

Pemantauan Lapangan Sistem Penerangan Tenaga Surya 6 x 50 Wp di Sleman

(Field Monitoring of 6 x 50 Wp Solar Lighting System (SLS) in Sleman)

MUHAMMAD NADJIB

ABSTRACT

Solar module and battery are important components in photovoltaic systems. These components have higher investment cost compared to controller device, lamp, cable, and the frame. Currently, there are six of 50 Wp of solar lighting systems (SLS) installed for cowshed lighting purpose in Sleman. The aim of this research is to investigate the pattern of electricity usage in SLS and to assess its performance, especially in the solar modules and their batteries after two months period of operation. The output voltage and current of solar module, the voltage of charging battery, the load consumption time, and the battery voltage at the end of charging and discharging were measured. The data were analyzed to determine the output power of solar module, average daily load, system performance ratio, and battery performance. It was revealed that the average daily load and performance ratio are 7.26 Ah/day and 49% respectively. Whilst at the end of charging of the battery is 100%, the maximum depth of discharge is 18.03% and its average efficiency is 59.85%. Overall, the SLSs have been well-operated; the solar module has produced electricity and all of the batteries were fully charged from the daily sunlight. However, it appears that the level of electric energy usage is still low. To increase the SLS's efficiency it is recommended to optimize the usage of the produced electricity by intensifying livestock handling during night time. This solution also needs periodical monitoring of the SLSs which in turn will increase their lifetime.

Keywords: photovoltaic, solar lighting system, solar module, battery, electric energy

PENDAHULUAN

Sejak tahun 1988 Indonesia telah memulai penggunaan energi matahari untuk program elektrifikasi pedesaan. *Pilot project* program ini dilakukan di Sukatani, Jawa Barat yaitu dengan memasang *solar home system* (SHS) dan lampu jalan tenaga surya (Reinders et al., 1999). Sistem ini menggunakan teknologi fotovoltaik (*photovoltaic*, PV) dimana radiasi matahari yang menimpa modul surya dapat menghasilkan listrik DC secara langsung (Anonim, 1991). Komponen utama sistem PV adalah modul surya, *battery charge controller* (BCR), baterai, lampu beban DC dan inverter untuk melayani beban AC.

Menurut Jasser (2010), sistem PV diklasifikasikan berdasarkan sistem koneksi dengan sumber daya yang lain, yaitu sistem terpisah (*stand-alone*, SA) dan sistem utilitas-

interaktif (*utility-interactive*, UI). Tipe SA didesain untuk beroperasi secara terpisah dengan utilitas jaringan listrik. Sedangkan untuk tipe UI, daya listrik diperoleh dari jaringan listrik untuk menambah keluaran sistem bila diperlukan dan diberikan ke utilitas jika energi keluaran modul melebihi kapasitas pemakaian. Nieuwenhout et al. (2000) menyatakan bahwa untuk sistem listrik tenaga surya harga energi yang dihasilkan tiap kWh adalah mahal. Harga awal sistem PV lebih tinggi dibanding alat lain seperti generator skala kecil, namun harga operasional sistem PV relatif lebih rendah. Tingginya harga awal ini disebabkan mahalnya harga modul surya baik untuk tipe SA maupun tipe UI (Nieuwenhout et al., 2001). Nieuwenhout et al. (2000) menyatakan bahwa harga baterai sistem PV jauh lebih mahal daripada alat kontrol baterai dan lampu. Menurut perkiraan Lorenzo (1997), harga baterai lebih kurang

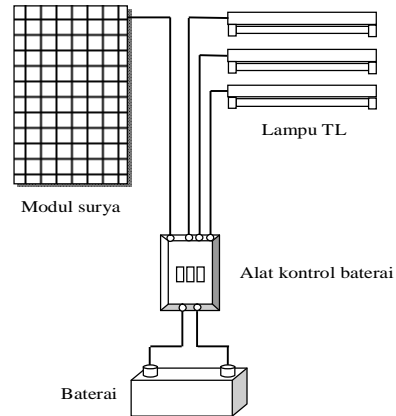
13% dari harga awal investasi. Mahalnya baterai juga dinyatakan oleh Jossen et al. (2004) serta Gustavsson dan Mtonga (2005), yaitu bahwa baterai berpotensi menyebabkan tingginya biaya operasional. Jossen et al. (2004) menyebutkan bahwa bila umur baterai kurang dari 3,5 tahun maka baterai menjadi komponen yang termahal pada sistem PV. Huacuz et al. (1995) memprediksikan bahwa baterai adalah komponen terlemah pada sistem PV, karena baterai dapat rusak akibat *overcharging* dan *overdischarging* serta operasional dan pemeliharaan yang tidak tepat. Sedangkan BCR adalah fraksi kecil dalam harga sistem PV yaitu sebesar 5% (Nieuwenhout et al., 2001). Mengingat mahalnya harga modul surya dan tingginya biaya operasional baterai maka Jossen et al. (2004) menyatakan pentingnya pengontrolan strategis aplikasi sistem PV.

