

Rancang Bangun Penyedia Energi Listrik Tenaga Hibrida (PLTS-PLTB-PLN) Untuk Membantu Pasokan Listrik Rumah Tinggal

Rocky Alfanz¹, Fadjar Maulana K², Heri Haryanto³

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa

Jln. Jendral Sudirman km. 03 Cilegon, Banten

¹rocky.alfanz@ft-untirta.ac.id,²email,³email

Abstrak – Pasokan listrik Rumah Tinggal selama ini disuplai oleh PLN dengan waktu operasi 24 jam, dibutuhkan suplai tambahan energi terbarukan untuk menjadikan rumah yang mempunyai energi mandiri. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem penyedia energi listrik tenaga surya untuk membantu pasokan listrik rumah tinggal pada skema pembangkit listrik hibrida PLTS-PLTB-PLN. Sistem PLTS dimanfaatkan untuk mengurangi pemakaian energi yang di suplai PLN. Hasil penelitian menunjukkan telah dirancang sistem PLTS pada skema pembangkit hibrida PLTS-PLTB-PLN dengan kapasitas inverter 1000W dengan gelombang kotak termodifikasi, baterai 17,28Ah, pembangkitan panel surya sebesar 92,11Wp. Hasil pengujian menunjukkan besarnya energi optimal yang dihasilkan PLTS adalah sebesar 297Wh/hari atau sebesar 5,25% sedangkan kontribusi PLTB 0,33%.

Kata kunci : PLTS, Energi Alternatif, PLTH

Abstract – This research aims to design and build a system provider of solar electric energy to help supply electricity to the home stay scheme of power generation hybrid PLTS – PLTB - PLN. Electricity is supplied by PLN in the 24 hours at home, it takes an additional supply of renewable energy to make the home that has an energy- independent. Solar systems with hybrid energy used to reduce energy consumption in the supply PLN . The results show the system has been designed on a schematic generation hybrid PLTS - PLTB - PLN with a capacity of 1000Watt and the Inverter with modified square wave for converted the current, 17,28Ah batteries , solar panels for generating 92,11Wp . Test results showed that the optimal amount of energy generated by solar power is 297Wh / day or by 5.25 % while the contribution of thermal power station of 0.33 %

Keywords : PLTS, Energi Alternatif, PLTH

I. PENDAHULUAN

Kelistrikan di rumah tinggal rata-rata disuplai oleh PLN sehingga agar kelistrikan di Rumah Tinggal dapat mempunyai listrik mandiri maka dibutuhkan suplai pembangkit alternatif terbarukan untuk membantu pasokan listrik. Pembangkit alternatif terbarukan yang cocok dengan keadaan geografis adalah PLTS (Pembangkit Listrik Tenaga Surya).

Potensi pengembangan PLTS di Indonesia sangat menjanjikan dilihat dari letak geografis Indonesia yang berada pada garis khatulistiwa. Pulau Panjang memiliki potensi energi listrik tenaga surya sebesar 4,61kW/m²/hari (BMKG, 2011). Besarnya potensi ini dapat dimanfaatkan untuk skema pembangkit listrik hibrida PLTS-PLTB-PLN pada rumah tinggal.

Skema pembangkit listrik hibrida digunakan untuk membantu sistem kelistrikan di rumah tinggal yaitu dengan cara membangun sistem PLTS untuk mengurangi penggunaan listrik produksi PLN di rumah tinggal.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Energi Matahari

Matahari memancarkan energi dalam bentuk radiasi elektromagnetik. Radiasi matahari yang sampai ke

permukaan bumi disebut *insolation* (*incoming solar radiation*) yang mengalami penyerapan (*absorpsi*), pemantulan, hamburan, dan pemancaran kembali atau *reradiasi*. Radiasi tersebut hanya sekitar 50% yang dapat diserap oleh bumi. Matahari sebenarnya mempunyai posisi yang tetap dalam sistem tata surya, namun terlihat bergerak melintasi langit ketika diamati dari permukaan bumi. Pergerakan matahari ini terlihat nyata sebagai pengaruh dari rotasi bumi. Sebagai konsekuensi pergerakan ini, sudut dimana sinar matahari jatuh secara langsung ke koordinat pengamat berubah secara kontinu. Posisi matahari dapat diketahui dengan pengetahuan pengamat mengenai garis lintang (*latitude*) dan garis bujur (*longitude*), disamping waktu dan tanggal pengamatan. Perbedaan garis lintang dan bujur suatu daerah akan mempengaruhi potensi energi matahari di daerah tersebut, oleh karena itu untuk mendapatkan energi matahari yang optimal ada dua hal yang harus dipertimbangkan, yaitu sudut elevasi dan sudut *azimuth*.

B. PLTS

1. Panel Surya

Sel surya terdiri dari sambungan bahan semikonduktor bertipe *p* dan *n* (*p-n junction semiconductor*) yang jika terkena 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). Sejumlah modul umumnya terdiri dari 36 sel surya atau 33 sel dan 72 sel. Modul-modul ini kemudian dirangkai menjadi panel surya dan jika panel surya ini dihubungkan secara baris dan kolom disebut dengan *array*. Pengoperasian maksimum panel surya sangat bergantung pada temperatur, *insolation*, kecepatan angin, keadaan atmosfer dan peletakan panel surya.

Kenaikan temperatur lebih tinggi dari temperatur normal pada PV sel akan melemahkan tegangan *open circuit* (V_{oc}). Setiap kenaikan temperatur sel surya 1°C dari 25°C akan berkurang sekitar 0,5% pada total tenaga yang dihasilkan. Besarnya daya yang berkurang pada saat temperatur di sekitar panel surya mengalami kenaikan $t^{\circ}C$ dari temperatur standarnya dapat dihitung menggunakan persamaan 1:

$$P_{saat\ selisih\ t^{\circ}C} = [(0,5\%/^{\circ}C) \times P_{MPP} \times t^{\circ}C] \quad (1)$$

Daya keluaran maksimum panel surya pada saat temperturnya naik menjadi $t^{\circ}C$ dari temperatur standarnya diperhitungkan dengan persamaan:

$$P_{MPP\ saat\ selisih\ t^{\circ}C} = P_{MPP} - P_{saat\ selisih\ t^{\circ}C} \quad (2)$$

