

Analisis Sistem Fotovoltaik Menggunakan Respon Dinamika Induksi pada Lilitan Kawat Tembaga

Rocky Alfanz¹, Riza Sumaedi², Suhendar³

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jln. Jendral Sudirman km. 03 Cilegon, Banten

¹rocky.alfanz@ft-untirta.ac.id

Abstrak – Paper ini menguraikan tentang sistem fotovoltaik menggunakan respon dinamik induksi dengan adanya penambahan lilitan kawat tembaga. Lilitan kawat tembaga yang digunakan terdiri dari 3 kombinasi yaitu 30 lilitan, 45 lilitan dan 60 lilitan. Penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan daya output sel surya sebelum dan sesudah penambahan lilitan kawat tembaga. Penelitian dilakukan dengan beberapa pengujian yaitu pengujian terhadap sun angle dan altitude angle, dan pengujian H-NengPV. Hasil penelitian menunjukkan bahwa besar peningkatan daya sel surya pada induksi coil pertama sebesar 1,499%, coil kedua 3,777% dan coil ketiga 5,215%.

Kata kunci : fotovoltaik, induksi, H-Neng PV, coil.

Abstract – This paper describes how to use of photovoltaic systems dynamic response induced by the addition of copper wire windings. The Copper wire windings used consisted of 3 combined is 30 loops, 45 loops and 60 loops. This research expected to increase the power output of solar cells before and after the addition of copper wire windings. About the study was conducted with some of the test is the test of the sun angle and altitude angle, and testing of the H – Neng PV. The results showed that a large increase in the power of solar cells to the induction of the first coil of 1.499%, 3.777% second coil and a third coil 5.215%.

Keywords : Keyword1, Keyword2, Keyword3, Keyword4, Keyword5

I. PENDAHULUAN

Indonesia terletak di daerah khatulistiwa sehingga memiliki intensitas penyinaran matahari yang baik sepanjang tahun. Kondisi penyinaran ini potensial untuk digunakan dalam pembangkitan listrik tenaga surya (PLTS). PLTS merupakan teknologi ramah lingkungan yang memanfaatkan energi sel surya fotovoltaik dengan cara mengkonversi energi cahaya yang dipancarkan oleh matahari menjadi energi listrik. Potensi pengembangan PLTS di Indonesia sangat menjanjikan dilihat dari letak geografis Indonesia yang berada pada garis khatulistiwa. Posisi ini menyebabkan ketersediaan sinar matahari hampir sepanjang tahun di seluruh wilayah Indonesia kecuali pada musim hujan dan saat awan tebal menghalangi sinar matahari.

Pemanfaatan tenaga matahari untuk pembangkitan listrik sebenarnya sudah dilakukan sejak cukup lama namun masih minim sekali penelitian tentang bagaimana mengoptimalkan panel surya yang ada pada PLTS agar mampu beroperasi optimal. Panel surya telah banyak dikembangkan baik dalam bidang keilmuan ataupun teknologi terapan. Panel surya memberikan pendekatan baru dalam perancangan sumber energi listrik terbarukan yang ramah lingkungan. Teknologi sel surya merupakan teknologi konversi dengan mengubah energi matahari menjadi energi listrik.

Sel surya dibedakan menjadi beberapa macam, antara lain monokristal silikon, polikristal silikon dan amorf silikon. Saat ini polikristal lebih banyak dipakai karena proses pembuatannya lebih mudah dengan tingkat efisiensi yang sedang. Parameter dari sel surya diperoleh dari karakteristik arus-tegangan (I-V) seperti arus hubung singkat (I_{sc}), tegangan rangkaian terbuka (V_{oc}), daya maksimum (P_{max}) dan nilai *Fill Factor*.

Penelitian membahas tentang pengaruh suhu dan intensitas cahaya terhadap optimalisasi panel surya ketika suhu panel surya berubah-ubah sesuai panas dari intensitas cahaya yang mengenai permukaan panel surya dan pengaruh coil terhadap suhu dan daya pada sel surya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

PLTS adalah suatu pembangkit yang mengkonversi energi cahaya menjadi energi listrik. Konversi ini terjadi pada modul surya yang terdiri dari sel-sel surya. PLTS memanfaatkan cahaya matahari untuk menghasilkan listrik DC (*Direct Current*), yang dapat diubah menjadi listrik AC (*Alternating Current*) apabila diperlukan. PLTS pada dasarnya adalah pencatu daya dan dapat dirancang untuk mencatu kebutuhan listrik dari yang kecil sampai yang besar, baik secara mandiri maupun hibrida.

