	12:30	129,5	38,6	5,7	14,16
20	12:45	93,4	42,1	5,2	14,05
21	13:00	52	40,3	4,4	13,92
22	13:15	41,8	38,6	4	13,93

No	Jam	Lux (klx)	Suhu ('C)	I charge (Ampere)	V charge (Volt)
23	13:30	51,4	38,1	4,5	14,14
24	13:45	47,2	37	4	14,11
25	14:00	38,5	35,4	4	14,17
26	14:15	82,7	40,1	4,9	14,51
27	14:30	38,5	36,9	3,2	14,22
28	14:45	112,1	37,3	5	14,71
29	15:00	84	40,6	4	14,45
Rata-rata				4,73	13,57
Total Energi				450,31 Wh	

Tabel 4.3 Hasil Pengukuran tanggal 25 April 2015, panjang kabel 1 meter

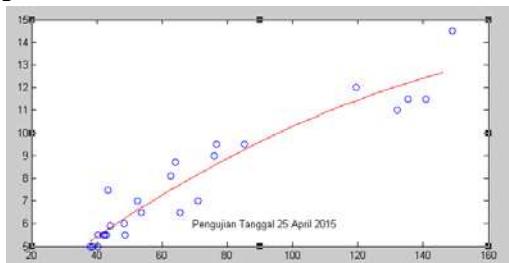
No	Jam	Lux (klx)	Suhu ('C)	I charge (A)	V charge (Volt)
1	9:00	38,6	32,3	5	12,87
2	9:15	38	35,1	5	12,9
3	9:30	40,4	36,3	5,5	12,97
4	9:45	44,1	36,2	5,9	13,08
5	10:00	62,7	42,1	8,1	13,32
6	10:15	64,1	41	8,7	13,44
7	10:30	85,3	45,2	9,5	13,48
8	10:45	119,5	45,7	12	14
9	11:00	75,9	45,3	9	13,65
10	11:15	76,7	40,9	9,5	13,85
11	11:30	148,9	44,9	14,5	15,05
12	11:45	52,5	39,9	7	13,86
13	12:00	42,4	41,1	5,5	13,79
14	12:15	53,6	42,6	6,5	14,3
15	12:30	42,1	38,5	5,5	14,23
16	12:45	135,5	41,2	11,5	14,39
17	13:00	65,4	43,4	6,5	14,3
18	13:15	140,9	44,5	11,5	14,5
19	13:30	132,1	53,9	11	14,5
20	13:45	48,4	38,9	6	14,18
21	14:00	71,1	39,4	7	14,25
22	14:15	40,4	37,7	5	14,16
23	14:30	48,6	40,2	5,5	14,02
24	14:45	42,9	37,3	5,5	14,19
25	15:00	43,3	41,6	7,5	14,41
Rata-rata				7,78	13,90
Total Energi				648,20	

Dari hasil ketiga pengujian diatas didapatkan kesimpulan bahwa energi tertinggi yang dapat dihasilkan system sel surya adalah system dengan panjang kabel 1 meter. Maka tabel hasil pengujian tanggal 25 April 2015 inilah yang digunakan sebagai acuan pada penelitian berikutnya.

4.1 Analisa Hubungan Intensitas Cahaya terhadap Arus dan tegangan

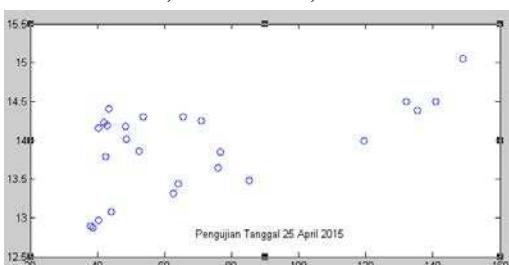
Berdasarkan hasil pengujian sel Surya yang telah dilakukan maka hubungan antara intensitas cahaya terhadap arus dan tegangan dapat digambarkan dalam bentuk kurva yang mendekati hasil uji.