Pemasangan panel surya secara tetap sering dilakukan karena paling mudah dalam pelaksanaan dan biaya sedikit. Sudut kemiringan (*tilt angle*) pada suatu lokasi berdasarkan sudut *altitude* matahari pada suatu lokasi dalam suatu waktu dapat dicari dengan persamaan:

$$\beta_N = 90^{\circ} - L + /- \delta \quad (3)$$

$$Tilt = 90^{\circ} - \beta_N \quad (4)$$

Besarnya *fix tilt angle* umumnya terletak diantara *tilt angle* maksimum saat *winter solstice* ($\delta = +23^{\circ}$) dan *summer solstice* ($\delta = -23^{\circ}$). *Fix tilt angle* dapat diperkirakan berdasarkan nilai rata-rata *tilt angle* pada saat *winter solstice* dan *summer solstice*, yaitu sebagai berikut:

$$fix\ tilt\ angle = \frac{[tilt\ angle_{(winter)} + tilt\ angle_{(summer)}]}{2} \quad (5)$$

Berdasarkan pemaparan faktor-faktor yang mempengaruhi energi yang dibangkitkan panel surya, besarnya kapasitas panel surya yang dibutuhkan dalam suatu perencanaan sistem PLTS dapat dihitung menggunakan persamaan 6:

$$P(Wp) = E_L \div PGF \quad (6)$$

dan nilai *PGF* diperoleh dari persamaan 7:

$$PGF = CE \times Avrg\ Solar \quad (7)$$

Selanjutnya berdasarkan besarnya kebutuhan daya panel yang akan dibangkitkan (P_{Wp}), maka banyaknya panel surya yang dibutuhkan dapat dihitung dengan persamaan 8:

$$Jumlah\ panel\ surya = \frac{P_{Wp}}{P_{MPP}} \quad (8)$$

2. Baterai

Baterai adalah komponen PLTS yang berfungsi menyimpan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya pada siang hari, untuk kemudian dipergunakan pada malam hari dan pada saat cuaca mendung. Baterai yang dipergunakan pada PLTS mengalami proses siklus pengisian (*charging*) dan pengosongan (*discharging*), tergantung ada atau tidaknya sinar matahari. Kapasitas baterai dalam suatu perencanaan PLTS dipengaruhi pula oleh faktor DOD dan TCF. Kapasitas baterai dalam suatu perencanaan PLTS dipengaruhi pula faktor *autonomy*, yaitu keadaan baterai dapat menyuplai beban secara menyeluruh ketika tidak ada energi yang masuk dari panel surya. Besarnya kapasitas total baterai (Ah) yang dibutuhkan dalam suatu sistem PLTS dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 9:

$$(Ah) = \frac{E_L}{(\%Max\ DOD) \times (TCF) \times V_{baterai}} \times AD \quad (9)$$

TCF (*Temperature Correction Factor*) adalah perbandingan antara daya keluaran maksimum panel surya pada saat temperatur di sekitar panel surya naik menjadi $t^{\circ}C$ dari temperatur standarnya dengan daya keluaran maksimum panel surya. Besarnya TCF dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$TCF = \frac{P_{MPP\ saat\ selisih\ t^{\circ}C}}{P_{MPP}} \quad (10)$$

3. Inverter

Inverter adalah peralatan elektronik yang berfungsi mengubah energi DC menjadi energi AC. Energi yang dihasilkan panel surya adalah arus DC, oleh karena itu pada sistem PLTS dibutuhkan *inverter* untuk mengubah energi dari panel dan baterai tersebut agar dapat menyuplai kebutuhan energi AC. Pemilihan *inverter* yang tepat untuk aplikasi tertentu, tergantung pada kebutuhan beban dan juga apakah *inverter* akan menjadi bagian dari sistem yang ke jaringan listrik atau sistem yang berdiri sendiri. Perhitungan kapasitas *inverter* disesuaikan dengan beban puncak yang harus disuplai serta dihitung dengan menambahkan faktor *future margin*, *error margin* dan *capacity factor* seperti pada persamaan 11:

$$P = \frac{E_{LBP} \times FM \times EM}{CF} \quad (11)$$

4. Charge Controller

Charge controller adalah peralatan elektronik yang digunakan untuk mengatur arus searah yang diisi ke baterai dan diambil dari baterai ke beban. *Charge controller* mengatur *overcharging* (kelebihan pengisian karena batere sudah penuh) dan kelebihan tegangan dari panel surya.

Charge controller menerapkan teknologi PWM (*Pulse Width Modulation*) untuk mengatur fungsi pengisian baterai dan pembebasan arus dari baterai ke beban. Tanpa *charge controller* baterai akan rusak oleh *overcharging* dan ketidakstabilan tegangan. Beberapa fungsi detail dari *solar charge controller* adalah sebagai berikut:

- a. Mengatur arus untuk pengisian ke baterai, menghindari *overcharging*, dan *overvoltage*.
- b. Mengatur arus yang dibebaskan/diambil dari baterai agar baterai tidak *full discharge*, dan *overloading*.

Charge controller biasanya terdiri dari 1 *input* dengan 2 terminal yang terhubung dengan output panel sel surya, 1 *output* dengan 2 terminal yang terhubung dengan baterai/aki dan 1 *output* dengan 2 terminal yang terhubung dengan beban. Arus listrik DC yang berasal dari baterai tidak mungkin masuk ke panel sel surya karena biasanya ada dioda *protection* yang hanya melewatkan arus listrik DC dari panel sel surya ke baterai bukan sebaliknya.

Seperti yang telah disebutkan, *solar charge controller* yang baik biasanya mempunyai kemampuan mendeteksi kapasitas baterai. Baterai yang sudah penuh terisi maka secara otomatis pengisian arus dari panel sel surya berhenti. Cara deteksi adalah melalui monitor *level* tegangan baterai.

