

## TRAINER PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA SURYA

Subandi<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Elektro, Institut Sains & Teknologi AKPRIND Yogyakarta  
Email: subandi@gmail.com

Masuk: 1 Juni 2017, Revisi masuk: 20 Juli 2017, Diterima: 28 Juli 2017

### ABSTRACT

*Energy consumption in Indonesia has increased, specifically in the industrial and the household sector. Based on EDSM's 2013 report, industrial sector is the largest of energy consumption 33%, the household sector 27% and the transport sector 27%. While the commercial sector for raw materials 10%. Supporting the development of renewable energy, specifically for solar energy conversion into electricity, it takes a learning tool as an observation of this energy use. For the society, to escalate practical knowledge of solar cells and panels trainer is required to test and experiment as a medium of learning in the academic theoretically to explore the potential of renewable energy. With observations and tests performed on the Solar Electricity Trainer as a medium of learning, capable to improve knowledge in theoretically and experimentally. Based on pretest with the participants called praktikan, with an increase of 47.9%. The result of solar cell test show that accuracy percentage average is 98.37% and the efficiency of the solar charger control reaches 84% for charging the battery by solar cell module.*

**Keywords:** Learning Tool, Solar Cell, Solar Charger Control, Trainer.

### INTISARI

Konsumsi energi di Indonesia mengalami peningkatan terutama dalam sektor industri dan sektor rumah tangga. Menurut data Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), tahun 2013 sektor industri merupakan sektor dengan pangsa konsumsi energi terbesar yaitu sebesar 33%, sektor rumah tangga sebesar 27% dan sektor transportasi sebesar 27%. Sedangkan pada sektor komersial untuk bahan baku sebesar 10%. Mendukung perkembangan energi terbarukan khususnya konversi energi matahari menjadi listrik, dibutuhkan wahana sebagai sarana pengamatan dari penggunaan energi ini. Bagi masyarakat umum, untuk mendapatkan pengetahuan praktis pada aplikasi sel surya dan diperlukan panel trainer untuk uji dan eksperimen sebagai media pembelajaran pada masyarakat akademik dalam mendalami potensi energi terbarukan. Dengan dilakukan pengamatan dan uji pada panel *Trainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya* sebagai media pembelajaran, mampu meningkatkan pengetahuan secara analisis teori dan praktis. Berdasarkan data angket berupa hasil *pretest* praktikan didapatkan peningkatan sebesar 47.9%. Hasil pengujian sel surya menunjukkan hasil persentasi ketepatan rata-rata sebesar 98.37% dan efisiensi kerja dari *solar charger control* mencapai 84% untuk pengisian baterai oleh modul sel surya.

**Kata kunci:** Media Pembelajaran, Sel Surya, *Solar Charger Control*, Trainer.

### PENDAHULUAN

Konsumsi energi di Indonesia mengalami peningkatan terutama dalam sektor industri dan sektor rumah tangga. Berdasar data dari Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), tahun 2013 sektor industri merupakan sektor dengan pangsa konsumsi energi final terbesar yaitu sebesar 33% diikuti oleh sektor rumah tangga sebesar 27%

dan sektor transportasi sebesar 27%. Sedangkan sektor komersial, sektor lainnya dan penggunaan untuk bahan baku 10% (ESDM, Publikasi, 2014). Begitu juga dengan potensi minyak bumi yang sudah tidak terlalu besar, dimana hanya terdapat 56.6 juta barrel dan diperkirakan akan habis 23 tahun ke depan, atau sekitar tahun 2035 (National Geographic Indonesia, 2014). Selain sisa

cadangan, pembangkitan energi listrik dan transportasi merupakan kontribusi utama emisi gas rumah kaca (GRK), mencapai 1/3 emisi global. Sesuai kesepakatan Protokol Kyoto pada tahun 1997, tiap negara secara sendiri-sendiri atau bersama-sama sepakat mereduksi konsentrasi GRK sebesar 5,2 % di bawah tingkat emisi tahun 1990. Pengurangan emisi GRK dapat dilakukan melalui implementasi teknologi pembangkit yang mengandung karbon rendah (Lubis, 2005).

Ketidakseimbangan antara peningkatan kebutuhan energi dan ketersediaan sumber energi seperti yang telah dipaparkan sebelumnya membutuhkan sebuah solusi. Salah satu yang telah dilakukan banyak negara di dunia adalah mengarahkan kebijakan energi negaranya pada sebuah spektrum baru. Salah satu contohnya adalah penggunaan energi yang signifikan, ramah lingkungan dan keberadaannya belum dimanfaatkan secara maksimal yaitu Pusat Listrik Tenaga Surya (PLTS), mengonversikan energi radiasi cahaya matahari menjadi energi listrik.