A. Panel Surya

Menurut Mintorogo (2000) agar memperoleh sejumlah tegangan atau arus yang dikehendaki, maka umumnya masing-masing sel surya dikaitkan satu sama lain baik secara seri ataupun paralel untuk membentuk suatu rangkaian yang disebut modul. Sejumlah modul umumnya terdiri dari 36 sel surya atau 33 sel dan 72 sel. Usia dari panel surya dapat mencapai 25 tahun sesuai garansi yang diberikan produsen panel surya. Modul-modul ini kemudian dirangkai menjadi panel surya dan jika panel surya ini dihubungkan secara baris dan kolom disebut dengan *array*. Sel surya

Sel surya atau *solar cell* terbuat dari potongan silikon yang sangat kecil dengan dilapisi bahan kimia khusus

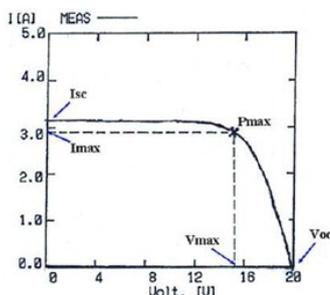
untuk membentuk dasar dari sel surya. Sel surya pada umumnya memiliki ketebalan minimum 0,3 mm yang terbuat dari irisan bahan semikonduktor dengan kutub positif dan negatif. Tiap sel surya biasanya menghasilkan tegangan 0,5 Volt. Sel surya merupakan elemen aktif (semikonduktor) yang memanfaatkan *Photovoltaik Effect* untuk merubah energi surya menjadi energi listrik.

Menurut Anggraeni (2010) secara sederhana sel surya terdiri dari sambungan bahan semikonduktor bertipe *p* dan *n* (*p-n junction semiconductor*) yang jika tertimpa sinar matahari maka akan terjadi aliran elektron, aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Semikonduktor jenis *n* merupakan semikonduktor yang memiliki kelebihan elektron sehingga kelebihan muatan negatif (*n* = negatif), sedangkan semikonduktor jenis *p* memiliki kelebihan *hole* sehingga kelebihan muatan positif (*p* = positif). Pembuatan dari dua jenis semikonduktor awalnya digunakan untuk meningkatkan konduktifitas atau tingkat kemampuan daya hantar listrik dan panas semikonduktor alami. Di dalam semikonduktor alami (semikonduktor intrinsik), elektron maupun *hole* memiliki jumlah yang sama. Kelebihan elektron maupun *hole* dapat meningkatkan daya hantar listrik maupun panas dari sebuah semikonduktor.

B. Karakteristik Sel Surya

Sel surya menerima penyinaran matahari dalam satu hari sangat bervariasi. Hal ini dikarenakan sinar matahari memiliki intensitas yang besar ketika siang hari dibandingkan pagi hari. Besarnya kapasitas daya yang dihasilkan, dapat diketahui melalui pengukuran terhadap arus (*I*) dan tegangan (*V*) pada gugusan sel surya yang disebut panel atau modul.

Pengukuran arus maksimum dilakukan dengan cara kedua terminal dari modul dibuat rangkaian hubung singkat sehingga tegangannya menjadi nol dan arusnya maksimum yang dinamakan *short circuit current* atau *I_{sc}*. Pengukuran terhadap tegangan (*V*) dilakukan pada terminal positif dan negatif dari modul sel surya dengan tidak menghubungkan sel surya dengan komponen lainnya. Pengukuran ini dinamakan *open circuit voltage* atau *V_{oc}*. Karakteristik I-V seperti yang ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1 Kurva I-V pada Modul Sel Surya

Daya keluaran sel surya dapat diperoleh dengan persamaan 1:

$$P_{out} = V_{oc} \times I_{sc} \times FF \tag{1}$$

dengan:

$$P_{out} = \text{daya keluaran sel surya (W)}$$

- V_{oc} = tegangan *open circuit* (V)
- I_{sc} = arus *short circuit* (A)
- FF = *fill factor*