Charge controller akan mengisi baterai sampai *level* tegangan tertentu, kemudian apabila *level* tegangan turun, maka baterai akan diisi kembali. *Charge controller* memiliki 2 operasi kerja, yaitu *charging mode* dan *operation mode*. *Charging mode* merupakan suatu mode kerja *charge controller* saat pengisian baterai. Umumnya baterai diisi dengan metode *three stage charging* yaitu:

1. *Fase bulk*: yaitu baterai akan diisi sesuai dengan tegangan *setup* dan arus diambil secara maksimum dari panel surya. Umumnya tegangan *setup bulk* adalah 14,4V sampai 14,6V. Pada saat baterai sudah pada tegangan *setup bulk* dimulailah *fase absorption*.
2. *Fase absorption*: pada fase ini, tegangan baterai akan dijaga sesuai dengan tegangan *bulk*, sampai tegangan *solar charge controller* tercapai, arus yang dialirkan akan menurun sampai tercapai kapasitas dari baterai.
3. *Fase float*: baterai akan dijaga pada tegangan *float setting* (umumnya 13,4V sampai 13,7V). Beban yang terhubung ke baterai dapat menggunakan arus maksimum dari panel surya pada tahapan ini.

Operation mode adalah kondisi baterai saat menyuplai beban. Apabila ada *overdischarge* atau *overload*, maka baterai akan dilepaskan dari beban. Hal ini berguna untuk mencegah kerusakan dari baterai.

Untuk menentukan kapasitas arus pada *charge controller* menggunakan persamaan (Suriadi dan Syukri, 2010) sebagai berikut :

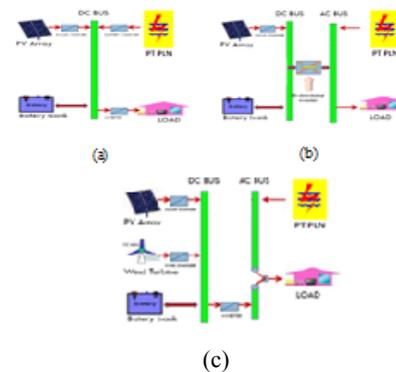
$$I_{max} = I = \frac{P_{Max}}{V_s} \tag{12}$$

V_s adalah tegangan yang digunakan dan P_{max} adalah daya yang dibangkitkan panel surya

C. PLTH

Hybrid system adalah penggabungan dua atau lebih sumber energi. Salah satu contohnya adalah *solar electric system* dengan sumber energi lain (seperti generator diesel, pembangkit listrik tenaga angin). *Hybrid system*

dipilih dalam rangka menyediakan sumber energi yang handal dan tidak bergantung dengan energi fosil. *Hybrid system* terbagi lagi menjadi sistem serial, paralel dan tersaklar seperti pada Gambar 1.

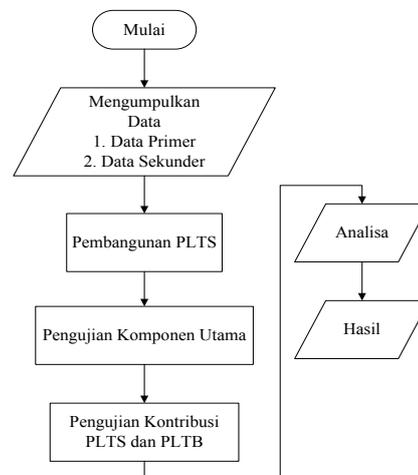


Gambar 1 Sistem PLTH, (a) Serial (b) Paralel (c) Tersaklar

Prinsip kerja PLTH tersaklar (switched), inverter beroperasi sebagai sumber AC. Sumber energi terbarukan lain dapat mengisi (charging) baterai. Pada sistem ini beban dapat langsung disuplai PLN.

III. METODOLOGI PENELITIAN

Proses perancangan dan pembangunan sistem penyedia pembangkit listrik alternatif untuk membantu pasokan listrik rumah tinggal dapat dijelaskan melalui diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Alir Perencanaan Penelitian

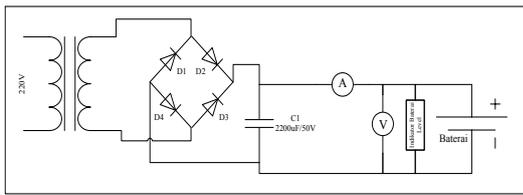
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Baterai

1. Pengujian baterai menggunakan catu daya

Pengujian baterai dilakukan untuk mengetahui karakteristik pengisian dan pengosongan baterai. Pengujian pertama menggunakan catu daya untuk pengisian baterai agar dapat mengetahui karakteristik pengisian, parameter yang diambil adalah arus pengisian baterai (I_{bat}) saat awal dan akhir pengisian baterai, begitu pula pada tegangan baterai (V_{bat}) saat kondisi awal dan

akhir pengisian baterai sehingga diketahui karakteristik pengisian.

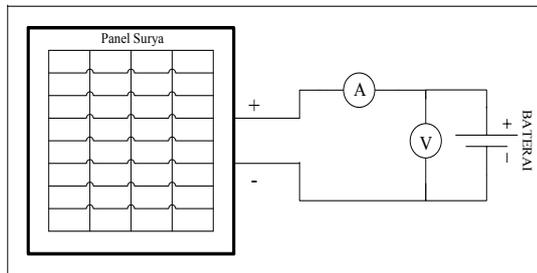


Gambar 3 Skema Pengujian Karakteristik Baterai

Karakteristik pengisian baterai, arus pengisian pada baterai menurun dan tegangan pada baterai (V_{bat}) meningkat hampir sama dengan tegangan input catu daya (V_{cd}). Meningkatnya tegangan baterai (V_{bat}) dapat dilihat pada multi meter dan indikator baterai *level*.

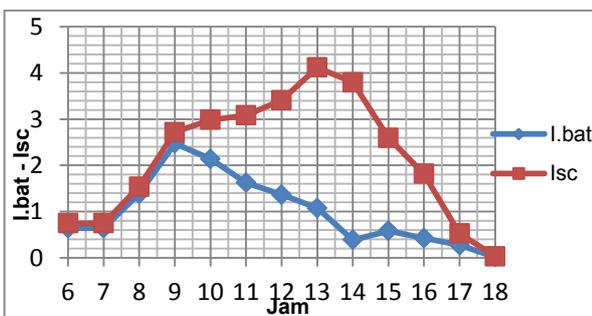
2. Pengujian baterai menggunakan panel surya

Pada pengujian ini bertujuan mengetahui karakteristik pengisian menggunakan panel surya. Parameter yang diambil pada pengujian ini adalah arus pengisian baterai (I_{bat}) dan tegangan pengisian baterai (V_{bat}) saat jam 06.00 sampai dengan 18.00, Skema pengujian seperti pada Gambar 4. parameter lain yang digunakan adalah arus *short circuit* (I_{sc}) dan tegangan *open circuit* (V_{oc}) Skema pengujian seperti pada Gambar 4 sehingga dari parameter-parameter yang didapat diketahui karakteristik pengisian baterai menggunakan panel surya.