Pemantauan lapangan ini dilakukan pada sistem penerangan tenaga surya (SPTS) tipe SA yang digunakan untuk penerangan kandang ternak sapi. Jumlah instalasi yang terpasang adalah 6 unit. Tegangan kerja SPTS adalah 12 V. Semua unit SPTS terdapat 3 titik lampu kecuali ada satu unit yang melayani 4 titik sehingga jumlah titik lampu adalah 19. Setelah SPTS terpasang selama dua bulan, perlu diadakan pemantauan lapangan untuk mengetahui sejauh mana pola pemakaian energi listrik dan unjuk kerja sistem. Pemantauan ini dibatasi pada modul surya dan baterai mengingat pentingnya dan mahalnya komponen tersebut. Hasil pemantauan dapat menjadi acuan dalam operasional dan pemeliharaan SPTS serta menjadi referensi untuk pemantauan sistem berikutnya.

METODE PENELITIAN

Alat Penelitian

Alat yang digunakan pada penelitian ini adalah instalasi SPTS berjumlah 6 unit, *auto-ranging digital multimeter*, dan timer. Spesifikasi teknis tiap unit SPTS tertera pada Tabel 1, sedangkan skema instalasi SPTS seperti pada Gambar 1.



GAMBAR 1. Skema instalasi SPTS

Pelaksanaan Penelitian

1. Mengukur tegangan dan arus dari modul surya

Penelitian diawali dengan mengukur tegangan dan arus yang keluar dari modul surya untuk semua SPTS secara bersamaan. Pengukuran dilakukan di terminal input pada BCR agar data terukur adalah besaran yang nyata diterima sistem. Data diambil selama dua hari antara pukul 09.00 sampai pukul 15.00. Pada langkah ini juga diukur tegangan baterai yaitu tegangan saat *charging*.

TABEL 1. Spesifikasi teknis komponen utama SPTS

No.	Komponen	Spesifikasi Teknis	Keterangan
1	Modul surya	BP 350J <i>polycrystalline</i> 50 watt peak (Wp), 12 V (nominal) Luas: 0,45 m ² , η: 11,1%	
2	Baterai	Tipe <i>Low Maintenance Accessible</i> 70 Ah, 12 V	<i>Lead calcium expanded grids</i>
3	BCR	BM 612, 12 V, 8 A (maksimal)	
4	Lampu	TLD 10 W jumlah 3 buah	Inverter di dalam armatur

Tegangan baterai saat awal pemakaian diukur pada sore hari pukul 17.30, sedangkan tegangan baterai saat akhir pemakaian diukur pada pukul 05.00. Waktu pengukuran dipilih dengan pertimbangan bahwa pada baterai tidak terjadi proses *charging*. Pelaksanaan pengukuran ini dilakukan bersamaan dengan langkah 1 dan 2 di atas. Sebelum dilakukan tes, beban diaktifkan selama 15 menit kemudian koneksi kabel pada terminal baterai dilepas agar hasilnya tidak dipengaruhi oleh rugi-rugi elektrikal sistem.

Analisis Data

Data yang diperoleh dari pengukuran tegangan dan arus dari modul surya digunakan untuk mengetahui daya yang dihasilkan oleh modul surya untuk tiap unit SPTS. Kondisi perolehan daya pada sistem dapat diketahui selama *charging*. Tegangan baterai rata-rata saat *charging* juga dicari untuk mengetahui *performance ratio*.

Berdasarkan data nyala tiap lampu, dicari rata-rata penyalan tiap lampu. Hasilnya digunakan untuk mengetahui profil penyalan 19 lampu. Kemudian dihitung energi harian (dalam Wh) yang dikeluarkan tiap lampu dan untuk tiap unit SPTS serta mencari jumlah energi harian yang dihasilkan oleh modul surya. Kapasitas energi harian (Ah) untuk menyalakan tiap lampu dan tiap unit SPTS juga dihitung, yaitu berdasar arus dan lama waktu lampu menyala. Dari energi yang dikeluarkan tiap baterai (Ah), tegangan baterai rata-rata saat *charging* dan jumlah energi yang diproduksi oleh SPTS maka ditentukan *performance ratio* tiap SPTS.

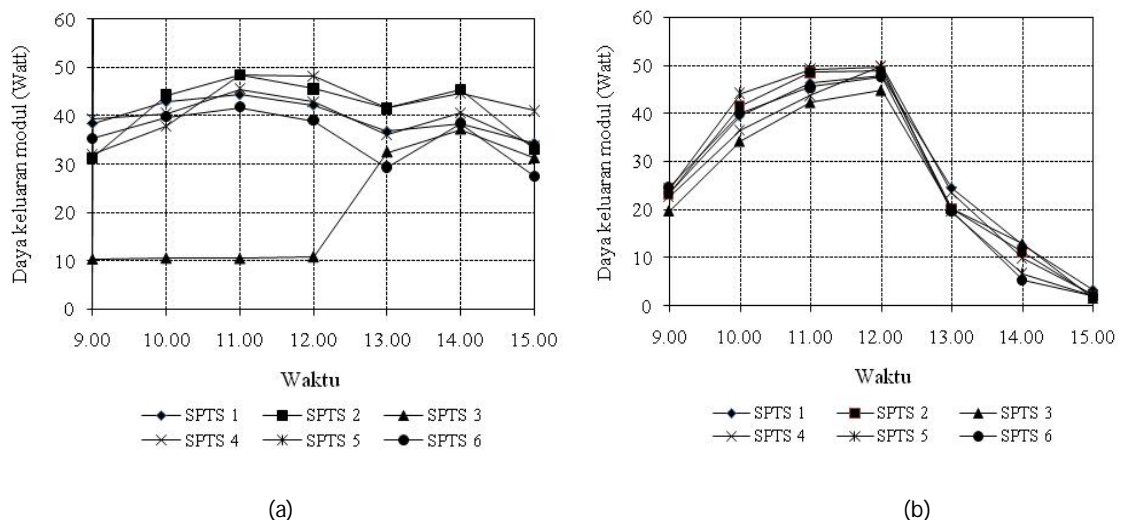
Dari hasil pengukuran tegangan baterai saat awal dan akhir pemakaian dapat diketahui tegangan dan kapasitas baterai saat akhir *charging* dan akhir *discharging*. Data ini untuk mencari *state of charge* (SOC) dan total *discharging* baterai sehingga diketahui *depth of discharge* (DOD) nya. Data ini juga dapat menentukan efisiensi baterai berbasis arus. Berdasar jumlah energi yang diterima baterai setelah *charging*, jumlah energi sebelum *charging* dan energi yang dikeluarkan untuk beban maka dapat ditaksir rugi-rugi energi pada sistem baterai.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya Keluaran Modul Surya