4.1.1 Kurva hasil pengujian tanggal 25 April 2015



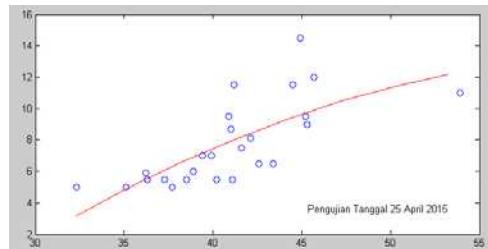
Gambar 4.1 Grafik hubungan antara intensitas cahaya dengan arus

Dari kurva diatas didapatkan pendekatan dengan regresi polynominal kuadrat, fungsi $f(x) = -0,0003x^2 + 0,1195x + 1,0879$ dengan nilai error rata-rata 0,6231 atau 4,1%.

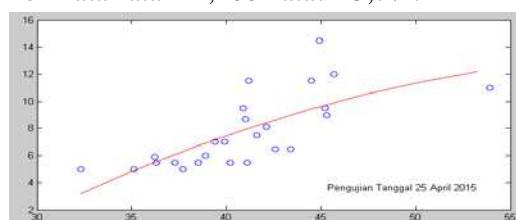


Gambar 4.2 Grafik hubungan antara intensitas cahaya dengan tegangan

Dari kurva hubungan antara intensitas cahaya dengan tegangan diatas sulit untuk mendapatkan pendekatan fungsi polynominal karena sebaran data acak. Hal ini dikarenakan sel Surya digunakan untuk mengisi aki yang semakin lama tegangannya bertambah seiring waktu, sehingga tidak dapat diketahui tegangan aktual dari output sel surya.



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara temperatur dengan arus – 25 April 2015
Kurva diatas memiliki fungsi polynominal yaitu $f(x) = -0,0049x^2 + 0,6574x - 11,9053$ dengan error Rata-rata = 1,1004 atau 13,7%.



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara Temperatur dengan arus
Kurva diatas memiliki fungsi polynominal yaitu $f(x) = -0,0096x^2 + 1,2509x - 27,2299$ dengan error rata-rata = 1,3796 atau 8,6%.

Hasil pendekatan dari hubungan Temperature dan arus memiliki error cukup tinggi karena nilai Temperature pada saat pengujian sering berubah-ubah dikarenakan cuacanya tidak stabil. Perubahan nilai Temperature lebih lambat dibandingkan dengan perubahan intensitas cahaya matahari oleh karena itu pada saat pengujian nilainya seringkali tidak sesuai dengan nilai arus yang dihasilkan.

4.2 Hasil Pengukuran Pembebatan Aki

Tabel 4.4 Pengukuran Tanggal 25 April 2015

Jam	Output Aki			Output Inverter		
	V	A	Watt	V	A	Watt
15:15	12.66	7.50	94.95	224.6	0.354	79.51
16:15	12.24	8.10	99.14	224.1	0.352	78.88
17:15	11.98	8.40	100.63	223.7	0.253	56.60
18:15	11.75	8.20	96.35	224.9	0.354	79.61
19:15	10.55	7.50	79.13	170.0	0.300	51.00
Total energi			470.2	total energi		345.6

4.3 Analisa Efisiensi Energi dari Aki Hingga ke Beban AC

Pengujian tanggal 25 april 2015

Pada saat pengisian total energi yang masuk aki adalah sekitar 651,5Wh, sedangkan total energi yang keluar dari aki adalah 470,2 Wh dan energi yang keluar dari inverter adalah 345,6Wh.

