

# ANALISIS KINERJA PEMBANGKIT LISTRIK ENERGI TERBARUKAN PADA MODEL JARINGAN LISTRIK MIKRO ARUS SEARAH

<sup>a</sup> Isdawimah, <sup>b</sup> Uno Bintang Sudiby, <sup>c</sup> Eko Adhi Setiawan

<sup>a</sup> Politeknik Negeri Jakarta <sup>bc</sup> Fakultas Teknik-Universitas Indonesia, Depok 16424

E-mail : <sup>a</sup> isdawimahpnj@gmail.com, <sup>b</sup> uno@eng.ui.ac.id, <sup>c</sup> ekoas@ee.ui.ac.id

## ABSTRACT

*This paper aims to analyze the performance of the Renewable Energy Power Plants which are consist of PLTS and PLTB 12V/100W that supplies power into DC microgrid. Before supplying the power, each power plant was tested in no-load and on-load conditions. On the DC microgrid is tested burden sharing between the PLTS and PLTB by considering the capacity of each battery. The PLTS's test results indicate that 12V 80W of solar cell that facing to the east direction on June 2010 was producing electric current in the largest average number (1.954 A) and charging the 12V, 45 Ah of battery for 23 hours, faster than if faced it to the other direction. The voltage decreased occurring on PLTS and PLTB by 9.4% and 8.4% of the nominal voltage of 12V when they burdened with 80% of nominal load 100W. This happens due to there was a battery impedance of 1,8  $\Omega$ . Load which connected into the direct current electricity micro grid, get the power supply from PLTS and PLTB on which each power plant equipped with the batteries at the same capacity 12V 45Ah. On no-load conditions, PLTS and PLTB charging the battery, while on loaded conditions, the electric current which generated by both power plants flowed into the load, with the division of electric power that supplied into the load depends on each battery's power. Power plants with a larger charging battery supplying power greater than the power plants with a smaller charging battery.*

### Keywords

*Renewable energy, microgrid, direct current, the performance*

## ABSTRAK

*Paper ini bertujuan untuk menganalisis kinerja dari Pembangkit Listrik Energi Terbarukan yang terdiri dari PLTS dan PLTB 12V/80W yang akan memasok daya ke jaringan listrik mikro arus searah. Sebelum memasok daya, masing-masing pembangkit diuji dalam kondisi tanpa beban dan berbeban. Pada jaringan listrik diuji pembagian beban antara PLTS dan PLTB dengan mempertimbangkan kapasitas baterai masing-masing. Hasil pengujian PLTS menunjukkan peletakan sel surya 12V, 80W ke arah timur pada bulan Juni 2010 menghasilkan arus rata-rata terbesar (1,954A) dan mengisi baterai 12V, 45Ah selama 23 jam, lebih cepat dibanding ke arah lain. PLTS dan PLTB mengalami penurunan tegangan sebesar 9,4% dan 8,4% dari tegangan DC nominal 12V pada saat dibebani 80% dari beban nominal 100W. Hal ini disebabkan adanya impedansi dari baterai sebesar 1,8  $\Omega$ . Beban yang terpasang pada jaringan listrik mikro arus searah memperoleh pasokan daya dari PLTS dan PLTB yang masing-masing dilengkapi baterai dengan kapasitas sama 12V, 45Ah. Pada kondisi tanpa beban, PLTS dan PLTB mengisi baterai, sedangkan pada kondisi berbeban, arus yang dihasilkan kedua pembangkit mengalir ke beban, dengan pembagian pasokan daya ke beban tergantung muatan baterai masing-masing. Pembangkit dengan baterai bermuatan besar memasok daya lebih besar dibanding pembangkit dengan baterai bermuatan lebih kecil.*

### Kata kunci:

*Energi terbarukan, jaringan listrik mikro, arus searah, kinerja*

## 1. PENDAHULUAN

Daya yang dihasilkan pembangkit listrik energi terbarukan umumnya tidak terlalu besar, kurang dari 1MW<sup>[1]</sup>. Untuk memperoleh daya yang lebih besar dapat dilakukan dengan cara memparalel beberapa pembangkit listrik energi terbarukan dan membentuk suatu jaringan listrik mikro, sehingga dapat melayani beban yang lebih besar dengan jumlah konsumen yang lebih banyak. Hal ini sangat bermanfaat bagi konsumen, karena kontinuitas pasokan daya ke konsumen lebih terjamin daripada hanya memperoleh daya dari satu pembangkit saja.