Terkait dengan energi surya, sebagai negara tropis, Indonesia mempunyai potensi energi surya yang cukup besar. Berdasarkan data penyinaran matahari yang dihimpun dari 18 lokasi di Indonesia, radiasi surya di Indonesia dapat diklasifikasikan berturut-turut sebagai berikut: untuk kawasan barat dan timur Indonesia dengan distribusi penyinaran di Kawasan Barat Indonesia (KBI) sekitar 4,5 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan variasi bulanan sekitar 10%; dan di Kawasan Timur Indonesia (KTI) sekitar 5,1 kWh/m<sup>2</sup>/hari dengan variasi bulanan sekitar 9% (Lubis, 2007).

Industri *photovoltaic* sendiri sebagai produsen solar panel terus berusaha menjadikan pembangkitan listrik tenaga surya ini semakin terjangkau secara ekonomis dan efisien dalam penggunaan. Pemasangan PLTS dapat dilakukan hingga ke daerah yang sangat terpencil sekalipun sebagai solusi dari keterbatasan jangkauan jaringan listrik.

Namun di Indonesia, perkembangan PLTS yang pesat belum sepenuhnya didukung dengan kemampuan

pengetahuan mengoptimalkan energi yang dihasilkan oleh sel surya, khususnya pada instalasi. Pemanfaatan potensi energi surya tersebut, membutuhkan wahana sebagai peralatan media pembelajaran. Menurut Arsyad (2009), media dalam perspektif pendidikan merupakan instrumen yang sangat strategis dalam ikut menentukan keberhasilan proses belajar mengajar, sebab keberadaannya secara langsung dapat memberikan dinamika tersendiri terhadap peserta didik. Media tersebut adalah *Trainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya*, yang berfungsi sebagai sistem kecil. Fungsi sistem tersebut adalah membantu pekerjaan instalasi dalam skala kecil, serta analisis kerja pembangkit listrik tenaga surya sebelum diterapkan pada instalasi yang sesuai dengan kebutuhan masyarakat.

#### METODE PENELITIAN

Pengumpulan data dilakukan dengan pengujian langsung pada panel *trainer* dengan pengambilan data sebanyak sepuluh kali setiap *test point* dan melakukan pengujian antarmuka *trainer* sebagai media pembelajaran untuk peningkatan pengalaman belajar dengan responden praktikan pada praktikum elektronika industri serta menggunakan hasil *pretest* sebagai angket. Penelitian ini menggunakan beberapa peralatan untuk menunjang rancang bangun panel *Trainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya* dalam bentuk perangkat lunak dan perangkat keras. Alat yang digunakan pada perancangan panel *trainer* seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat penelitian

No	Nama Alat	Spesifikasi	Fungsi
1	Notebook DELL	Presesor i5; operating system Windows 10	Merancang menggunakan perangkat lunak, baik rancangan panel <i>trainer</i> maupun perangkat elektronis
2	Dremel Rotary Tool	220V; 50Hz; 10000-32000rpm	Bor pada panel dan perangkat elektronis
3	Solder	220V; 30W	Memasang komponen elektronis dan melapisi kabel serabut dengan timah

Tabel 1 (Lanjutan)

No	Nama Alat	Spesifikasi	Fungsi
4	Multimeter HIOKI 3200	Digital Multimeter	Kalibrator untuk alat ukur analog yang digunakan pada panel trainer
5	Oscilloscope RIGOL	Digital Oscilloscope	Pengamatan sinyal pada peralatan
6	Adaptor DC	24V; 48W	Menguji kerja purwarupa solar charger control untuk pengisian baterai sebelum memiliki modul sel surya.

*Trainer* akan dibangun sesuai konsep sebagai media pembelajaran baik dari segi teknis, fungsi, dan kinerja dalam penggunaan, apabila didukung dengan bahan dan komponen-komponen listrik lain. Alat dan bahan yang digunakan dalam pembuatan *trainer* seperti tercantum di Tabel 2.