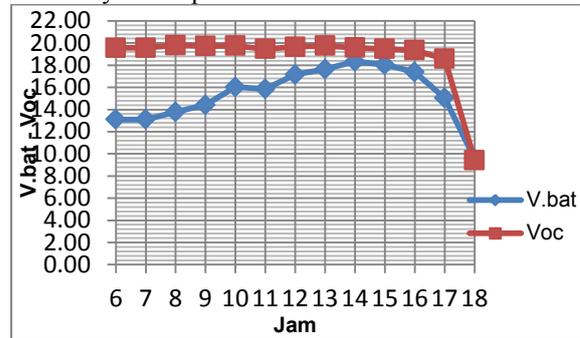
Gambar 4 Skema Pengujian Menggunakan Panel Surya

Dari pengujian menggunakan skema pada Gambar 4 sehingga dapat kita ketahui parameter arus pengisian baterai (I_{bat}) dan tegangan pengisian baterai (V_{bat}). Hasil dari parameter yang digunakan diperlihatkan pada Gambar 5 dan Gambar 6.



Gambar 5 Grafik Kondisi Arus Pengujian Baterai Menggunakan Panel Surya

Pada Gambar 5 Arus pengisian baterai (I_{bat}) terjadi penurunan sebesar 0,39A saat jam 14.00, sedangkan pada arus *short circuit* (I_{sc}) sebesar 3,80A. Dari pengujian ini bahwa arus yang dihasilkan oleh panel surya sudah tidak digunakan untuk pengisian baterai, dengan kata lain baterai dinyatakan penuh.

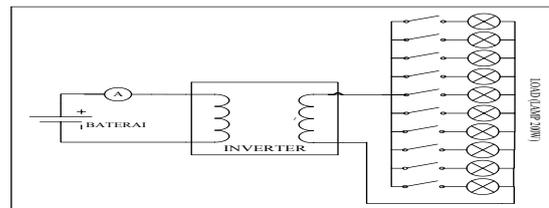


Gambar 6 Grafik Kondisi Tegangan Pengujian Baterai Menggunakan Panel Surya

Gambar 6 menunjukkan kondisi tegangan pengisian baterai (V_{bat}) sebesar 18,33V hampir sama tegangan *open circuit* (V_{oc}) sebesar 19,58V saat jam 14.00. Dari parameter-parameter yang digambarkan pada Gambar 5 dan gambar 6, dapat kita ketahui karakteristik pengisian baterai sama dengan saat pengujian pengisian baterai menggunakan catu daya sehingga saat posisi jam 14.00 kondisi baterai dinyatakan penuh.

3. Pengujian pengosongan baterai

Pada pengujian ini baterai yang digunakan berkapasitas 42Ah, saat pengosongan baterai menggunakan beban 10 buah lampu yang dihubungkan pada inverter parameter yang diambil adalah arus pengosongan pada beban serta waktu pengosongan sehingga dapat diketahui kapasitas baterai sebenarnya. Pengujian menggunakan skema seperti pada Gambar 7.



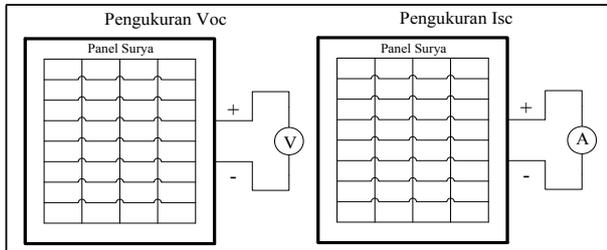
Gambar 7 Skema Pengosongan Baterai

Dari pengujian ini diketahui waktu untuk pengosongan baterai 1 jam 47 menit, dalam matematis dapat ditulis sebesar 1,7833, sedangkan diketahui dari pengujian *inverter* arus yang digunakan untuk beban 10 buah lampu sebesar 9,69A. Berdasarkan kapasitas baterai yang digunakan sebesar 42Ah ternyata setelah diuji dan dihitung kapasitas baterai yang terpakai sebesar 17,28Ah, hal tersebut karena baterai yang digunakan tidak baru. Sehingga dari kapasitas baterai yang ada hanya 41,14% dari kapasitas sebenarnya.

B. Pengujian panel surya

Pada pengujian panel surya kapasitas 100WP bertujuan mengetahui karakteristik panel serta diketahui pula daya yang dihasilkan panel surya, karena peningkatan temperatur lebih tinggi dari temperatur

normal pada PV sel akan melemahkan tegangan *open circuit* (V_{oc}). Setiap kenaikan temperatur sel surya 1°C dari 25°C akan berkurang sekitar 0,5% pada total tenaga yang dihasilkan akibat terjadinya perubahan suhu. Sehingga parameter yang dibutuhkan pada pengujian ini adalah nilai tegangan *open circuit* (V_{oc}), arus *short circuit* (I_{sc}), kondisi temperatur sekitar panel surya dan intensitas cahaya yang diterima panel surya.