FF (*Fill Factor*) merupakan parameter yang menentukan daya maksimum dari panel sel surya. Besarnya *FF* dapat dihitung dengan persamaan 2:

$$FF = \frac{V_{mp} \times I_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \text{ atau}$$

$$FF = \frac{P_{mp}}{V_{oc} \times I_{sc}} \tag{2}$$

Efisiensi konversi energi cahaya menjadi energi listrik diperoleh dari perbandingan antara daya keluaran dengan daya masukan. Daya masukan sel surya adalah daya dari total sinar matahari yang masuk ke sel surya, secara matematis dapat dituliskan dengan persamaan:

$$P_{in} = G \times A \tag{3}$$

Berdasarkan hasil substitusi antara persamaan (1) dan (3) maka diperoleh persamaan (4), sehingga besarnya efisiensi diperoleh melalui persamaan 5:

$$P_{out} = P_{mp} \tag{4}$$

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \tag{5}$$

dengan:

- V_{mp} = tegangan maksimum (V)
- I_{mp} = arus maksimum (A)
- P_{mp} = daya maksimum (W)
- η = efisiensi (%)
- P_{in} = daya masukan sel surya (W)
- G = intensitas cahaya (W/m^2)
- A = luasan panel surya (m^2)

Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja maksimum dari panel surya bergantung pada faktor berikut:

1. Temperatur atau Suhu udara

Sebuah panel surya dapat beroperasi secara maksimum jika temperatur yang diterimanya tetap normal pada temperatur 25 °C. Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada panel surya akan melemahkan tegangan (*V_{oc}*) yang dihasilkan. Setiap kenaikan temperatur panel surya 1 °C (dari 25 °C) akan mengakibatkan berkurang sekitar 0,5% pada total tenaga (daya) yang dihasilkan (Foster dkk., 2010). Besarnya daya yang berkurang pada saat temperatur di sekitar panel surya mengalami kenaikan °C dari temperatur standarnya, diperoleh dengan persamaan 6.

$$P_{saat\ t\ naik} = 0,5\% \times P_{MPP} \times \text{kenaikan } t \text{ (}^\circ\text{C)} \tag{6}$$

Dengan :

$$P_{saat\ t\ naik} = \text{daya pada saat temperatur naik } ^\circ\text{C dari temperatur standarnya.}$$

$$P_{MPP} = \text{daya keluaran maksimum panel surya.}$$

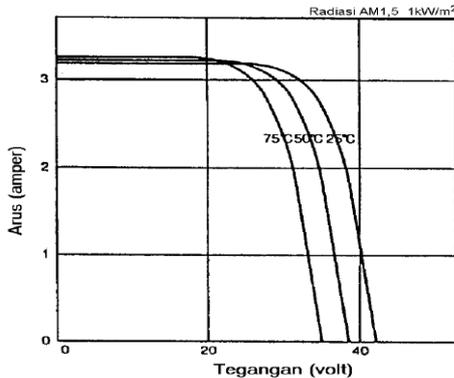
Daya keluaran maksimum panel surya pada saat temperaturnya naik menjadi *t* °C dari temperatur standarnya, dengan persamaan 7:

$$P_{MPP}(t) = P_{MPP} - P_{saat\ t\ naik} \tag{7}$$

Faktor koreksi temperatur (*Temperature Correction Factor*) diperhitungkan dengan rumus sebagai berikut:

$$TCF = \frac{P_{mpp\ saat\ naik\ menjadi\ t^{\circ}C}}{P_{mpp}} \tag{8}$$

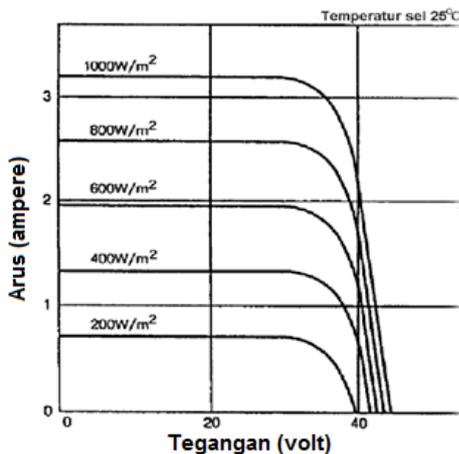
Pengaruh temperatur terhadap tegangan dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2 Efek Temperatur *Solar Cell* terhadap Tegangan