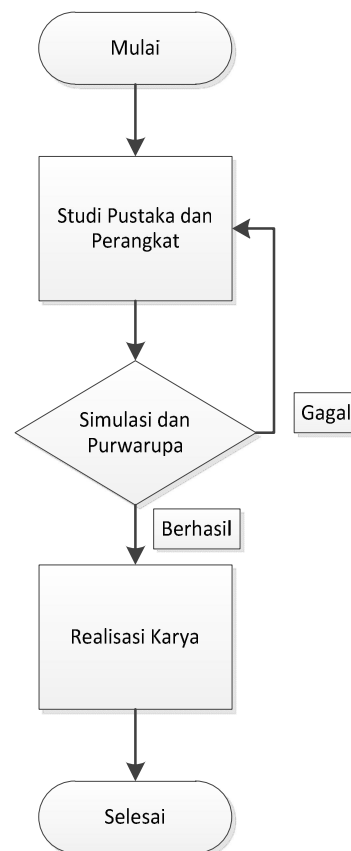
Tabel 2. Bahan penelitian

No	Nama Komponen	Jumlah	Keterangan
1	Modul Sel Surya	1	Pembangkit Listrik Tenaga Surya
2	<i>Solar Charger Control</i>	1	Kendali pengisian baterai
3	<i>Accu-Battery</i>	1	Media penyimpanan energi listrik
4	Modul Voltmeter	2	Pengukuran tegangan listrik DC
5	Modul Amperemeter	3	Pengukuran arus listrik DC
6	Sekring	1	Pengaman arus lebih
8	<i>Inverter</i>	1	Pengubah tegangan listrik DC menjadi AC
9	Modul Voltmeter	1	Pengukuran tegangan listrik AC
10	Modul Amperemeter	1	Pengukuran arus listrik AC
11	<i>Miniature Circuit Breaker</i>	1	Pemutus sirkit
12	Lampu Neon	1	Beban AC
13	<i>Electronic Ballast</i>	1	Pengendali untuk menyalakan lampu
14	Lampu Pijar	1	Beban AC
15	Stop Kontak	1	input beban AC
16	Saklar Tunggal	4	
20	<i>Banana Plug</i>	10	Konektor penghubung antar modul ( <i>male</i> )
		16	
		6	
21	<i>Binding post</i>	11	Konektor penghubung antar modul ( <i>female</i> )
		6	
		1	

Tabel 2. (Lanjutan)

No	Nama Komponen	Jumlah	Keterangan
17	Kabel	10	Pengkabelan panel trainer dan penghubung modul pada trainer
		18	
		8	
		5	
		5	
22	<i>Frame panel</i>	18	Rangka trainer dan komponen panel
	Aluminium kotak	6	
	Multipleks	1	
	Cetak sticker	1	

Blok diagram jalannya penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Proses penelitian dilakukan beberapa tahap, yaitu melakukan studi pustaka dengan mengumpulkan teori dan data tentang sel surya, *DC-DC converter*, *inverter*, alat ukur, dan baterai sebagai media penyimpan energi listrik pada *Trainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Tahapan ini dilakukan untuk menentukan spesifikasi panel trainer dan pembuatan purwarupa *solar charger control*.



Gambar 1. Diagram alur penelitian

Simulasi dan purwarupa merupakan proses merancang dan menguji perangkat elektronis dengan evaluasi dari studi pustaka. Langkah ini dilakukan untuk melihat kesalahan pada sistem sebelum realisasi karya, jika masih terdapat kesalahan pada tahapan ini, maka harus kembali pada tahapan sebelumnya, yaitu studi pustaka dan perangkat sebagai koreksi silang dari kesalahan yang ditemukan. Realisasi karya adalah tahapan akhir dari jalannya penelitian yang mencakup pengujian parsial dan pengujian akhir untuk melihat keandalan unjuk kerja.

Persamaan-persamaan yang digunakan dalam penelitian untuk

menentukan parameter kerja dari sel surya dan solar charger control berturut-turut adalah sebagai berikut (Markvart, 2000),