Gambar 8 Skema Pengukuran (V_{oc}) dan (I_{sc})

Tabel 1 Hasil Pengukuran Karakteristik Panel Surya

Jam	Temperatur (°C)	Kelembaban (%)	Nilai Pencahayaayaan (Lux)	Tegangan Open Circuit (V_{oc})	Arus Short Circuit (I_{sc})
06.00	25,80	93,00	116,00	19,57V	0,75A
07.00	25,80	93,00	116,00	19,57V	0,75A
08.00	32,55	80,25	165,75	19,81V	1,54A
09.00	38,72	74,67	428,33	19,73V	2,72A
10.00	39,15	69,17	551,00	19,76V	2,99A
11.00	37,64	65,38	438,88	19,47V	3,08A
12.00	38,76	61,71	541,29	19,66V	3,41A
13.00	40,79	59,25	542,13	19,75V	4,12A
14.00	39,71	54,14	551,00	19,58V	3,80A
15.00	38,17	57,86	359,29	19,47V	2,59A
16.00	33,97	60,86	256,71	19,35V	1,82A
17.00	31,60	59,57	75,86	18,57V	0,53A
18.00	28,00	63,67	3,67	9,41V	0,03A

Tabel 1 dapat diketahui karakteristik panel surya serta temperatur udara maksimum pada saat pengukuran adalah sebesar 40,78°C, dari data temperatur ini terlihat bahwa suhu di lokasi penelitian lebih tinggi dari suhu standar (25°C) sehingga ada perbedaan suhu sebesar 15,78°C dari suhu standar (25°C) dan akan mengurangi daya keluaran maksimum panel surya (P_{MPP})

Besarnya hasil pengukuran daya yang berkurang pada selisih suhu 15,78°C dari temperatur standarnya dapat dihitung menggunakan persamaan (1) sebagai berikut:

$$P_{saat\ selisih\ t\ 15,78^{\circ}C} = [(0,5\%/^{\circ}C) \times P_{MPP} \times t^{\circ}C]$$

$$= [(0,5\%/^{\circ}C) \times 100W \times 15,79^{\circ}C]$$

$$= 7,90W$$

Sedangkan untuk daya keluaran maksimum panel surya (P_{MPP}) pada saat temperaturnya 40,78°C dihitung dengan persamaan (2) sebagai berikut:

$$P_{MPP\ saat\ selisih\ t\ 15,78^{\circ}C} = P_{MPP} - P_{saat\ t\ naik}$$

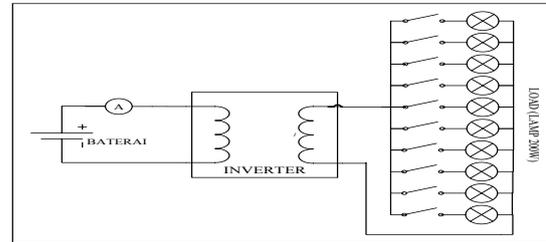
$$= 100W - 7,90W$$

$$= 92,11W$$

C. Pengujian Inverter

Pada pengujian *inverter* menggunakan berbagai variasi jumlah beban lampu, parameter yang digunakan

pada pengujian ini adalah arus *input* (I_{input}) dan tegangan *input* (V_{input}) pada *inverter* serta arus *output* (I_{output}) dan tegangan *output* (V_{output}) pada *inverter* yang bertujuan mengetahui daya yang dibutuhkan *inverter* ketika tidak dibebani (*No Load*) dan saat terbebani (*Loud*) dan frekwensi yang di hasilkan sehingga diketahui keandalan dan karakteristik dari *inverter* yang digunakan. Skema pengujian seperti pada Gambar 9.



Gambar 9 Skema Pengujian *Inverter*

Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3 diketahui daya input yang dibutuhkan oleh *inverter* tanpa beban sebesar 9W sedangkan daya input *inverter* dibebani lampu 10 buah sebesar 107,2W dan frekwensi yang dihasilkan oleh *inverter* sebesar 55Hz.

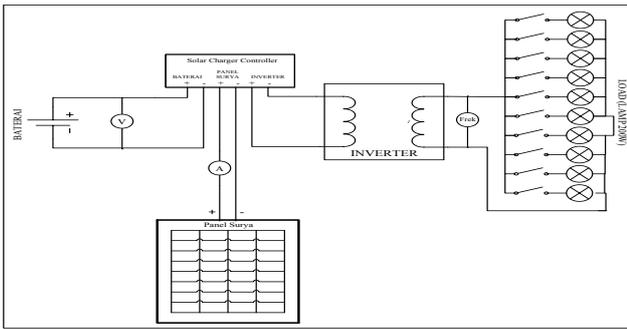
Tabel 2 Pengujian *Inverter* Variasi Beban

Jumlah Lampu	Total Daya (Watt)	$V_{Output\ Inverte\ r}$ (V)	$I_{Output\ Inverte\ r}$ (A)	Frekuensi (Hz)	$V_{Input\ Inverte\ r}$ (V)	$I_{Input\ Inverte\ r}$ (A)	$P_{Input\ Inverte\ r}$ (W)
-	-	223	-	55Hz	12,88	0,70	9,0
1bh	20	223	0,03	55Hz	12,59	1,69	21,3
2bh	40	222	0,06	55Hz	12,40	2,31	28,6
3bh	60	222	0,11	55Hz	12,27	2,98	36,6
4bh	80	222	0,15	55Hz	12,16	3,58	43,5
5bh	100	222	0,18	55Hz	12,04	4,20	50,6
6bh	120	221	0,21	55Hz	11,94	4,76	56,8
7bh	140	221	0,24	55Hz	11,82	5,46	64,5
8bh	160	221	0,29	55Hz	11,69	6,18	72,2
9bh	180	220	0,37	55Hz	11,35	7,90	89,7
10bh	200	220	0,45	55Hz	11,06	9,69	107,2

Dalam pengujian menggunakan *modified sine wave inverter* berkapasitas 1000W dengan efisiensi sebesar 50-60%.

D. Pengujian PLTS

Pada pengujian PLTS yang telah dibangun pada penelitian ini dilakukan pada saat siang hari terhadap beban 10 buah lampu parameter yang dibutuhkan adalah lama waktu penggunaan serta daya beban yang digunakan PLTS. Skema pengujian seperti pada gambar 10.



Gambar 10 Skema PLTS

Berdasarkan pengujian pada Tabel 4 diketahui daya maksimum yang dihasilkan oleh panel surya selama 3 jam yaitu antara jam 11.00 sampai dengan 14.00 Pada saat tersebutlah PLTS digunakan di siang hari.