Energi listrik yang dihasilkan oleh modul surya untuk semua SPTS ditampilkan pada Gambar 2.

Dari Gambar 2 diketahui bahwa terjadi fluktuasi daya keluaran modul yang disebabkan oleh besarnya intensitas radiasi matahari yang berubah-ubah. Besarnya daya modul untuk SPTS unit 3 pada hari pertama sampai dengan pukul 12.00 sangat rendah. Setelah dicek ternyata permukaan modul surya berdebu dan terdapat kotoran burung. Setelah dilakukan pembersihan, daya yang dihasilkan normal sebagaimana SPTS lainnya. Kotoran di modul surya berkontribusi secara signifikan terhadap perolehan daya



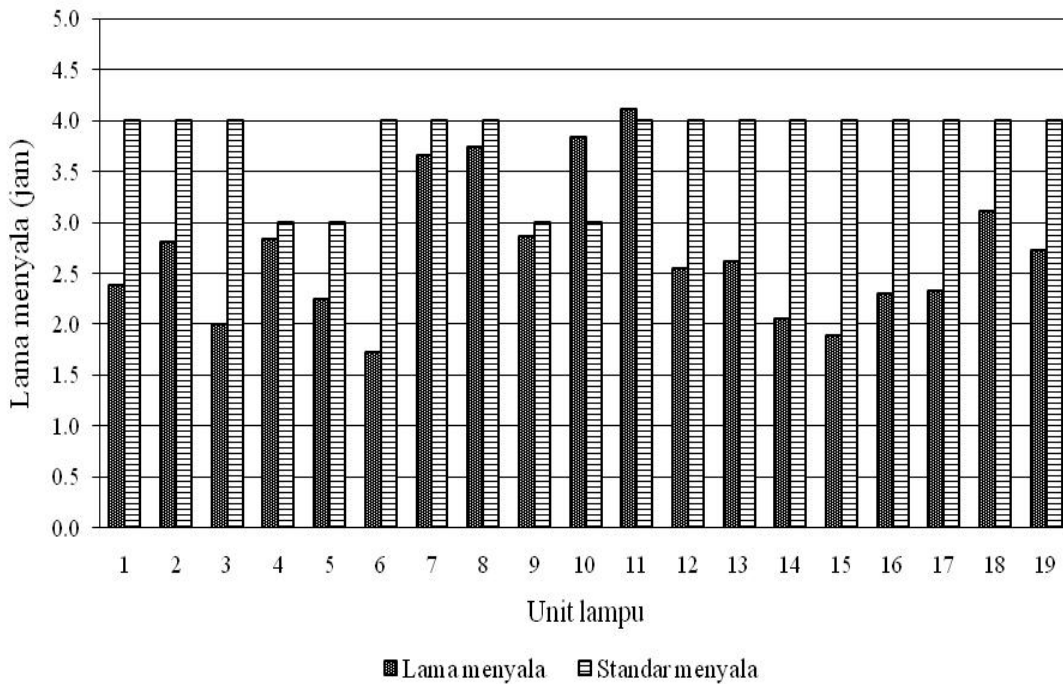
GAMBAR 2. Daya keluaran modul, (a) tanggal 28 Oktober 2011 dan (b) tanggal 29 Oktober 2011

Studi yang telah dilakukan oleh Al-Hasan (2005) ditemukan bahwa arus hubung singkat (*short-circuit*) dan daya keluaran maksimum modul surya berkurang signifikan apabila permukaannya terhalang benda. Terjadinya penurunan daya yang tajam pada hari kedua setelah pukul 12.00 karena saat itu hujan. Daya modul maksimum selama pengamatan mendekati daya nominal produk yaitu 50 watt (Anonim, 2009). Berdasar hasil pengamatan diketahui bahwa semua modul surya telah berfungsi baik menghasilkan listrik. Adanya perbedaan daya keluaran tiap SPTS dapat disebabkan oleh faktor internal dan eksternal. Faktor internal antara lain rugi-rugi energi pada sistem pengkabelan dan konversi dari sistem DC ke AC. Faktor eksternal meliputi kondisi cuaca, temperatur udara sekitar dan adanya

kotoran. Kondisi yang ada adalah letak SPTS saling berjauhan sehingga dimungkinkan intensitas radiasinya berbeda.