Jaringan listrik mikro adalah sistem penyedia sumber daya lokal yang menggunakan pembangkit listrik energi terbarukan dengan skala kecil, antara lain Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) untuk memasok kebutuhan daya beberapa lokasi, seperti wilayah industri, kompleks perumahan atau area pendidikan. Sistem ini dirancang untuk memasok daya listrik ke wilayah yang sulit dijangkau dan terisolir atau dapat dihubungkan dengan jaringan PLN.

Tegangan yang dihasilkan PLTS adalah tegangan arus searah (DC) tetapi dengan daya tidak kontinyu, karena tergantung pada intensitas cahaya matahari. Demikian juga PLTB, daya yang dihasilkan tidak kontinyu tergantung pada kecepatan angin. Untuk menjaga kontinuitas pasokan daya ke jaringan, maka daya yang dihasilkan PLTS dan PLTB disimpan kedalam baterai, yang kemudian disalurkan ke jaringan listrik mikro arus searah.

PLTS adalah pembangkit listrik yang mengubah energi cahaya matahari

menjadi energi listrik. Tegangan yang dihasilkan sel surya adalah tegangan DC yang dapat digunakan untuk berbagai keperluan, seperti: lampu penerangan rumah tangga, lampu penerangan jalan, lampu lalu lintas, pemancar, sinyal kereta api dan sebagainya. Selain itu PLTS juga dapat menghasilkan daya yang lebih besar, seperti kebutuhan daya listrik di perumahan, Base Transceiver Station (BTS). Seringkali PLTS ini dikombinasikan dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dan Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD) sehingga membentuk jaringan listrik mikro yang dikenal dengan microgrid. Jaringan ini juga dapat digabungkan dengan jaringan listrik yang tersedia.

PLTS terdiri dari sel surya, baterai, rangkaian pengisi baterai (BCR) dan inverter. Pada modul sel surya dapat dihitung daya terpasang menggunakan persamaan<sup>[3]</sup>:

$$P_{GPV} = V_{GPV} \times I_{GPV} (Wp) \quad (1)$$

Sedangkan jumlah susunan modul sel surya (N) yang terpasang adalah:

$$N = J_p \times J_s \quad (2)$$

Dengan :

$J_s$  = jumlah seri modul PV

$J_p$  = jumlah string modul PV

$P'_{GPV}$  = daya modul sel surya (Wp)

$V_{GPV}$  = tegangan modul sel surya (V)

$I_{MF}$  = arus maksimum modul PV (A)

Fungsi utama BCR adalah mengisi baterai menggunakan tegangan yang berasal dari sel surya, membatasi dan menghentikan arus yang mengalir bila kondisi baterai dalam keadaan penuh,

menghindari aliran balik arus listrik, mencegah beban berlebih dan hubung singkat

Inverter satu fasa adalah sebuah perangkat elektronik yang dapat mengubah atau mengkonversikan tegangan DC menjadi tegangan AC satu fasa. Inverter dapat digunakan sebagai catu daya darurat, catu daya tak terputus (UPS), pengendali kecepatan motor. Dalam melakukan penginstalasian inverter, tegangan dan kapasitas baterai sama dengan tegangan input pada inverter, karena jika tegangan pada baterai lebih rendah (kecil) maka inverter tidak akan bekerja dengan normal.