2. Intensitas Cahaya Matahari

Radiasi matahari di bumi pada lokasi yang berbeda akan bervariasi dan sangat tergantung dengan keadaan spektrum matahari ke bumi. Insolasion matahari akan banyak berpengaruh terhadap arus (I) dan sedikit terhadap tegangan (V) (Hardiansyah, 2012). Pengaruh temperatur terhadap arus dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Efek *Insolation intensity* terhadap Arus

3. Kecepatan Angin

Kecepatan tiupan angin disekitar lokasi sel surya akan sangat membantu terhadap pendinginan temperature permukaan sel surya sehingga temperatur dapat terjaga dikisaran temperatur yang kondusif.

4. Keadaan Atmosfir Bumi

Keadaan atmosfer bumi berawan, mendung, jenis partikel debu udara, asap, uap air udara, kabut dan polusi sangat menentukan hasil maksimum arus listrik dari sel surya.

5. Sudut orientasi matahari (*tilt angle*) dan peletakan panel

Orientasi dari rangkaian PV (*array*) ke arah matahari secara optimum adalah penting agar panel/deretan PV dapat menghasilkan energi maksimum. Selain arah orientasi, sudut orientasi matahari juga sangat mempengaruhi hasil energi maksimum. Agar energi tetap berada pada nilai yang optimal maka permukaan *solar cell* harus dipertahankan tegak lurus terhadap sinar matahari yang jatuh ke permukaan panel surya, oleh karena itu penentuan *tilt angle* sangat penting untuk mempertahankan energi matahari yang dihasilkan.

C. Induktansi *Coil*

Induktansi dari induktor (*Coil*) tergantung pada konfigurasi fisik konduktor. Jika sebuah konduktor dibentuk menjadi sebuah lilitan, maka induktansi konduktor akan meningkat. Sebuah induktor dengan banyak lilitan akan memiliki induktansi lebih besar dari induktor dengan sedikit lilitan, jika kedua induktor tersebut secara fisik serupa. Inti induktor juga berpengaruh. Sebuah induktor dengan inti besi akan memiliki induktansi lebih besar dari induktor dengan inti udara.

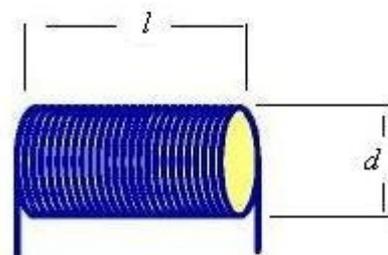
Polaritas gaya gerak listrik (ggl) yang diinduksikan selalu berlawanan dengan arah perubahan arus dalam rangkaian. Ini berarti bahwa jika arus dalam rangkaian meningkat, akan terjadi usaha untuk melawan ggl yang diinduksikan dengan menyimpan energi dalam medan magnet. Jika arus dalam rangkaian cenderung menurun, energi yang tersimpan dalam medan magnet akan kembali ke rangkaian, sehingga ditambahkan dengan energi yang dicatu oleh sumber ggl. Energi yang tersimpan dalam medan magnet sebuah induktor dapat dihitung dengan persamaan 9:

$$W = \frac{1}{2} I^2 L \tag{9}$$

dengan:

- W = energi (J)
- I = arus (A)
- L = induktansi (H)

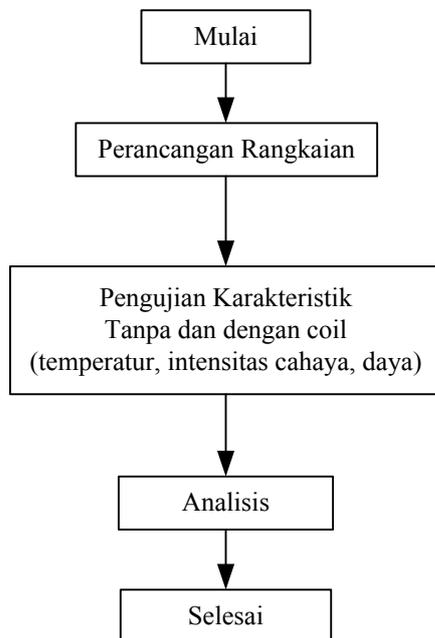
Induktansi pada kawat lurus dan pendek sangat kecil tetapi tidak dapat diabaikan. Jika arus yang melaluinya berubah sangat cepat sebagaimana pada frekuensi sangat tinggi, maka tegangan yang diinduksikannya juga harus diperhitungkan. Pada Gambar 4 menunjukkan contoh kumparan satu lapis dengan diameter (d) dan panjang lilitan (l).