Beban Harian dan Performance Ratio SPTS

Beban harian menunjukkan jumlah energi yang digunakan untuk menyalakan lampu. Dari pemantauan lapangan dihasilkan profil penyalaan semua lampu di kandang ternak sebagaimana pada Gambar 3. Sedangkan letak lampu di unit SPTS diberikan pada Tabel 2. Berdasar Gambar 3 kelihatan bahwa lama menyala semua lampu berbeda-beda. Nadjib et al. (2010) melaporkan bahwa lampu didesain menyala dengan standar 4 jam untuk SPTS dengan 3 buah lampu dan 3 jam untuk SPTS dengan 4 buah lampu.



GAMBAR 3. Profil penyalaan lampu rata-rata

TABEL 2. Pembagian lampu dalam unit SPTS

Lampu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
SPTS	Unit 1			Unit 3		Unit 2			Unit 3		Unit 4			Unit 5			Unit 6		

Menurut Gambar 3, semua lampu menyala di bawah waktu standar kecuali lampu 10 yang menyala selama 3,83 jam dan lampu 11 menyala 4,11 jam dimana waktu tersebut melebihi standar menyala. Penyebab kejadian ini adalah pemahaman peternak tentang pemakaian lampu yang kurang.

Untuk mengetahui apakah nyala lampu 10 dan lampu 11 mengganggu unjuk kerja sistem maka perlu dicek energi harian yang diperoleh tiap unit SPTS. Lampu 7 dan lampu 8 mempunyai rata-rata menyala yang tinggi. Hal ini disebabkan lokasi tersebut digunakan untuk aktivitas pengelolaan pupuk dimana tingkat pemakaiannya tinggi. Dari Gambar 3 diketahui bahwa penyalan lampu rata-rata harian adalah 2,75 jam. Rendahnya harga ini disebabkan oleh aktivitas tiap kandang yang berbeda-beda setiap malamnya.

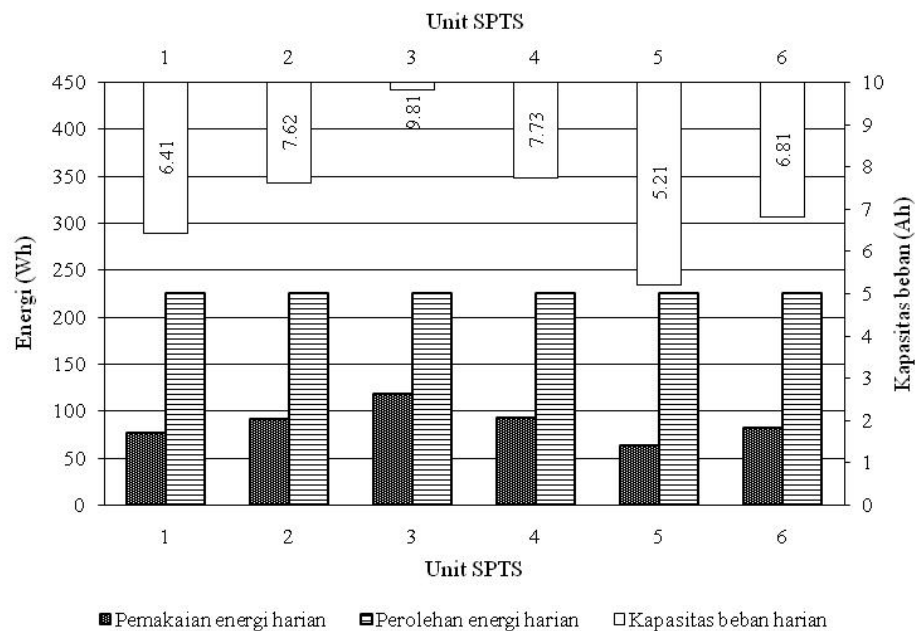
Gambar 4 menunjukkan energi harian yang diterima modul surya dan yang dikeluarkan baterai karena pemakaian lampu. Energi keluaran modul surya (W_{PV}) dihitung berdasar acuan dari Reinders et al. (1999).

$$W_{PV} = H_{i,ref} \cdot \eta_{STC} \cdot A_{PV} \quad (1)$$

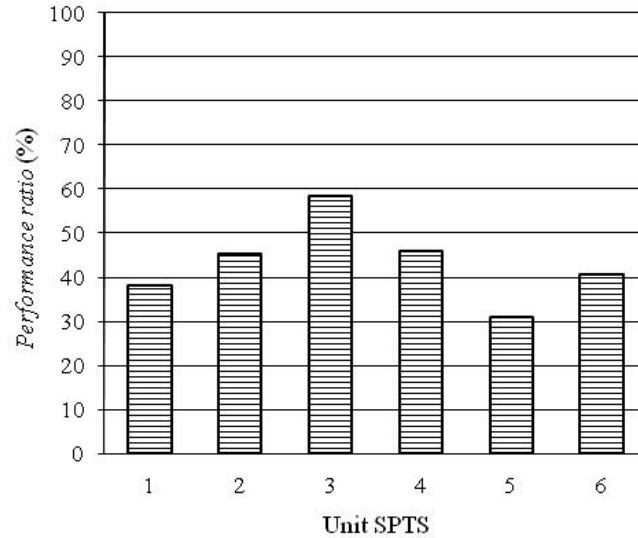
dengan $H_{i,ref}$ = insolasi harian matahari ($W \cdot jam/m^2/hari$), η_{STC} = efisiensi modul surya pada standar pengujian (%), dan A_{PV} = luas

permukaan modul surya (m^2). Harga insolasi di DIY adalah sebesar $4,5 \text{ kWh}/m^2/hari$ (Sugiyono, 2010), sedangkan harga besaran yang lain mengacu dari spesifikasi teknis produk yang digunakan. Hasil perhitungan diperoleh energi yang dihasilkan modul adalah $224,78 \text{ W} \cdot jam/hari$. Harga ini adalah energi maksimum yang dapat dihasilkan modul surya.