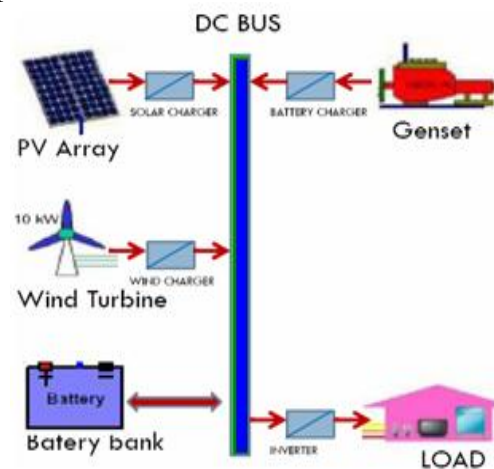
Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) adalah suatu teknologi pembangkit listrik yang mengubah energi angin menjadi energi listrik. Dengan mengetahui variasi harian dari kecepatan angin, dapat diketahui kapan angin bertiup kencang dalam satu hari, sehingga dapat digunakan untuk menentukan berapa jam dalam sehari energi angin di daerah tersebut dapat digunakan untuk menggerakkan turbin.

Secara umum PLTB terdiri dari beberapa bagian:

1. Kincir angin: Kincir dikopel dengan generator dan dapat berputar bila angin mengenainya dengan kecepatan tertentu.
2. Generator: Generator akan menghasilkan tegangan bila kincir berputar. Jenis tegangan yang dihasilkan tergantung pada jenis generator, antara lain: generator DC, generator AC satu fasa dan tiga fasa.

Jaringan listrik mikro adalah jaringan pemasok daya listrik dengan kapasitas kurang dari 1MW<sup>[1]</sup>, biasanya terdiri dari beberapa pembangkit listrik energi terbarukan, seperti PLTS, PLTB dan mikro hidro. Berdasarkan sambungan ke jaringan listrik yang besar (*grid*), maka ada dua jenis jaringan listrik mikro, yaitu

*off-grid* dan *on-grid*. Dalam sistem *off-grid*, tidak ada jaringan utilitas untuk menyediakan cadangan daya. Sistem bergantung sepenuhnya pada kemampuan menghasilkan energi dan cadangan penyimpanan energi dari baterai (Gambar 1). Konfigurasi *off-grid* ini paling sering digunakan di lokasi terpencil di mana tidak ada akses ke jaringan utilitas. Sedangkan dalam sistem *on-grid* energi yang dihasilkan digunakan secara lokal, apabila



Gambar 1. Jaringan listrik mikro *off-grid*

terdapat kelebihan energi dapat dijual ke layanan utilitas. Jika tidak ada energi yang dihasilkan, misalnya di malam hari, pasokan daya diambil dari jaringan utilitas. Jadi jaringan utilitas digunakan sebagai *back-up* ke sistem jaringan listrik mikro dan diperlukan pengaturan secara otomatis untuk melakukan semua kontrol dan fungsi *switching*.

Keuntungan jaringan listrik arus searah antara lain<sup>[8]</sup>:

- a) Saluran udara dan kabel DC lebih murah dari pada saluran udara dan kabel AC. Jarak impas keduanya adalah sekitar 500 mil untuk saluran udara, (15 - 30 ) mil untuk kabel bawah laut, (30 - 60) mil untuk kabel bawah tanah.

- b) Kondisi rugi korona dan radio interferensi lebih baik pada saluran DC dibandingkan saluran AC
- c) Faktor daya saluran DC selalu sama dengan satu (1), tidak dibutuhkan kompensasi daya reaktif.
- d) 4. Panjang saluran tidak dibatasi oleh stabilitas karena tidak dibutuhkan operasi sinkron
- e) 5. Rugi saluran DC lebih kecil daripada saluran AC untuk saluran yang sebanding.

## **2. METODOLOGI**

Pengujian PLTS tanpa beban dilakukan pada bulan Mei-Juni 2010 dengan menghubungkan secara paralel 4 buah sel surya 12V, 20W (Gambar 2). Tegangan DC yang dihasilkan sel surya, yang bervariasi akibat perubahan intensitas cahaya matahari, diberikan ke baterai melalui rangkaian pengisi baterai, sehingga mengalir arus ke baterai. Data yang diperoleh adalah: waktu pengambilan data, intensitas cahaya matahari, tegangan AS, arus pengisian baterai, dan temperatur sel surya. Pengambilan data untuk satu arah sel surya dilakukan selama 1 hari dengan jumlah jam berbeda, tergantung kondisi alam, bila hujan tiba pengambilan data dihentikan. Sedangkan pencatatan data dilakukan secara manual setiap 5 atau 10 menit sekali. Waktu mulai pengambilan data rata-rata pukul 8.30 pagi dan berakhir pukul 15.00.