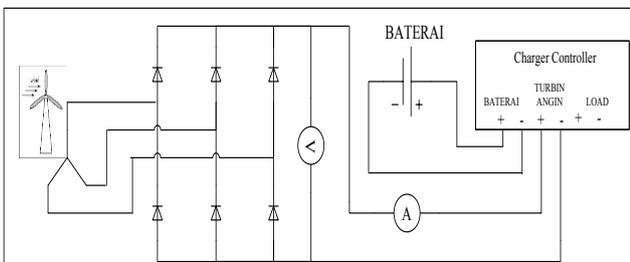
Tabel 3. Pengujian PLTS Siang Hari

Jam	Tegangan Pada Baterai (V)	I _{Output} Panel Surya (A)	Frekuensi (Hz)	Kondisi Lampu
11.00	12,20	4,33	55Hz	Menyala
12.00	12,20	5,22	55Hz	Menyala
13.00	11,90	5,70	55Hz	Menyala
14.00	11,75	6,00	55Hz	Menyala
14.13	11,37	1,95	55Hz	Mati
14.14	11,57	3,35	55Hz	Menyala
14.12	11,32	2,45	55Hz	Mati
14.12	11,59	3,75	55Hz	Menyala
14.31	11,42	4,91	55Hz	Mati
14.31	11,46	4,92	55Hz	Menyala
14.32	11,42	4,94	55Hz	Mati

Pengujian yang telah dilakukan pada saat siang dapat diketahui waktu penggunaan PLTS selama 3 jam dan daya yang digunakan sebesar 99W sehingga energi maksimum yang dapat digunakan sebesar 297Wh.

E. Pengujian PLTB

Pada pengujian PLTB menggunakan Generator Brusses dengan tambahan Gear 3:1, skema pengujian seperti pada Gambar 11 dan hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 5.



Gambar 11 Skema Pengujian PLTB

Tabel 4. Pengujian PLTB

Kecepatan Angin (m/s)	Tegangan (V)	Arus (A)
7,70	12,00	0,25

7,60	12,00	0,28
7,10	12,00	0,23
7,00	12,00	0,27
6,70	12,00	0,28
6,50	12,00	0,25
6,30	12,00	0,27
6,00	11,90	0,18
5,70	11,90	0,14
5,20	11,80	0,15
5,10	11,80	0,12
5,00	11,80	0,12
4,90	11,90	0,15
4,20	11,80	0,13
3,80	11,80	0,11
3,70	11,80	0,09
3,30	11,80	0,09
2,60	11,70	0,08

Bila dalam satu hari angin berhembus selama 6 jam yaitu antara jam 09.00 sampai dengan jam 15.00 maka dapat diketahui berapa besar kapasitas energi listrik yang diperoleh dari turbin pada pengisian baterai. Sebagai contoh, jika angin berhembus dengan kecepatan 6,3 m/s sampai dengan 7,7 m/s dengan rata-rata arus listrik 0,26 Ampere, maka energi listrik yang dihasilkan pada pengisian baterai selama 6 jam yaitu sebesar :

$$Ah = \text{Asumsi waktu per hari} \times \text{Arus} = 6 \times 0,26 = 1,56 Ah$$

Kapasitas energi dihasilkan sebesar 1,56 Ah. Jika digunakan pada beban satu buah lampu 20 Watt diketahui pada tabel 4.5 arus yang dibutuhkan sebesar 1,69 Ampere. Maka dapat diketahui energi PLTB yang dapat digunakan sebesar :

$$P = \frac{\text{Energi dihasilkan}}{\text{Arus dibutuhkan}} \times \text{Daya beban} = \frac{1,56}{1,69} \times 20 \text{ watt} = 18,46 Wh$$

F. Menghitung Nilai Kontribusi

Untuk menghitung nilai kontribusi dari masing-masing pembangkitan dibutuhkanlah data pemakaian energi perhari. Maka digunakanlah data pengamatan penggunaan energi listrik perhari pada 3 buah rumah tinggal seperti pada tabel 5.

Tabel 5. Pengamatan Penggunaan Energi Listrik Rumah Tinggal

Tanggal	Rumah	kWh per Hari (24 Jam)	Beban	
			Pagi (08.00)	Malam (20.00)
14/08/2014	1	5,34 kWh	200,37W	233,33W
	2	6 kWh	-	222,01W
	3	6,59 kWh	190W	370W
15/08/2014	1	5,22 kWh	135,95W	255,77W
	2	5,42 kWh	184,4W	224,68W
	3	7,35 kWh	290W	430W
16/08/2014	1	5,01 kWh	217,97W	59,46W
	2	5,41 kWh	145,55W	128,66W
	3	6,43 kWh	160W	230W

17/08/2014	1	5,01 kWh	-	136,6W
	2	5,86 kWh	-	121,86W
	3	4,58 kWh	-	280W
18/08/2014	1	4,57 kWh	-	134,3W
	2	5,24 kWh	-	222,47W
	3	4,75 kWh	-	240W
19/08/2014	1	4,97 kWh	-	276,31W
	2	5,75 kWh	-	200,51W
	3	8,44 kWh	-	460W
Rata-rata KWH Per Hari		5,66kWh		
Beban Max			460W	

Pada Tabel 5 data yang diamati pada 3 buah rumah tipe 21 berdaya listrik 1300VA. Dengan diketahui nilai rata-rata pemakaian energi perhari pada rumah tinggal yaitu sebesar 5,66 KWh sehingga dapat kita ketahui nilai kontribusi dari mesin-masing pembangkit.

$$\begin{aligned} \text{Kontribusi PLTS} &= \frac{\text{Energi dihasilkan PLTS}}{\text{Energi dibutuhkan rumah}} \times 100\% \\ &= \frac{297W}{5,66KW} \times 100\% = 5,25\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kontribusi PLTB} &= \frac{\text{Energi dihasilkan PLTB}}{\text{Energi dibutuhkan rumah}} \times 100\% \\ &= \frac{18,46W}{5,66KW} \times 100\% = 0,33\% \end{aligned}$$

Dari persamaan di atas kita ketahui kontribusi PLTS yang dibangun dengan kapasitas komponen yang ada energi yang dihasilkan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik pada rumah tinggal sebesar 5,25%.

G. Menghitung Kebutuhan PLTS 100%

a. Menghitung kapasitas inverter

Menentukan kapasitas inverter, *Future margin* merupakan persentasi beban tambahan, *margin* ini ditambahkan sebagai antisipasi peningkatan beban puncak sedangkan *error margin* adalah faktor *error* perhitungan yang ditambahkan dan *capacity factor* adalah nilai efisiensi kerja *inverter*. *future margin* dan *error margin* yang digunakan sebesar 10%. sedangkan *capacity factor* yang digunakan pada pengujian ini sebesar 50-60%.