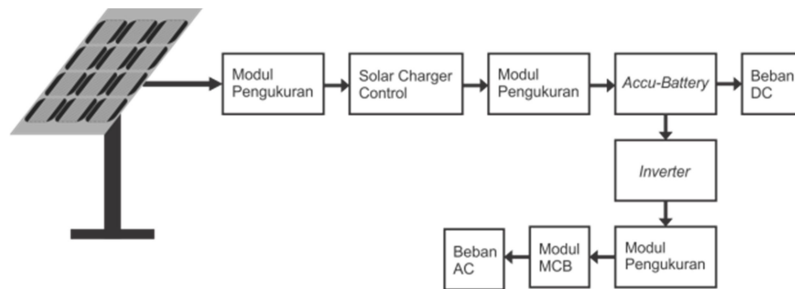
$$\frac{dV_{oc}}{dT} = -2.3 \times n_e mV/^{\circ}C \quad (1)$$

$$I_{sc}(G) = I_{sc}(at1kW/m^2) \times \frac{G}{1000} \quad (2)$$

$$T_c = T_a + \frac{NOCT - 20}{0.8} \times \frac{G}{1000} \quad (3)$$

Menghitung duty cycle pada kerja solar charger control (McVeigh, 1983)

$$D = \frac{V_{oc}}{V_s} \quad (4)$$



Gambar 2. Diagram blok perancangan sistem Trainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya

**PEMBAHASAN**

Pengujian dilakukan dengan cara melakukan pengukuran untuk melihat karakteristik kerja dari peralatan pada Trainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Dengan pengujian ini, diharapkan men-dapatkan data unjuk kerja yang optimal. Blok diagram pada Gambar 2, digunakan untuk proses untuk pengujian dan pembahasan pada panel Trainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya.

**Analisa pengujian modul sel surya**

Energi konversi radiasi matahari menjadi listrik dapat dihitung dengan menggunakan parameter modul sel surya. Modul sel surya terdiri atas 34 sel yang dihubung seri, diasumsikan kondisi kerja saat pengamatan adalah  $G = 700W/m^2$ ;  $T_a = 34^{\circ}C$  dan suhu Ambient  $29^{\circ}C$  dengan spesifikasi pabrik modul sel surya pada Test Condition  $I_{sc} = 3A$ ;  $V_{oc} = 22.2V$ ;  $P_{max} = 50W$ ;  $NOCT = 43^{\circ}C$

Arus hubung singkat  $I_{sc} = 3 \times 0.7 (kW/m^2) = 2.1 A$

$$T_c = 34 + 0.7 \times (43 - 20)/0.8 = 54.12^{\circ}C$$

$$I_{sc}(G) = 2.1 \times (700/1000) = 1.47 A$$

$$V_{oc}(T_c) = 22.2 - 2.3 \times (54.12 - 29) = 20.2 V$$

Daya maksimum,

$$P_{max}(G, T_c) = 2.1 \times 20.4 \times 0.75 = 32.13 W$$

Hasil perhitungan tegangan di atas digunakan sebagai data pembanding hasil pengukuran dan perhitungan. Selisih data antara pengamatan dan perhitungan ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Selisih data antara pengukuran dan perhitungan

Tegangan Pengukuran (V)	Tegangan Perhitungan (V)	$\Delta T_{oc}$ (V)
20.4	20.2	0.2

**Analisa pengujian solar charger control**

Menghitung besar duty cycle kerja solar charger control sebagai berikut,

$$\frac{13.3}{19} \times 100\% = 70\%$$

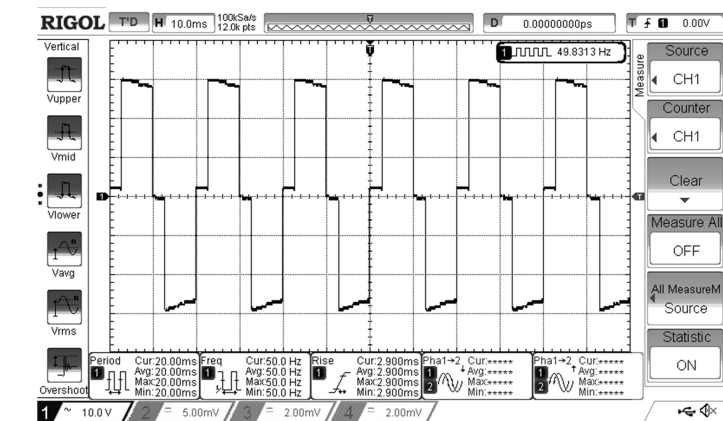
Tabel 4 menampilkan perubahan tegangan berdasarkan perubahan *duty cycle*. Efisiensi tertinggi dicapai dimulai pada *duty cycle* 80%. Saat pengambilan data, intensitas radiasi matahari sangat fluktuatif (berubah-ubah) dan karakteristik tegangan sangat tergantung pada beban. Jika nilai *duty cycle* semakin besar, maka nilai tegangan turun mengikuti nilai beban dan jika intensitas paparan radiasi untuk modul sel surya dalam kondisi maksimum, arus pengisian baterai juga akan meningkat.