Pada Gambar 4 diketahui bahwa pemakaian energi harian tiap unit SPTS lebih rendah daripada energi yang tersedia. Pemakaian energi minimal sebesar $62,5 \text{ Wh}/hari$ (SPTS unit 5) dan maksimal $117,8 \text{ Wh}/hari$ (SPTS unit 3) dengan rata-rata $87,18 \text{ Wh}/hari$. Sedangkan kapasitas beban yang terjadi dengan rata-rata $7,26 \text{ Ah}/hari$. Harga kapasitas beban ini lebih rendah dari yang diprediksi Nadjib et al. (2010) yaitu $10 \text{ Ah}/hari$. Kejadian nyala lampu 10 (SPTS unit 3) dan lampu 11 (SPTS unit 4) yang melebihi standar waktu penyalan ternyata tidak menjadi masalah karena energinya jauh di bawah ketersediaan energi. Rendahnya pemakaian energi SPTS di kandang ternak ini terjadi karena hanya dipakai dalam waktu tertentu saja. Hal yang sama juga terjadi pada instalasi SHS. Penelitian yang pernah dilakukan Suhono (2009) menghasilkan kesimpulan bahwa penggunaan daya listrik dari SHS yang telah terpasang di wilayah Yogyakarta belum optimal.



GAMBAR 4. Energi harian SPTS



GAMBAR 5. Performance ratio SPTS

Pada Gambar 5 disajikan *performance ratio* (PR_i) SPTS yang didefinisikan sebagai tingkat penggunaan energi untuk beban berbasis arus terhadap energi yang dihasilkan modul surya (Reinders et al., 1999) dan dicari dengan persamaan sebagai berikut:

$$PR_i = \frac{E_{I,LOAD} \cdot V_{TB,mean}}{W_{PV}} \quad (2)$$

dengan $E_{I,LOAD}$ adalah arus harian ke beban (Ah/hari) dan $V_{TB,mean}$ adalah tegangan rata-rata selama *charging*. Persentase pemakaian energi tertinggi terjadi pada SPTS unit 3 (58,37%) dan terendah pada SPTS 5 (30,98%) dengan rata-rata 43,21%. Angka ini masuk dalam jangkauan hasil investigasi Nieuwenhout (tt) bahwa untuk instalasi SHS di Kolaka, persentase penggunaan energinya sebesar 40%-50%. Rendahnya efisiensi pemakaian energi sistem PV juga terjadi di Sukatani. Hasil penelitian Reinders et al. (1999) menyebutkan bahwa SHS di Sukatani mempunyai PR_i yang berkisar antara 36% sampai 62% dengan rata-rata 49%. Di satu pihak, rendahnya efisiensi energi menguntungkan karena tingkat keamanan sistem PV terjaga. Apabila pembebanan sistem PV berlebihan maka dapat mengakibatkan terjadinya kerusakan pada komponennya. Di lain pihak, efisiensi energi yang rendah berarti energi yang dihasilkan sistem PV belum dimanfaatkan dengan optimal. Kondisi ini menjadi tantangan para pihak yang bergelut di bidang PV dalam mendesain sistem secara optimal. Desain yang optimal berarti

memadukan aspek teknis, operasional, pemeliharaan dan harga. Mahalnya harga awal sistem PV khususnya modul surya (Nieuwenhout et al., 2001) harus diimbangi dengan desain yang layak dan operasional yang maksimal. Rendahnya harga PR_i ini berkaitan erat dengan tidak maksimalnya penggunaan energi setiap SPTS.