Diketahui dari Tabel 6 didapatkan beban maksimal pengamatan bernilai 460W maka untuk dapat memenuhi kebutuhan beban puncak dari pengujian, kapasitas minimum inverter yang digunakan dapat dihitung menggunakan persamaan (11):

$$P = \frac{460 \times 1,1 \times 1,1}{0,6} = 927,67W$$

Berdasarkan *rating* minimum *inverter* yang dibutuhkan yaitu 927,67W, maka *inverter* 1000W yang telah digunakan pada penelitian ini sudah mencukupi untuk memenuhi kebutuhan listrik 100% pada rumah tinggal.

b. Menghitung kapasitas dan jumlah baterai

Kapasitas baterai dihitung berdasarkan acuan total beban yang akan disuplai. Diketahui dari Tabel

6 rata-rata pemakaian energi listrik rumah tinggal (E_L) sebesar 5660Wh. Besarnya kapasitas baterai yang digunakan dapat dihitung dengan mempergunakan persamaan (9) sebagai berikut:

$$Ah = \frac{E_L}{(\%Max DOD) \times (TCF) \times V_{baterai}} \times AD$$

Pada persamaan (9) terlihat bahwa kapasitas baterai dipengaruhi oleh pemakaian energi listrik (E_L), tingkat kedalaman pengosongan maksimum %Max DOD (*Depth of Discharge*), tegangan baterai yang digunakan pada sistem ($V_{baterai}$) dan AD (*Autonomy Days*). Tegangan baterai yang digunakan pada sistem ($V_{baterai}$) yang digunakan pada sistem menyesuaikan *rating* tegangan *input inverter* yaitu sebesar 12V dan persentasi DOD (*Depth of Discharge*) digunakan sebesar 100%, karena baterai digunakan secara maksimal.

Paramater lain yang mempengaruhi perhitungan kapasitas baterai adalah TCF (*Temperature Correction Factor*). TCF merupakan faktor koreksi temperatur yang mempengaruhi besarnya energi yang dihasilkan karena 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% sehingga kapasitas baterai yang dibutuhkan akan meningkat. Temperatur udara maksimum pada saat pengukuran adalah sebesar 40,78°C, dari data temperatur ini terlihat bahwa suhu di lokasi penelitian lebih tinggi dari suhu standar (25°C) sehingga ada perbedaan suhu sebesar 15,78°C dari suhu standar (25°C) dan akan mengurangi daya keluaran maksimum panel surya (P_{MPP}). Besarnya daya yang berkurang pada selisih suhu 15,78°C dari temperatur standarnya dapat dihitung menggunakan persamaan (1) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{\text{saat selisih } t \text{ } 15,78^\circ C} &= [(0,5\%/^\circ C) \times P_{MPP} \times t^\circ C] \\ &= [(0,5\%/^\circ C) \times 100 \times 15,79] \\ &= 7,90W \end{aligned}$$

Sedangkan untuk daya keluaran maksimum panel surya (P_{MPP}) pada saat temperaturnya 40,78°C dihitung dengan persamaan (2) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_{MPP \text{ saat selisih } t \text{ } 15,78^\circ C} &= P_{MPP} - P_{\text{saat } t \text{ naik}} \\ &= 100W - 7,90W \\ &= 92,11W \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan daya keluaran maksimum panel surya (P_{MPP}) pada saat terjadi selisih suhu 15,78°C, maka nilai TCF dapat dihitung dengan persamaan (10) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} TCF &= \frac{P_{MPP \text{ saat naik}}}{P_{MPP}} \\ &= \frac{92,11W}{100W} \\ &= 0,92 \end{aligned}$$

Apabila nilai E_L , $V_{baterai}$, %DOD, TCF disubstitusikan pada persamaan (9), maka akan diperoleh kapasitas total baterai yang dibutuhkan adalah sebesar :

$$Ah = \frac{E_L}{(\%Max DOD) \times (TCF) \times V_{baterai}}$$

$$= \frac{5660Wh/hari}{(1) \times (0,92) \times (12)} = 512,68Ah$$

Berdasarkan kebutuhan *ampere hour* dalam satu hari, dibutuhkan baterai dengan kapasitas baterai yang cukup besar, jika menggunakan baterai dengan kapasitas 42Ah, agar dapat memenuhi kebutuhan 512,68Ah/hari maka jumlah baterai yang diperlukan PLTS adalah sebanyak 13 buah baterai dengan dirangkai terhubung secara paralel.

c. Menghitung jumlah panel surya

Menghitung pembangkitan dan jumlah panel surya dengan menggunakan data primer rerata radiasi matahari tahun 2010-2011(BMKG).

Besarnya kapasitas pembangkitan panel surya dapat dihitung menggunakan persamaan (6) sebagai berikut:

$$P_{100}(Wp) = E_L \div PGF$$

Daya yang dibangkitkan PLTS (Wp) disesuaikan dengan kebutuhan beban yang akan disuplai serta dipengaruhi oleh faktor pembangkitan panel surya (PGF). PGF (*Panel Generation Factor*) dari hasil perhitungan menggunakan persamaan (7) dengan nilai referensi CE (*Collection Efficiency*) panel surya sebesar 64% (imron, 2013).

Nilai rata-rata tahun 2011 intensitas matahari di wilayah serang dan sekitarnya sebesar 4,40KWh/hari (BMKG). Apabila nilai CE dan rata-rata intensitas matahari disubstitusikan pada persamaan (7) diperoleh nilai PGF sebesar:

$$\begin{aligned} PGF &= CE \times Avrg \text{ Solar} \\ &= 0,84 \times 4,61kWh/hari \\ &= 2,95kWh/hari \end{aligned}$$

Berdasarkan nilai PGF sebesar 3,69kWh/hari dan pemakaian energi listrik (E_L) dalam pengamatan sebesar 5,66KWh maka kapasitas pembangkitkan panel surya (Wp) sebesar:

$$\begin{aligned} P_{100}(Wp) &= E_L \div PGF \\ &= 5,66 \div 2,95 \\ &= 1,91kWp \end{aligned}$$

Panel surya yang dipergunakan dalam pengujian memiliki spesifikasi daya keluaran maksimum panel surya (P_{MPP}) sebesar 100W, tegangan keluaran maksimum panel surya (V_{MPP}) sebesar 17,1V dan arus keluaran maksimum panel surya (I_{MPP}) sebesar 5,84A per panel sehingga berdasarkan perbandingan kapasitas pembangkitan dengan daya keluaran maksimum panel surya.