**Analisa pengujian inverter**

Modul inverter adalah perangkat pengubah tegangan DC menjadi AC dengan prinsip kerja membalik (*invert*) sinyal *input squarewave* menjadi *sinewave* 220 VAC; 50 Hz. Contoh gelombang *output* yang dihasilkan *inverter modified sinewave* seperti pada Gambar 3. Pengujian dilakukan dengan mengamati *input inverter* yaitu catu daya dari baterai dan *output inverter* berupa tegangan dan arus listrik. Proses *inverting* tegangan DC menjadi AC pada rangkaian modul *inverter* akan terdapat *losses* yang dapat dihitung dengan data pengukuran pada Tabel 5.

Tabel 4. Efisiensi kerja *solar charger control*

No	Duty Cycle (%)	Solar Panel Output			Accu-Baterai			Efisiensi ( $\frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\%$ )
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	
1	20	20	0	0	12.5	0	0	-
2	30	19.7	0	0	12.4	0	0	-
3	40	19.5	0.1	1.95	12.4	0	0	0%
4	50	19	0.2	3.8	12.4	0.1	1.24	32%
5	60	19	0.2	3.8	12.7	0.1	1.27	33%
6	70	19	0.9	17.1	13.3	1.0	13.3	77%
7	80	13.8	1.1	15.18	12.7	1.0	12.7	83%
8	90	15.2	2.6	39.52	13.8	2.4	33.12	84%



Gambar 3. Gelombang *output inverter* jenis *modified sine wave*

Tabel 5. Pengujian kerja modul *inverter*

No	Beban	Accu-Battery			Inverter		
		Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya (W)
1	-	12.29	0.8	9.832	223	0	0
2	Lampu Neon 10 W	12.09	2	24.18	227	0.045	10.215
3	Lamp Pijar 5 W	12.16	1.45	17.632	226	0.05	11.3
4	Lamp Pijar 5 W dan Lampu Neon 10 W	12.01	2.8	33.628	235	0.1	23.5

Hasil pengamatan pengukuran tegangan dan arus dari *input* tegangan DC oleh *Accu-Battery* dan tegangan *output inverter* berupa arus bolak-balik. *Inverter* membutuhkan daya pada baterai sesuai dengan besar beban yang dicatu oleh *inverter* dan ditambahkan dengan besar *losses*. Oleh karena itu dapat dihitung dengan persamaan berikut,

$$\Delta P = P_i - P_o \quad (5)$$

dimana,

$\Delta P$  = selisih nilai daya *input* dan *output*

$P_i$  = daya *input*

$P_o$  = daya *output*

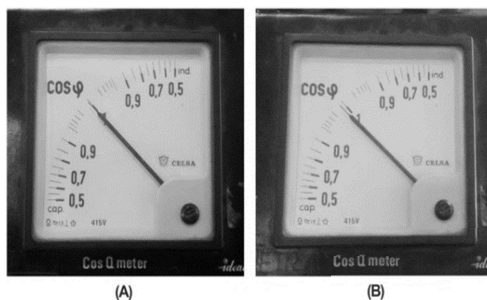
Nilai persentase *losses* adalah,

$$\text{persentase } \Delta P = \frac{\Delta P}{P_i} \cdot 100\% \quad (6)$$

menggunakan persamaan (6) dan ditampilkan berturut-turut pada Tabel 6.

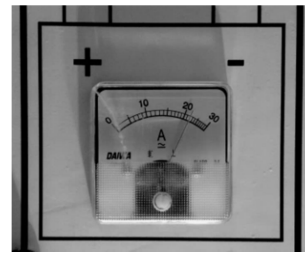
Tabel 6. Perhitungan selisih daya baterai dan *losses*

No	Beban	$P_i$ (W)	$P_o$ (W)	$\Delta P$ (W)	persentase $\Delta P$
1	Lampu Neon 10W	17.6	11.3	6.332	35.9%
2	Lampu Pijar 5W	24.2	10.2	13.9	57.7%
3	Lampu Pijar 5W & Lampu Neon 10W	33.6	23.5	9.988	29.8%
4	Lampu Pijar 5W, Lampu Neon 10W & angkaian Lampu Pijar	242	208.95	33.05	13.65%



Gambar 4. Pengukuran faktor daya ( $\cos \phi$ ) pada *output inverter*. (A) Nilai  $\cos \phi$  sebelum dihubungkan beban; (B) Nilai  $\cos \phi$  saat dihubungkan beban

Berdasar hasil pengamatan, maka ditentukan daya maksimum output *inverter* dibatasi pada nilai 208.95 W. Ini diterapkan berdasarkan spesifikasi kapasitas modul *Accu-Battery* sebesar 65 Ah dan alat ukur untuk mengamati arus yang diberikan baterai untuk catu *inverter* maksimum adalah 30 A.