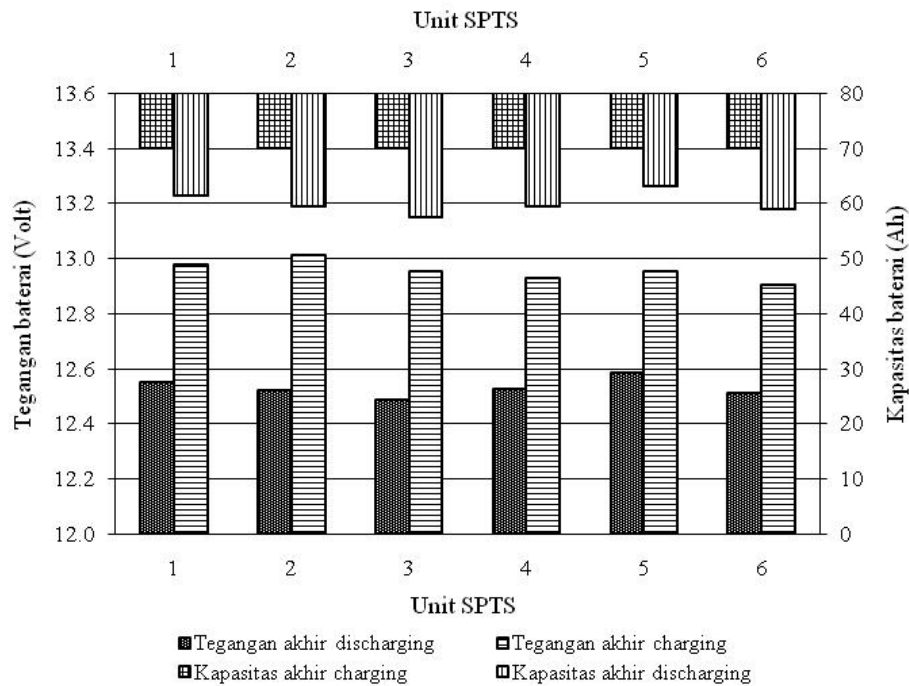
Unjuk Kerja Baterai

Setiap baterai SPTS diperiksa langsung di lokasi. Parameter pemeriksaan yang diusulkan Huacuz et al. (1995) meliputi kondisi fisik, pemeriksaan densitas dan pengukuran tegangan. Namun menurut Gustavsson dan Mtonga (2005), pemeriksaan densitas hanya menghasilkan perkiraan kasar terhadap tingkat pengisian baterai. Dengan mempertimbangkan pendapat Gustavsson dan Mtonga tersebut serta kepraktisan di lokasi maka pemeriksaannya memakai pengukuran tegangan. Hasil tes baterai ditampilkan pada Gambar 6. Terlihat tegangan di akhir proses *discharge* (pagi hari) berada cukup jauh di bawah tegangan saat akhir proses pengisian (sore hari). Untuk mengetahui kapasitas/energi baterai saat akhir *charging* dan di akhir *discharging*, tegangan tersebut dikonversikan dalam tabel SOC untuk baterai 12 V tipe *lead acid*. SOC adalah jumlah energi dalam baterai yang diekspresikan dengan persentase energi yang disimpan setelah pengisian. Harga SOC dikalikan dengan kapasitas nominal baterai (70 Ah) menghasilkan perkiraan kapasitasnya dan

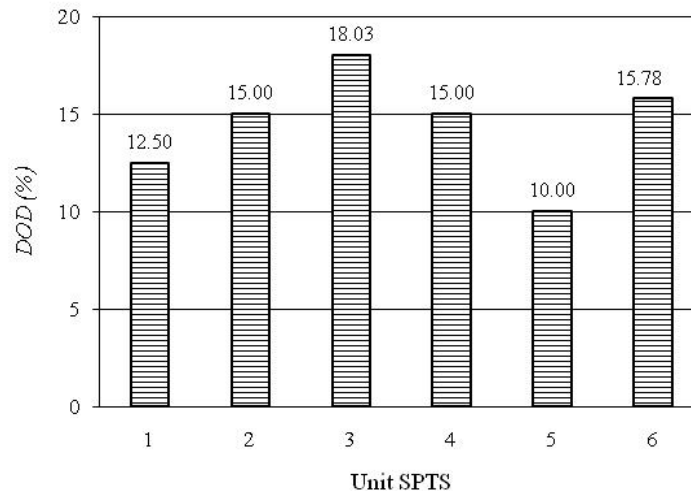
hasilnya ditunjukkan juga pada Gambar 6. Dari gambar tersebut diketahui bahwa semua baterai berkapasitas penuh di akhir proses pengisian. Pada akhir *discharging* kapasitasnya berbeda-beda sesuai dengan tingkat penggunaannya. Rata-rata kapasitas baterai setelah pembebanan adalah 59,93 Ah dengan harga tertinggi 63 Ah (SPTS unit 5) dan harga terendah 57,38 Ah

(SPTS unit 3). Rendahnya kapasitas baterai SPTS unit 3 karena penggunaan energinya terbesar.

Untuk mengetahui unjuk kerja baterai maka perlu dicari DOD. DOD adalah persentase kapasitas baterai setelah energinya dilepas terhadap kapasitas penuhnya. DOD baterai semua SPTS disajikan dalam Gambar 7.



GAMBAR 6. Kondisi tegangan dan kapasitas baterai



GAMBAR 7. DOD baterai

Dari Gambar 7 diketahui bahwa DOD rata-rata 14,38% dan DOD terbesar terjadi pada baterai SPTS unit 3. Harga ini berada di bawah standar yang diijinkan untuk baterai tipe *lead acid* yaitu 20% (Armenta-Deu, 2003 dan Khatib, 2010). DOD berhubungan dengan umur pemakaian baterai. Harga DOD yang kurang dari 20% dapat meningkatkan umur baterai lebih dari dua tahun (Dunlop, 1997). Sebaliknya bila DOD lebih besar dari standar tersebut maka baterai akan mengalami *over-discharge* dan jika kejadian ini berulang lama maka baterai akan cepat rusak (Armenta-Deu, 2003). Dengan demikian seluruh baterai yang terpasang berada pada kondisi yang baik dan aman sehingga umur baterai lebih lama.