Jaringan listrik mikro diuji dalam kondisi tanpa beban dimana PLTS dan PLTB menghasilkan arus yang mengalir ke baterai dan tidak ada beban terpasang pada jaringan. Hal ini terjadi selama ada cahaya matahari dan angin.

PLTB diuji dalam kondisi berbeban dengan cara menghubungkan baterai ke inverter lalu ke beban AC yang divariasikan dayanya dan diukur besar

daya DC yang dikeluarkan PLTB dan penurunan tegangan DC

## **2. HASIL DAN PEMBAHASAN.**

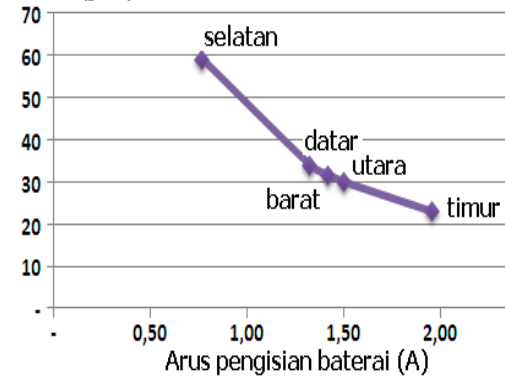
Pada saat pengambilan data cuaca sedang tidak menentu, perubahan dari cerah ke mendung dan sebaliknya sering terjadi, dimana intensitas cahaya matahari berfluktuasi setiap waktu. intensitas tertinggi diperoleh pada pukul 9.40-12.30, sedangkan terendah pukul 13.00-15.00. Demikian juga arus yang dihasilkan mengikuti fluktuasi intensitas cahaya, dimana semakin besar intensitasnya semakin besar juga arusnya. Selain itu perubahan intensitas diikuti oleh perubahan temperatur sel surya, sedangkan tegangan cenderung tetap. Gambar 2(a), 2(b) dan 2(c) menunjukkan pengukuran intensitas cahaya matahari dan keluaran dari solar cell.



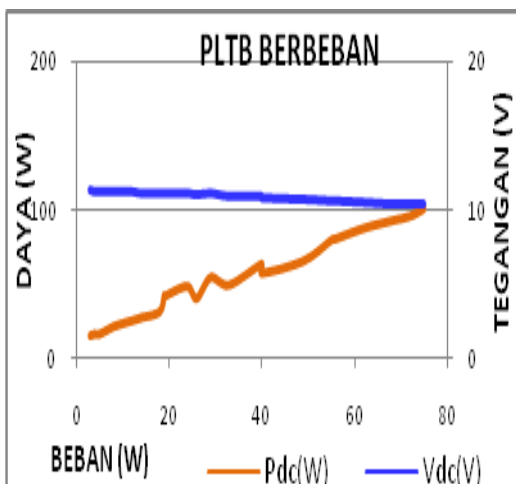
Gambar 2a. Pengujian Solar Cell.



Gambar 2b. Intensitas Cahaya Matahari. Waktu (jam)



Gambar 2c. Hasil uji PLTS Tanpa Beban



Gambar 3. Hasil uji dengan beban .

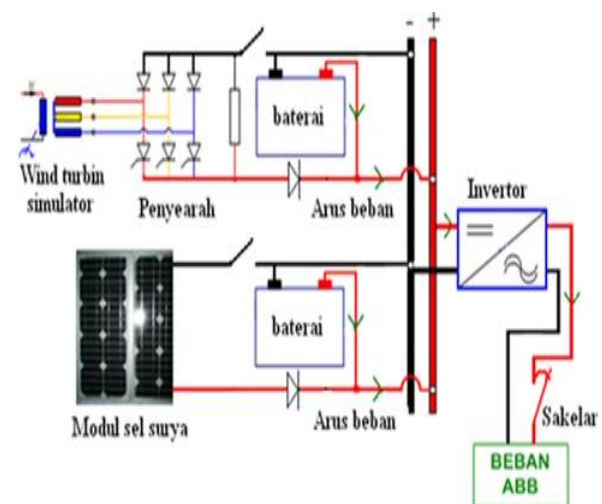
Pada Gambar 3 di atas terlihat tegangan semakin turun dengan