Maka jumlah panel surya yang diperlukan untuk dapat membangkitkan 1,91kWp menggunakan persamaan (8) adalah sebanyak:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah panel surya} &= \frac{P(Wp)}{P_{MPP}} \\ &= \frac{1,91kW}{100W} \\ &= 19,1 \sim 19 \text{ panel surya} \end{aligned}$$

Adapun 16 panel surya tersebut akan dibentuk menjadi rangkaian panel secara paralel agar sesuai dengan *rating* tegangan dan kapasitas pembangkitan. Banyaknya panel yang dirangkai

paralel akan menguatkan arus sehingga besarnya energi yang dihasilkan menjadi:

$$\begin{aligned} V_{MPP} \text{ array} &= 17,1V \\ I_{MPP} \text{ array} &= 5,84A \times 19 = 110,96A \\ P_{MPP} \text{ array} &= 17,1V \times 110,9A = 1,89kW \end{aligned}$$

Arus dan tegangan yang dihasilkan dari 16 dirangkaian cukup untuk menghasilkan energi yang dibutuhkan karena sudah dapat memenuhi nilai minimum dari kapasitas pembangkitan dan *rating* tegangan yang dibutuhkan.

d. Menghitung arus *solar charge controller*

Untuk menentukan kapasitas arus *charge controller* dibutuhkan daya yang dibangkitkan oleh panel surya serta tegangan yang akan digunakan, sehingga dapat mempergunakan persamaan (12) sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Jmax = I &= \frac{P_{Max}}{V_s} \\ &= \frac{1,91kWp}{12V} \\ &= 157,5A \end{aligned}$$

Berdasarkan persamaan diatas arus *charge controller* yang diperlukan PLTS sebesar 127,5A, atau dapat menggunakan arus *charge controller* dengan rating 200A.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Penelitian pemanfaatan energi matahari dan angin di rumah tinggal menghasilkan beberapa kesimpulan diantaranya:

1. Hasil pengujian panel surya menunjukkan daya keluaran maksimum panel surya (P_{MPP}) sebesar 92,11W pada selisih suhu 15,78°C dari suhu standar (25°C) saat posisi jam 13.00.
2. Pada pengujian PLTS terpasang baterai 42Ah teruji sebesar 17,28Ah atau 41,14% dari kapasitas sebenarnya, hal tersebut karena baterai yang digunakan tidak baru.
3. Hasil pengujian pada saing hari menunjukkan besarnya energi optimal yang dihasilkan PLTS adalah sebesar 297Wh/hari atau sebesar 5,25%, sedangkan kontribusi PLTB sebesar 14,48Wh atau sebesar 0,33% dari penggunaan listrik rumah tinggal.
4. Dari hasil pengujian untuk dapat memenuhi kebutuhan energi listrik 100% pada rumah tinggal, dibutuhkan baterai 1512,68Ah atau 13 buah baterai berkapasitas 42Ah, panel surya 19,1kWp atau 19 panel surya kapasitas 100Wp dirangkai paralel, dan *charge controller* berkapasitas 150A.

B. Saran

Masih terdapat kekurangan dalam penelitian ini sehingga perlu pengembangan agar menjadi lebih baik lagi. Terdapat beberapa saran diantaranya:

1. Perlu dilakukan pembangunan lebih lanjut menggunakan kapasitas yg lebih besar agar bisa memenuhi kebutuhan pasokan listrik yang lebih besar.
2. Perlu dilakukan studi lebih lanjut menggunakan inverter dengan gelombang sinus serta perlu dilakukan analisa sinkronisasi energi antar pembangkit pada sistem PLTH..

- System*. Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Padjadjaran.
- S. Kumara, N. (2010). *Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Skala Rumah Tangga Urban dan Ketersediaannya di Indonesia*. Jurusan Teknik Elektro Universitas Udayana.

DAFTAR PUSTAKA

- Imron. (2013). *Studi Pemanfaatan Energi Matahari Di Pulau Panjang Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Rosdiansyah. (2013). *Optimasi Energi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Di Pulau Panjang*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- Hardiansyah. (2012). *Perancangan Dual Axis Solar Tracker*. Tugas Akhir Jurusan Teknik Elektro Universitas Sultan Ageng Tirtayasa.
- 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.
- Bien, Kasim dan Wibowo. (2008). *Perancangan Sistem Hibrid Pembangkit Listrik Tenaga surya Dengan jala-jala Listrik PLN Untuk Rumah Perkotaan*. Jurnal Jurusan Teknik Elektro Universitas Trisakti Vol. 8. No. 1.
- Custer dan Lianda. (2012). *Analisa Pemanfaatan Energi Surya Sebagai Sumber Energi Pada Perumahan Kategori R1 900 VA Di Pulau Bengkalis*. Prosiding Seminar Nasiaonal Industri Teknologi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negri Bengkalis.
- Herlina. (2009). *Analisis Dampak Lingkungan dan Biaya Pembangkitan Listrik Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida di Pulau Sebesi Lampung Selatan*. Tesis Teknik Elektro Universitas Indonesia.
- Mintorogo, D. (2000). *Strategi Aplikasi Sel Surya (Photovoltaic Cells) pada Perumahan dan Bangunan Komersial*. Jurusan Arsitektur Fakultas Teknik Sipil Universitas Kristen Petra Surabaya.
- Aji (2014) *Rancang Bangun Sudu Savonius Sebagai Self Starting Turbin angin tipe hybrid Darrieus Savonius*. 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.
- Tamamadin, M. (2008). *Kajian Daerah Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (Studi Kasus di Wilayah Jawa Timur)*. Tugas Akhir Jurusan Meteorologi Fakultas Ilmu dan Teknologi Kebumian Institut Teknologi Bandung.
- Dwistya A, N. (2010). *Aplikasi Sel Surya Sebagai Energi Terbarukan Pembangkit Listrik Pada Solar Home*