Selanjutnya parameter unjuk kerja penting yang lain adalah efisiensi baterai. Menurut Reinders et al., (1999), efisiensi ini berbasis arus dan dihitung berdasar rumus:

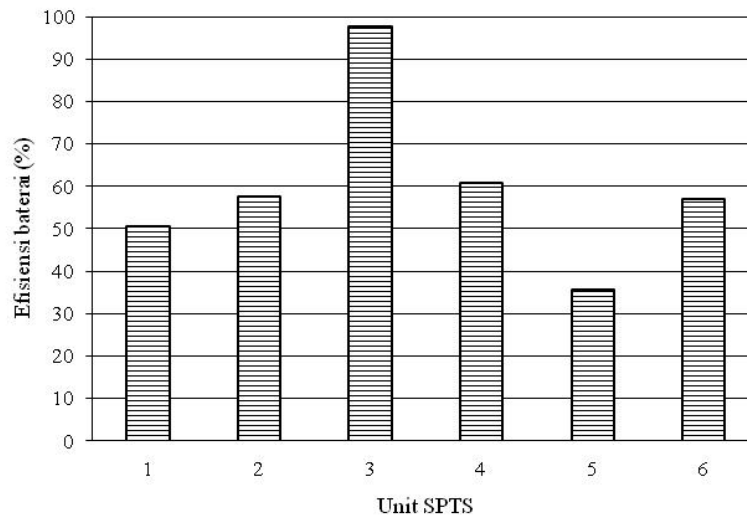
$$\eta_{I,B} = \frac{E_{I,LOAD}}{E_{I,A}} \quad (3)$$

dengan $E_{I,A}$ adalah energi harian dari modul surya (Ah/hari) yang dihitung berdasar arus rata-rata dan lama waktu *charging*.

Efisiensi baterai diberikan pada Gambar 8. Efisiensi tertinggi terdapat pada SPTS 3 (97,72%) dan terendah terjadi di SPTS 5 (35,62%) dengan rata-rata sebesar 59,85%. Rata-rata efisiensi ini tergolong rendah. Hasil tersebut lebih rendah dari efisiensi baterai SHS

di Sukatani yaitu dengan rata-rata 92% (Reinders et al., 1999). Tingginya efisiensi baterai SHS di Sukatani disebabkan tingginya penggunaan harian yaitu 17,3 Ah/hari.

Menurut Armenta-Deu (2003) dan Jossen (2004), evolusi energi baterai selama operasional PV dibagi menjadi tiga proses yaitu *charging*, *discharging* dan *stand-by/self-discharging*. Selama proses tersebut pasti terdapat rugi-rugi energi baik dari baterai sendiri karena kebocoran maupun dari luar baterai yang disebabkan antara lain konsumsi energi di BCR, inverter, dan lampu serta rugi-rugi di kabel instalasi. Pada pemeriksaan ini terdapat rugi-rugi energi yang ditampilkan dalam Tabel 3 dengan rata-rata sebesar 39,23%. Angka ini cukup besar jika dibandingkan dengan usulan Bhuiyan dan Asgar (2003) yaitu 13,21%. Tingginya rugi-rugi ini kemungkinan terjadi secara signifikan dalam hal panjang kabel instalasi. Menurut petunjuk produk, panjang kabel maksimal dari baterai ke lampu adalah 10 m. Berdasar pemantauan di lapangan, untuk setiap unit SPTS ada 2 titik lampu dengan panjang kabelnya 14 m - 16 m. Kondisi ini tidak dapat dielakkan karena bertujuan agar semua kandang mendapat titik lampu. Namun demikian, tidak tertutup kemungkinan adanya rugi-rugi di BCR dan inverter. Oleh karena itu perlu dilakukan investigasi lebih lanjut komponen tersebut. Disamping itu perlu pemeliharaan yang periodik untuk mencegah rugi-rugi energi yang lebih besar dan menjamin SPTS tetap berfungsi optimal.



GAMBAR 8. Efisiensi baterai

TABEL 3. Rugi-rugi energi pada baterai

Unit SPTS	Kapasitas baterai (Ah)			Pemakaian beban (Ah)	Rugi-rugi energi	
	Akhir charging	Awal charging	Energi keluar		Ah	%*
1	70	61.25	8.75	6.41	2.34	36.46
2	70	59.50	10.50	7.62	2.88	37.87
3	70	57.38	12.62	9.81	2.80	28.58
4	70	59.50	10.50	7.73	2.77	35.81
5	70	63.00	7.00	5.21	1.79	34.40
6	70	58.96	11.04	6.81	4.24	62.29

* Persentase terhadap pemakaian beban

Melihat hasil di atas, SPTS beroperasi dengan penggunaan energi yang masih rendah. Energi listrik yang dihasilkan belum digunakan dengan maksimal. Acuan pemakaian energi adalah seperti SPTS unit 3 dimana mempunyai PR_r , DOD, dan efisiensi baterai yang tinggi. Optimalisasi dapat dilakukan dengan meningkatkan pemakaian energi listrik yang tersedia untuk mengelola ternak. Pengelolaan itu dapat langsung berhubungan dengan ternak atau kegiatan lain seperti pemanfaatan kotoran padat menjadi pupuk atau briket bioarang. Dengan demikian unjuk kerja SPTS optimal dan di sisi lain terjadi peningkatan taraf ekonomi masyarakat. Pelaksanaan optimalisasi tersebut perlu dipantau secara berkala khususnya untuk menjamin *depth of discharge* baterai berada di bawah harga standar sehingga umur pakainya lebih lama. Hal ini dilakukan karena baterai adalah komponen yang paling lemah dalam SPTS.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini adalah:

1. SPTS telah berfungsi dengan baik yang ditandai dengan dihasilkannya energi listrik dari modul surya dan pada akhir *charging* semua baterai dalam keadaan penuh.
2. Kondisi beban harian, *performance ratio*, *depth of discharge* dan efisiensi baterai yang rendah menjadi indikator kurang optimalnya penggunaan energi di kandang ternak. Untuk itu pengelolaan ternak di malam hari perlu ditingkatkan.
3. Unjuk kerja SPTS dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti aspek teknis, perilaku pengguna dan kondisi lingkungan. Untuk sistem yang telah terpasang,

pemeliharaan yang terprogram dan kesadaran serta kedisiplinan pengguna dalam operasional SPTS adalah langkah yang penting untuk mempertahankan unjuk kerjanya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada kelompok ternak Andini Rahayu yang telah mendukung dan membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Hasan, A.Y. & Ghoneim, A.A. (2005). A new correlation between photovoltaic panel's efficiency and amount of sand dust accumulated on their surface. *International Journal of Sustainable Energy*, 24(4), 187-197.
- Anonim. (1991). *Maintenance and Operation of Stand Alone Photovoltaic Systems*. Colorado: Architectural Energy Corporation.
- Anonim. (2009). *50 Watt Photovoltaic Module BP350J*, Tersedia di: <http://www.bpsolar.com>. Diakses 25-8-2010.
- Armenta-Deu, C. (2003). Prediction of battery behaviour is SAPV applications. *Renewable Energy*, 28, 1671-1684.
- Bhuiyan, M.M.H. & Asgar, M.A. (2003). Sizing of a stand-alone photovoltaic power system at Dhaka. *Renewable Energy*, 28, 929-938.

- Dunlop, J.P. (1997). *Batteries and Charge Control in Stand-alone Photovoltaic, Fundamentals and Application*. Florida: Florida Solar Energy Center.
- Gustavsson, M. & Mtonga, D. (2005). Lead-acid battery capacity in solar home systems: field test and experiences in Lundazi, Zambia. *Solar Energy*, 79, 551-558.
- Huacuz, J.M., Flores, R., Agredano, J. & Munguia, G. (1995). Field performance of lead-acid batteries in photovoltaic rural electrification kits. *Solar Energy*, 55(4), 287-299.
- Jasser, A. (2010). A stand-alone photovoltaic system, case study: a residence in Gaza. *Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation*, 5(1), 81-91.
- Jossen, A., Garche, J. & Sauer, D.U. (2004). Operation conditions of batteries in PV applications. *Solar Energy*, 76, 759-769.
- Khatib, T. (2010). A review of designing, installing and evaluating standalone photovoltaic power systems. *Journal of Applied Sciences*, 10(13), 1212-1228.
- Lorenzo, E. (1997). Photovoltaic rural electrification. *Progress in Photovoltaic: Research and Applications*, 5, 3-27.
- Nadjib, M., Wahyudi, Rahmat, A.P. (2010). *Penerapan Energi Terbarukan pada Kelompok Ternak Andini Rahayu di Sleman DIY*. Yogyakarta: LP3M UMY.
- Nieuwenhout, F.D.J., van Dijk, A., van Dijk, V.A.P., Hirsch, D., Lasschuit, P.E., van Roekel, G., Arriaza, H., Hankins, M., Sharma, B.D. & Wade, H. (2000). Monitoring and evaluation of solar home systems. Tersedia di: <http://www.ecn.nl/docs/library/report/2000/c00089.pdf>. Diakses 11-10-2010.
- Nieuwenhout, F.D.J., van Dijk, A., van Dijk, V.A.P., Hirsch, D., Lasschuit, P.E., van Roekel, G., Arriaza, H., Hankins, M., Sharma, B.D. & Wade, H. (2001). Experience with solar home systems in developing countries: a review. *Progress in Photovoltaic: Research and Applications*, 9, 455-474.
- Nieuwenhout, F.D.J. & Djamin, M. (tt). *Monitoring solar home system in Indonesia*. Tersedia di: <http://roo.undp.org/gef/solarpv/docs/>. Diakses 25-10-2010.
- Reinders, A.H.M.E., Pramusito, Sudradjat, A., van Dijk, V.A.P., Mulyadi, R. & Turkenburg, W.C. (1999). Sukatani revisited: on the performance of nine-year-old solar home systems and street lighting systems in Indonesia. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 3, 1-47.
- Sugiyono, A. (2010). *Pengembangan Energi Alternatif di Daerah Istimewa Yogyakarta: Prospek Jangka Panjang. Proceeding Call for Paper Seminar Nasional VI Universitas Teknologi Yogyakarta*, Buku 4: Teknologi Industri, hal.1-13, ISBN 978-979-1334-29-7.
- Suhono. (2009). *Inventarisasi Permasalahan Pada Instalasi Solar House System di Wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Fisika UGM.

 PENULIS:

Muhammad Nadjib✉

 Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik,
 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Jalan
 Lingkar Selatan, Bantul 55183, Yogyakarta.

✉Email: nadjibar@yahoo.com