bertambahnya beban. Pada saat dibebani 80W terjadi penurunan tegangan sebesar:  

$$\%Vd = (11,5-10,5) \times 100\%/11,5$$

$$= 8,7\%$$

Kemudian jaringan listrik memasok daya ke beban pada pagi hingga sore hari. Hal ini diperlihatkan dengan adanya arus yang berasal dari PLTS dan PLTB selama 6 jam. Arus ini tidak mengalir ke baterai melainkan ke beban. Demikian juga arus dari kedua baterai mengalir ke beban. Jadi pada pagi hingga sore hari PLTS dan PLTB menghasilkan arus tetapi baterai tidak terisi. Gambar 4 menunjukkan jaringan listrik sedang memasok daya ke beban (sakelar beban pada posisi ON) pada malam hingga pagi hari, dimana PLTS dan PLTB tidak menghasilkan arus (sakelar PLTS dan PLTB pada posisi OFF). Dalam kondisi ini semua arus mengalir ke beban dan tidak terjadi pengisian baterai. Arus beban sekitar 4,4A lebih besar dibanding arus yang dihasilkan PLTS (0,311-2,87A) dan PLTB (0,3-1,3A). Hal ini menyebabkan tidak terjadi pengisian baterai pada saat jaringan berbeban. Ditunjukkan oleh Gambar 4(a) dan 4 (b)

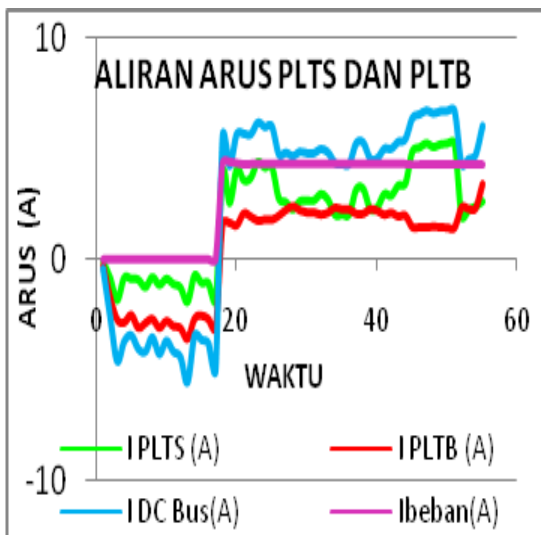


Gambar 4(a) Rangkaian Pengujian Jaringan Listrik.





Gambar 4b. Pengujian jaringan listrik mikro



Gambar 5. Aliran arus PLTS dan PLTB

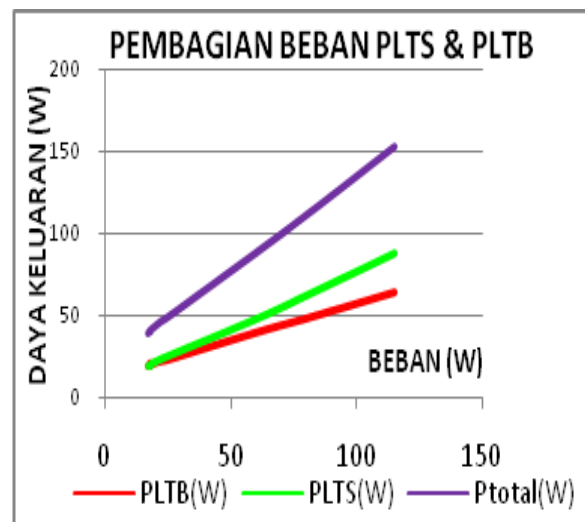
Dari Gambar 5 di atas diperoleh dari pengujian jaringan listrik tanpa beban dan berbeban konstan 80W dengan muatan baterai berbeda, PLTS 90% dan PLTB 70% dari kapasitas nominal 45Ah. Kondisi tanpa beban digambarkan dengan posisi beban (garis ungu) digaris nol dan terlihat arus pengisian PLTB yang diperoleh dari generator (garis merah), sedangkan arus pengisian PLTS bervariasi tergantung intensitas cahaya matahari (garis hijau), keduanya bernilai negatif