Gambar 4. Induktansi Kumparan Satu Lapis

III. METODOLOGI PENELITIAN

Secara sederhana, metodologi penelitian dilakukan 3 tahap, yaitu perancangan rangkaian termasuk perancangan coil, pengujian karakteristik dan analisis. Secara sederhana dijelaskan pada diagram alir Gambar 5.



Gambar 5 Diagram Alir Penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Sun Angle

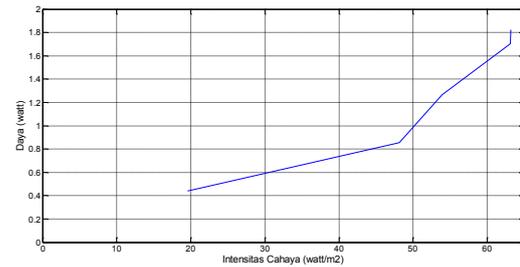
Pengujian *sun angle* dilakukan variasi sudut, yaitu mulai dari sudut 0° , 15° , 30° , 45° , 60° . Percobaan pada *sun angle* dilakukan dengan mengatur saklar intensitas pencahayaan dari posisi pertama hingga posisi kelima untuk masing-masing sudut percobaan *sun angle* pada alat *Solar Module* CO3208-1B. Gambar 6 merupakan gambar *Solar Module* CO3208-1B yang digunakan dalam pengujian *sun angle*. Hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Nilai Rata-Rata Pengujian Sun Angle

Sun Angle	Suhu panel (°C)	TCF	Intensitas Cahaya (w/m ²)	Tegangan (volt)	Arus (amp)	Daya (watt)
0°	32,2	0,967	63,184	18,484	0,099	1,823
15°	30,66	0,974	63,153	18,702	0,0911	1,704
30°	30,1	0,976	53,941	18,10	0,0700	1,267
45°	29,74	0,978	48,127	17,604	0,0486	0,855
60°	29,28	0,980	19,545	16,864	0,0260	0,438

Hasil pengamatan pada Tabel 1 menunjukkan bahwa besar sudut *sun angle* berbanding terbalik dengan suhu panel (°C), intensitas cahaya (Watt/m²), dan dengan daya (Watt) yaitu semakin besar sudut *sun angle* yang digunakan pada pengujian maka semakin kecil nilai suhu

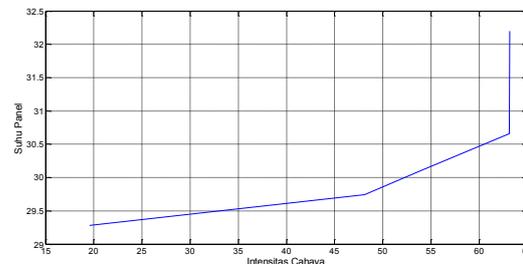
panel, intensitas cahaya, dan daya sel surya. Gambar 6 merupakan grafik perbandingan intensitas cahaya terhadap daya.



Gambar 6. Perbandingan Intensitas Cahaya terhadap Daya

Gambar 6 menunjukkan bahwa semakin besar intensitas cahaya maka semakin besar daya yang dihasilkan dan semakin kecil intensitas cahaya maka semakin kecil pula daya yang dihasilkan sel surya. Seperti diketahui bahwa setiap kenaikan temperatur 1°C (dari temperatur standarnya) pada panel surya, maka hal tersebut akan mengakibatkan daya yang dihasilkan oleh panel surya akan berkurang sekitar 0,5%. Berdasarkan data Tabel 1 yang diperoleh dari rata-rata percobaan *Sun Angle*, pengurangan nilai daya pada panel surya diakibatkan oleh nilai *Temperature Correction Factor* (TCF) yang berkurang.