Sehingga dapat dihitung efisiensi dari aki adalah:

$$\frac{470,2}{651,5} \times 100\% = 72,17\%$$

dan efisiensi dari inverter adalah

$$\frac{345,6}{470,2} \times 100\% = 73,50\%.$$

Maka efisiensi total sistem dari awal pengisian hingga pemakaian adalah $72,17\% \times 73,50\% = 53,04\%$

4.4 Hubungan Antara Data Cuaca Tahunan Dengan Hasil Pengujian

Hasil fungsi yang didapatkan sebelumnya yaitu fungsi $f(x) = -0,0003x^2 + 0,1195x + 1,0879$. Jika fungsi ini diterapkan pada pengujian sebelumnya dibandingkan dengan intensitas cahaya siang hari selama 7 jam maka didapatkan tabel sebagai berikut:

Tabel 4.5 Rata-rata energi Sel Surya Bulan April 2015

No	Tanggal Pengujian	Total Energi rata-rata
1	12 April 2015	749,04 Wh
2	18 April 2015	747,11 Wh
3	25 April 2015	746,67 Wh
Rata-rata energi		747,61 Wh

Berdasarkan data dari situs [accuweather.com](http://www.accuweather.com) total curah hujan pada bulan April tahun 2015 di kota Cilegon adalah sebesar 115 mm. Dasar nilai ini dijadikan acuan untuk menghitung perkiraan nilai energi yang dihasilkan dari sel surya.

Berikut ini adalah data dari total curah hujan dalam sebulan pada tahun 2014. Data perkiraan energi yang dihasilkan dari sel surya dihitung berdasarkan perhitungan dan pendekatan seperti berikut:

- Nilai curah hujan bulanan jika hujan dengan tingkat normal terus menerus

selama 1 jam = 2,5mm, maka 1 bulan = 1800 mm.

(sumber:wiki.sandaysoft.com/a/Rain_measurement)

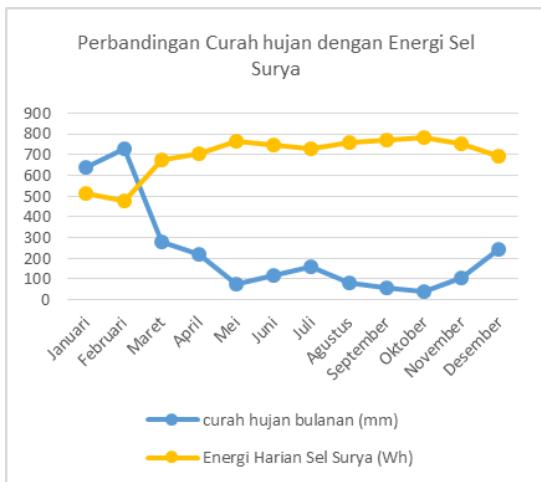
- Curah hujan pada bulan April = 115 mm
- Tingkat curah hujan pada bulan april = $\frac{115}{1800} \times 100\% = 6,39\%$
- Karena nilai tingkat curah hujan berbalikan dengan energi yang dihasilkan sel surya maka energi pada bulan april adalah sebesar 93,61%
- Dengan begitu maka nilai maksimum jika tanpa ada hujan dapat dihitung, $\frac{100}{93,61} \times 747,61 \text{ Wh} = 798,64 \text{ Wh}$

Tabel 4.6 Perkiraan Energi Harian tahun 2014 di Kota Cilegon

No	Bulan	curah hujan (mm)	Perkiraan Energi Harian (Wh)
1	Januari	637	516,01
2	Februari	729	475,19
3	Maret	277	675,73
4	April	217	702,35
5	Mei	76	764,91
6	Juni	118	746,28
7	Juli	160	727,64
8	Agustus	84	761,37
9	September	58	772,90
10	Oktober	38	781,77
11	November	107	751,16
12	Desember	244	690,37
Rata-rata energi harian tiap bulan			697,14

Sumber data cuaca: accuweather.com

Jika data curah hujan dan energi produksi harian digabungkan dalam sebuah grafik maka dapat dilihat bahwa Curah hujan berbanding terbalik dengan energi produksi harian.