dan mengalir ke baterai, selain itu diperoleh arus pengisian dari jaringan listrik mikro bernilai negatif yang mengalir ke baterai (biru). Jadi dalam kondisi tanpa beban terjadi pengisian arus ke baterai. Kondisi berbeban digambarkan pada menit ke 17, dimana beban naik dari 0 - 4,4A dan arus dari PLTS maupun PLTB berbalik arah menjadi positif dan bersama-sama dengan arus dari baterai mengalir ke beban. Jadi dalam kondisi berbeban tidak terjadi pengisian baterai meski PLTS dan PLTB menghasilkan arus,

Pada saat berbeban arus yang mengalir di jaringan lebih besar dibanding arus beban. Bila selisih arus ini dikalikan dengan tegangan, maka dapat dihitung rugi daya yang terjadi pada jaringan.

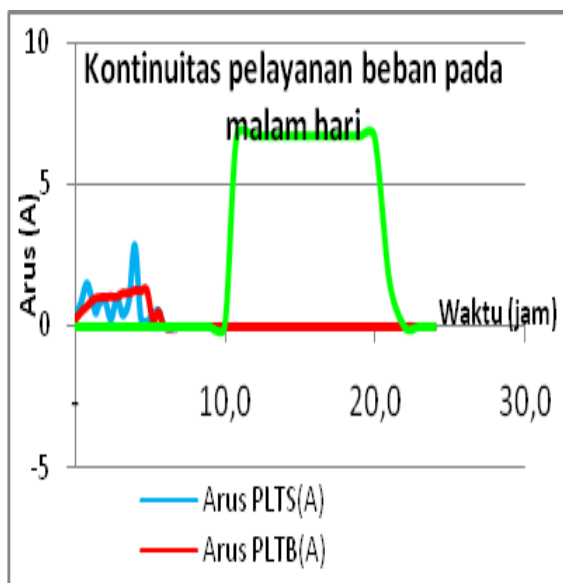
Hasil pengujian jaringan listrik dalam kondisi berbeban tetapi dengan muatan baterai yang berbeda antara PLTS dan PLTB nampak pada Gambar 6. Dalam hal ini beban divariasikan nilainya (0 – 80W) dan diukur daya yang dipasok PLTS dan PLTB. Hal ini dimaksudkan untuk mengetahui pembagian beban oleh kedua pembangkit energi terbarukan.

Pembagian beban antara PLTS dan PLTB sangat tergantung muatan baterai masing-masing, dalam hal ini kapasitas nominal kedua baterai sama 12V, 45Ah.



Gambar 6. Pembagian beban

Dengan muatan baterai sama (90% dari kapasitas nominal) diperoleh pasokan daya dari PLTS (garis hijau) dan PLTB (garis merah) hampir sama besar. Hal ini tidak berlaku apabila muatan salah satu baterai lebih rendah dari lainnya, sebagai contoh PLTB dengan muatan baterai 70% lebih kecil dibanding PLTS dengan muatan 90%, maka PLTB memasok daya lebih kecil dibandingkan dengan PLTS ditunjukkan oleh Gambar 6.