Nilai TCF merupakan salah satu parameter untuk mendapatkan nilai daya karena semakin besar nilai TCF maka semakin besar daya panel surya, begitu juga sebaliknya semakin kecil nilai TCF maka semakin kecil pula daya panel surya yang dihasilkan. Gambar 7 merupakan grafik berbanding intensitas cahaya terhadap suhu.



Gambar 7. Perbandingan Intensitas Cahaya Terhadap Suhu

Gambar 7 menunjukkan bahwa semakin besar intensitas cahaya maka semakin besar suhu panel yang dihasilkan dan semakin kecil intensitas cahaya maka semakin kecil pula suhu panel yang dihasilkan.

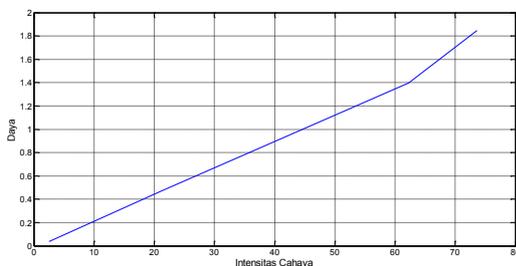
B. Pengujian Altitude Angle

Pengujian *altitude angle* dilakukan pada beberapa sudut, yaitu mulai dari sudut 0° , 30° , 60° , 90° . Pengujian dilakukan dengan mengatur saklar intensitas pencahayaan dari posisi pertama hingga posisi kelima untuk masing-masing sudut *altitude angle* pada alat *Solar Module* CO3208-1B.

Tabel 2. Nilai Rata-rata Pengujian *Altitude Angle*

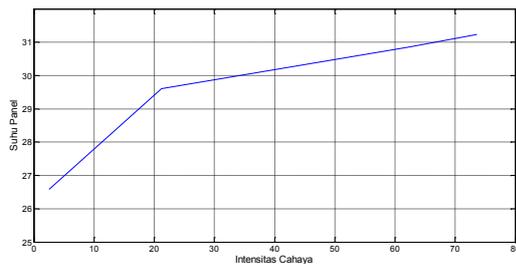
Altd. Angle	Suhu panel (°C)	TCF	Intensitas Cahaya (w/m ²)	Tegangan (volt)	Arus (amp)	Daya (watt)
0°	31,24	0,972	73,612	18,29	0,101	1,847
35°	30,86	0,973	62,268	18,086	0,0773	1,398
60°	29,60	0,979	21,219	17,054	0,0275	0,469
90°	26,58	0,993	2,512	12,804	0,0028	0,036

Hasil pengamatan pada Tabel 2 menunjukkan bahwa besar sudut *altitude angle* berbanding terbalik dengan suhu panel (°C), intensitas cahaya (Watt/m²), maupun dengan daya (Watt) yaitu semakin besar sudut *Altitude Angle* yang digunakan pada pengujian maka semakin kecil nilai suhu panel, intensitas cahaya, dan daya sel surya. Gambar 8 merupakan grafik perbandingan intensitas cahaya terhadap daya pada pengujian *altitude angle*.



Gambar 8. Perbandingan Intensitas Cahaya terhadap Daya

Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin besar intensitas cahaya maka semakin besar daya yang dihasilkan dan semakin kecil intensitas cahaya maka semakin kecil pula daya yang dihasilkan sel surya.



Gambar 9. Perbandingan Intensitas Cahaya Terhadap Suhu

Gambar 8 menunjukkan bahwa semakin besar intensitas cahaya maka semakin besar suhu panel yang dihasilkan dan semakin kecil intensitas cahaya maka semakin kecil pula suhu panel yang dihasilkan.

C. Pengujian pada *H-Neng PV modul*

Pengujian percobaan *H-Neng PV module* dilakukan pada beberapa macam *coil* yaitu tanpa *coil*, menggunakan *coil* pertama (30 lilitan), kedua (45 lilitan), dan ketiga (60 lilitan). Pada Pengujian ini setiap percobaan diberi beberapa perlakuan yaitu dengan

menyalakan 1 lampu, 2 lampu, 3 lampu, dan 4 lampu yang terpasang didalam kotak pengujian. Gambar 10 merupakan gambar dari pengujian pada *H-Neng PV modul*.