Gambar 4.5 Grafik perbandingan Curah hujan dengan Energi Sel Surya

4.5 Analisa Kelayakan Teknis Penerapan Sel Surya di Cilegon

Setelah dilakukan berbagai pengujian sistem sel surya di cilegon, berdasarkan berbagai data pengujian seperti yang sudah disampaikan di bagian sebelumnya maka secara teknis dapat disimpulkan bahwa dengan menggunakan instalasi system sel surya dengan total kapasitas 300Wp (Watt Peak) maka didapatkan rata-rata energi yang dapat dihasilkan setiap hari adalah 697,146 Wh. Penerapan sistem sel surya ini dapat diterapkan dan layak untuk diaplikasikan di Kota Cilegon. Dari hasil pendekatan yang dilakukan pada tahun 2014 maka nilai energi harian yang terendah didapatkan pada bulan Februari yaitu sebesar 475,19 Wh dalam sehari dan tertinggi di bulan Oktober yaitu sebesar 781,77 Wh dalam sehari.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

- Hasil dari beberapa kali pengujian didapatkan bahwa energi terbesar yang dapat dihasilkan yaitu dengan mendekatkan sel surya ke aki, pada penelitian digunakan jarak 1 meter dari sel surya.
- Karakteristik dari hubungan antara intensitas cahaya dan arus pada kota Cilegon dapat memenuhi persamaan $f(x) = -0,0096x^2 + 1.2509x - 27.2299$ dengan error rata-rata 8,6%.

$0,0003x^2 + 0,1195x + 1,0879$ dengan nilai error rata-rata 4,1%.

- Karakteristik dari hubungan antara temperatur dengan arus pada kota Cilegon dapat memenuhi persamaan $f(x) = -0,0096x^2 + 1.2509x - 27.2299$ dengan error rata-rata 8,6%.
- Dari hasil pendekatan yang dilakukan maka nilai energi harian yang terendah didapatkan pada bulan Februari tahun 2014 yaitu 475,19 Wh dan tertinggi di bulan Oktober tahun 2014 yaitu 781,77 Wh.
- Nilai rata-rata energi harian yang dapat dihasilkan dari Sistem Sel Surya 300 Wp ini adalah 697,146 Wh.

5.2 Saran

- Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat dilanjutkan dengan penelitian lain terkait dengan penggunaan baterai dan sistem terkait lainnya.
- Dalam pengujian karakteristik sel surya sebaiknya dilakukan pada saat musim kemarau sehingga perubahan cuaca tidak terlalu cepat yang dapat mengganggu dalam pengukuran temperatur.

Pengujian sebaiknya dibandingkan juga dengan pengukuran *Solar Irradiance* agar data pembanding energi foton juga dapat dihitung.

DAFTAR REFERENSI

- [1] Melihat Prinsip Kerja Sel Surya Lebih Dekat. Juni 28, 2015. <https://energisurya.wordpress.com/>
- [2] Christiana Honsberg & Stuart Bowden, “PV Education.org, PV CDROM”. May 20, 2015. <http://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/light-generated-current>
- [3] Davud Mostafa Tobnaghi, Rahim Madatov, daryush naderi. (2013). *The Effect of Temperature on Electrical Parameters of Sel suryas* : International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering.

- [4] A. El-Shaer, M.T.Y. Tadros, M.A. Khalifa.(2014). *Effect of Light intensity and Temperature on Crystalline Silicon Solar Modules Parameters* : International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering.
- [5] *Wire Chart*. May 5, 2015.
http://www.rpc.com.au/pdf/Wire_Chart.pdf
- [6] Dita Ditafrihil Fuadah. (2012). *Regresi Polinomial Derajat II*: UIN Sunan Gunung Djati Bandung.
- [7] *Battery Stuff*, April 10, 2015.
<http://www.batterystuff.com/kb/tools/math-behind-the-magic.html>