Gambar 7. Kontinuitas pelayanan beban

Gambar 7 merupakan hasil pengujian kontinuitas pelayanan beban dengan dua kondisi, yaitu pengujian jaringan listrik berbeban pada siang hari dimana PLTS dan PLTB menghasilkan arus (garis merah dan biru) dan pengujian jaringan listrik berbeban pada malam hari dimana PLTS dan PLTB tidak menghasilkan arus. Arus pengisian baterai PLTS bervariasi (0,311-2,87A) dan PLTB juga bervariasi (0,3-1,3A) selama 6 jam (pukul 08.00-14.00). Jaringan listrik dibebani secara konstan sebesar 6,7A dengan kondisi baterai terisi penuh. Bila beban dihubungkan ke jaringan listrik pada siang hari (garis ungu), maka muatan baterai akan habis dalam waktu 13 jam

lebih lama dibandingkan bila beban dihubungkan ke jaringan listrik pada malam hari (garis hijau). Hal ini disebabkan pada siang hari diperoleh arus tambahan dari PLTS dan PLTB, selain arus dari baterai masing-masing pembangkit. Sedangkan pada malam hari arus hanya diperoleh dari baterai, sehingga waktu pelayanan beban menjadi lebih singkat (10 jam).

## 5. KESIMPULAN

- 1) Jaringan listrik mikro arus searah disimulasikan dengan PLTS dan PLTB dapat memasok daya selama 13 jam untuk daya maksimum 80 Watt.
- 2) Pada kondisi tanpa beban, arus pengisian baterai PLTS bervariasi (0,311-2,87A) tergantung intensitas cahaya matahari dan arus pengisian baterai PLTB bervariasi (0,3-1,3A) tergantung kecepatan angin. PLTS dan PLTB masing-masing dilengkapi baterai dengan kapasitas 12V, 45Ah. Baterai PLTS mengalami penurunan tegangan sebesar 9,4% dan baterai PLTB 8,7% pada saat dibebani 80W. Hal ini disebabkan adanya impedansi baterai sebesar 0,16 $\Omega$ .
- 3) Peletakan modul sel surya 12 V, 80W ke arah timur pada bulan Juni 2010, menghasilkan arus pengisian baterai rata-rata maksimum 1,954 A, sehingga waktu pengisian baterai 12V, 45Ah adalah sekitar 23 jam, lebih singkat dibandingkan ke arah lain.

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1.] Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Nomor 1122 Tahun 2002 tentang "Pedoman Pengusahaan Pembangkit Tenaga Listrik Skala Kecil Tersebar"
- [2.] BPPT, Perkembangan Energi Sel Surya di Indonesia, <http://www.bppt.go.id>
- [3.] Tom Markvart & Luis C (2003). Practical Handbook of Photovoltaics Fundamental and Application. Great Britany Elseiver Ltd.
- [4.] Ikbal (2006). *Interkoneksi Sistem Photovoltaic dengan Grid*. [students.ee.itb.ac.id/~ikbal04/paper](http://students.ee.itb.ac.id/~ikbal04/paper)
- [5.] Rinaldy, D. Dr. Ir., Fuad Faisal. (1996). Studi Desain Sistem Pompa Fotovoltaik dengan kajian penerapan di lingkungan Kampus U.I Depok. Laporan Penelitian Laboratorium Sistem Tenaga Listrik U.I
- [6.] Kala Meah\*, Steven Fletcher, Sadrul Ula, and Steven Barrett (2007). Integrating Wind and Solar Electric Energy into Power System Teaching. Electrical and Computer Engineering Department, University of Wyoming
- [7.] Cyril W Lander. (1981). Power Electronic. Mc Graw-Hill Book Company Limited
- [8.] D. Sudarmadi, dkk. (2006). DC Interconnection between Java and Sumatera, in Indonesia. Prosiding Power Systems Conference and Exposition
- [9.] Isdawimah, Ismujiyanto (2009). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Surya Portable untuk Daerah Terpencil. Penelitian yang didanai Politeknik Negeri Jakarta
- [10.] Solar electric supply. (2009). Product and price for solar panel solarex MSX-60. <http://www.solarelectricsupply.com/SolaPanels/Solarex/MSX-60.html>
- [11.] Prastawa, Andika., PLTS Sebagai Sumber Daya Listrik Alternatif, Pusat Teknologi Konservasi Energi, Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, Jakarta, Oktober 2008
- [12.] Joseph Kenfack, et.al., 2009. Microhydro-PV-Hybrid System: Sizing a Small Hydro-PV-Hybrid System for Rural Electrification in Developing Countries. Renewable Energy Vol. 34, page: 2259-2263