Gambar 10. Pengujian pada *H-Neng PV modul*

Tabel 3. Nilai Induktansi *Coil*

<i>coil</i>	Diameter (cm)	Panjang (cm)	Jumlah Lilitan	Induktansi (µH)
1	3,5	0,7	30	307,624
2	3,5	1	45	611,727
3	3,5	1,5	60	910,683

Pengujian modul *H-Neng PV* dilakukan tanpa dan dengan *coil* yang bervariasi seperti pada Tabel 3. Dan hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Nilai Rata-rata Percobaan Menggunakan *Coil*

Kondisi	Suhu Panel (°C)	TCF	Intensitas Cahaya (W/m ²)	Tegangan (volt)	Arus (amp)	Daya (Watt)
Tanpa <i>coil</i>	27,67	0,988	13,983	4,722	0,0337	0,1668
<i>Coil</i> 1	27,95	0,973	12,778	4,720	0,0342	0,1693
<i>Coil</i> 2	28,35	0,985	12,897	4,737	0,0348	0,1731
<i>Coil</i> 3	28,70	0,983	13,983	4,763	0,0351	0,1755

Tabel 4 menunjukkan bahwa percobaan tanpa *coil* sampai *coil* ketiga berbanding lurus dengan suhu dan daya sel surya yaitu terjadi peningkatan suhu dari kondisi tanpa *coil* hingga *coil* ketiga yaitu sebesar 0,28°C, 0,68°C, dan 1,03°C. Nilai daya mengalami kenaikan dari *coil* pertama sebesar 0,0025W, *coil* kedua sebesar 0,0063W, dan *coil* ketiga sebesar sampai 0,0087W. Gambar 11 merupakan grafik perbandingan daya terhadap suhu pada percobaan menggunakan *coil*.

V. SIMPULAN

Hasil yang diperoleh dari pengujian sel surya yaitu nilai suhu saat pengujian tanpa *coil* 27,67°C, saat pengujian *coil* pertama 27,95°C naik sebesar 0,28°C, *coil* kedua 28,35°C naik 0,68°C, dan *coil* ketiga 28,70°C naik 1,03°C.

Nilai daya saat pengujian tanpa *coil* 0,1668 Watt, saat pengujian *coil* pertama 0,1693 Watt naik 0,0025 Watt, *coil* kedua 0,1731 Watt naik 0,0063 Watt, dan *coil* ketiga 0,1755Watt naik 0,0087 Watt.

DAFTAR PUSTAKA

Dwistya A, N. (2010). *Aplikasi Sel Surya Sebagai Energi Terbarukan Pembangkit Listrik Pada Solar Home System*. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Padjadjaran.

- Hardiansyah. (2012). *Perancangan Dual Axis Solar Tracker*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Herlina. (2009). *Analisis Dampak Lingkungan dan Biaya Pembangkitan Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida di Pulau Sebesi Lampung Selatan*. Tesis Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- Imron. (2013). *Studi Pemanfaatan Energi Matahari Di Pulau Panjang Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Kumara, N. (2010). *Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala Rumah Tangga Urban dan Ketersediaannya di Indonesia*. Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana.
- Mintorogo, D. (2000). *Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic Cells) pada Perumahan dan Bangunan Komersial*. Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Permana, H. (2014). *studi potensi pembangkit listrik tenaga surya sebagai energi pendukung pada sistem kelistrikan di Hotel The Royale Krakatau Cilegon*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Santiari, I Dewa A. S. (2011). *Studi Pemanfaatan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Catu Daya Tambahan Pada Industri Perhotelan Di Nusa Lembongan Bali*. Tesis Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana.
- Suriadi dan Syukri M. (2010). *Perencanaan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Terpadu Menggunakan Software PVSYST Pada Komplek Perumahan Di Banda Aceh*. Jurnal Rekayasa Elektrika Jurusan Teknik Elektro Universitas Syiah Kuala Vol. 9. No. 2.
- Tamamadin, M. (2008). *Kajian Daerah Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Studi Kasus di Wilayah Jawa Timur)*. Tugas Akhir Jurusan Meteorologi Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumihan Institut Teknologi Bandung.
- Tomoaki Ikegami et al, (2012). *PV module diagnostics using dynamic response to external cell excitation*. School of Science and Technology, GelK. Kumamoto University.