Gambar 5. Pengukuran arus saat mencatu *inverter* dengan daya output 208.95 W

### Analisa pengujian trainer sebagai media pembelajaran

Panel *trainer* sebagai media pembelajaran harus mampu menjadi wahana untuk meningkatkan pemahaman khususnya dalam hal ini adalah pembangkit listrik tenaga surya dengan sistem *stand-alone*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan *pretest* pada praktikum elektronika industri yang telah dilaksanakan sebagai angket untuk respon dari praktikan terhadap trainer sebagai media pembelajaran. Analisis hasil data angket (lembar *pretest* dari praktikan) dilakukan secara deskriptif kuantitatif yaitu dengan menggunakan persentase gambaran dan paparan terhadap media trainer yang dikembangkan (Sofyan, 2009). Untuk keperluan menghitung persentase respon praktikan terhadap trainer adalah sebagai berikut:

respon praktikan terhadap trainer adalah sebagai berikut:

$$\text{Persentase} = \frac{\text{Jumlah Nilai Hasil Pretest}}{\text{Jumlah Nilai Ideal}} \times 100\%$$

Keterangan:

Jumlah nilai ideal = nilai tertinggi  $\times$  jumlah item  $\times$  jumlah responden

Tabel 7. Jumlah nilai praktikan

No	Nilai	Jumlah Nilai Mahasiswa		Jumlah item Praktikum
		Pretest Pertama	Pretest Kedua	
1	0	359	60	1
2	31	522	174	
3	60	85	1743	
Jumlah		966	1977	

Hasil pengamatan untuk tabel terdapat pada lampiran. Pada hasil pengamatan, masih terdapat mahasiswa dengan nilai tidak sempurna. Pengaruh lain saat dilakukan kegiatan adalah jumlah praktikan yang melakukan uji pada panel trainer tidak dalam kelompok kecil, sehingga konsentrasi saat melakukan uji tidak maksimal.

### KESIMPULAN

Berdasarkan data hasil pengujian, maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut. Pertama, berdasarkan pengambilan data, efisiensi kerja yang dicapai pada unjuk kerja panel trainer mencapai 84% untuk pengisian baterai oleh modul sel surya. Kedua, dari hasil pretest sebagai angket respon praktikan terhadap panel *Trainer Pembangkit Listrik Tenaga Surya* terdapat peningkatan sebesar 47.9%, ini mengisyaratkan trainer sebagai media pembelajaran mampu meningkatkan kemampuan praktikan. Ketiga, rancang dan bangun trainer sistem pembangkit listrik tenaga surya dengan susunan modular yang secara teknis layak digunakan sebagai wahana pengujian.

### DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, A., 2009, *Media Pembelajaran*, Jakarta: PT. Raja Grafindo Persada.
- Lubis, A., 2007, Energi Terbarukan dalam Pembangunan Berkelanjutan, *Jurnal Teknik Lingkungan*, 155-162.
- Lubis, E., 2005, Kontribusi Pembangkitan Energi Listrik Terhadap Efek Rumah Kaca, *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pengolahan Limbah VI*, Pusat Teknologi Limbah Radioaktif-BATAN.
- Markvart, T., 2000, *Solar Electricity*. England, John Wiley & Sons.
- McVeigh, J., 1983, *Sun Power: An Introduction to the Applications of*

*Solar Energy*. Michigan, Pergamon Press.

Sofyan, M., 2009, *Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.

### BIODATA PENULIS

**Subandi, S.T., M.T.**, lahir di Kudus tanggal 27 Oktober 1958, menyelesaikan pendidikan S1 tahun 1995 di Jurusan Teknik Elektro IST AKPRIND Yogyakarta dan S2 tahun 2006 di Jurusan Teknik Elektro UGM. Saat ini bertugas sebagai Dosen Tetap Jurusan Teknik Elektro IST AKPRIND Yogyakarta. Email: subandi@gmail.com.