

Rumah Mandiri Energi Menggunakan Tenaga Surya dan Biogas

Kunaifi¹, Devi Nuryadi²

¹Energy Research Centre (EnReach) UIN Suska Riau

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Suska Riau
kunaifi@enreach.or.id

Abstrak

Sistem Photovoltaic (PLTS) telah diusulkan sebagai sumber energi listrik dan sistem biogas untuk memenuhi kebutuhan gas rumah tangga di desa terpencil di Propinsi Riau. PLTS dirancang menggunakan standar AS 4509.2—2002, sedangkan digester biogas dirancang berdasar kebutuhan gas untuk memasak dan jumlah minimal ternak sapi di setiap rumah tangga. Dengan intensitas radiasi matahari rata-rata 4,2 kWh/m²/hari, konsumsi listrik per hari rata-rata 2,5 kWh, dan beban puncak 362 Watt, dihasilkan sistem PLTS terdiri dari inverter 900 VA, 6 baterai 102 Ah, 10 modul surya 210 Wp, dan BCR 40 A. Sedangkan sistem biogas terdiri dari digester biogas 4 m³ dan digester kontrol 2 m³, dengan lama waktu memasak rata-rata 2,4 jam per hari dan jumlah sapi minimal 2 ekor per rumah tangga. Menggunakan life-cycle cost analysis, biaya sistem PLTS selama usia sistem 20 tahun adalah Rp. 113,6 juta dan digester biogas dalam periode yang sama membutuhkan biaya Rp. 8,7 juta.

Kata Kunci: AS 4509.2-2002, Biogas, Energi surya, life-cycle cost analysis, sapi.

Abstract

A photovoltaic (PV) and a biogas digester systems have been proposed as sources of electrical and gas energy demand for a domestic household in a rural village in Riau Province. PV system was designed using the AS 4509.2-2002 standard, while the biogas digester was designed based on the gas demand for cooking and the minimum number of cattle in each household. With the average solar insolation of 4.2 kWh/m²/day, average daily energy demand of 2.5 kWh, and 362 Watt peak load, the analysis proposed a 900 VA inverter, 6 batteries of 102 Ah, 10 solar modules of 210 Wp, and a BCR of 40 A system. While the biogas system consisted of 4 m³ of biogas digester and 2m³ control digester, with average daily cooking time of 2.4 hours and at least 2 cattle per household. Using the life-cycle cost analysis, the cost of PV system during 20 years period was IDR 113.6 million and the cost of biogas digester for the same period was IDR 8.7 million.

Keywords: AS 4509.2-2002, biogas, cattle, solar energy, life-cycle cost analysis.

1. Pendahuluan

Krisis energi yang terjadi pada saat ini khususnya di Indonesia merupakan masalah yang fundamental, ditandai dengan menurunnya cadangan bahan bakar fosil yaitu minyak bumi gas alam, dan batu bara. Karena bahan bakar fosil tergolong energi tak terbarukan maka cepat atau lambat energi ini akan habis. Oleh sebab itu diperlukan suatu pilihan baru untuk menjawab permasalahan tersebut. Energi terbarukan merupakan pilihan yang handal, ramah lingkungan, dan semakin murah.

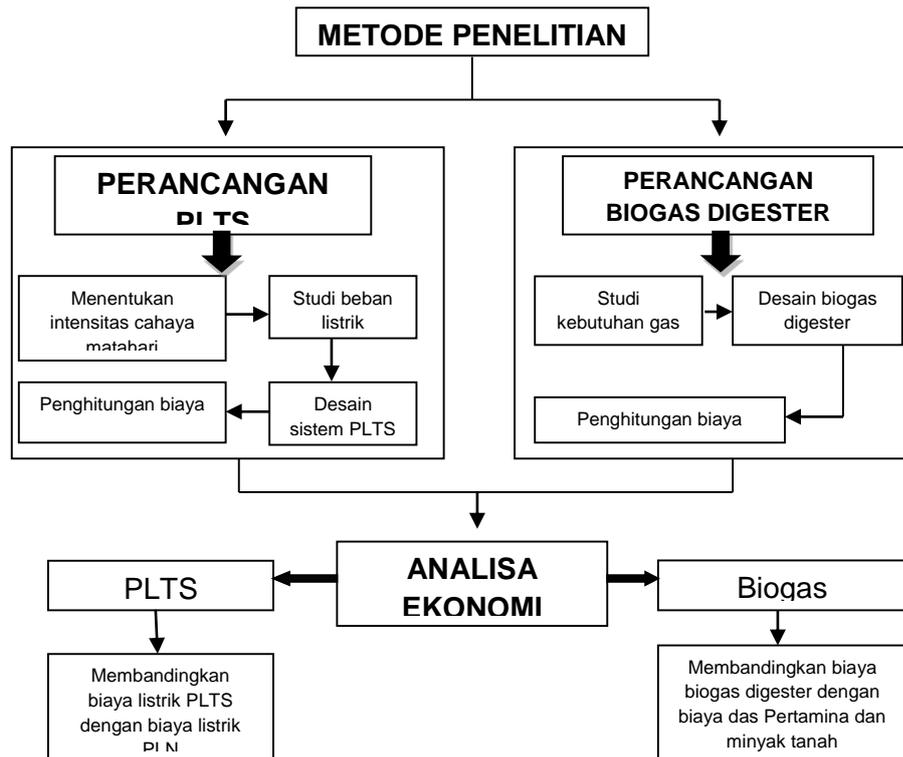
Hingga saat ini, penerapan energi terbarukan di Indonesia dominan di daerah pedesaan. Namun, krisis energi yang menyeluruh telah 'memaksa' manusia menggunakan energi terbarukan di kota-kota. Program *solar cities*, misalnya, mulai digagas di berbagai negara. Sektor perumahan merupakan konsumen energi terbesar di Indonesia yaitu sebesar 42% [1]. Oleh sebab itu salah satu strategi untuk mengatasi persoalan krisis energi adalah 'membenahi' suplai energi pada perumahan.

Penelitian ini menawarkan sebuah konsep rumah mandiri energi yang menyediakan suplai energi listrik dan gas memanfaatkan sumber energi dari alam sehingga tidak menggunakan bahan bakar fosil, ramah lingkungan, dan suplai terjangkau. Rumah mandiri energi yang dirancang pada penelitian ini menggabungkan tenaga surya (PLTS) dan biogas dari limbah sapi. PLTS digunakan untuk suplai listrik sedangkan biogas

untuk memasak. Penelitian dilaksanakan di Desa Kuala Lala Kecamatan Sei Lala Kabupaten Indragiri Hulu Riau. Desa ini belum dijangkau jaringan listrik PLN sehingga penduduk menggunakan lampu minyak atau generator diesel untuk penerangan. Sedangkan untuk memasak penduduk menggunakan kayu bakar dan minyak tanah.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini mencakup tiga tahap, yaitu: perancangan PLTS, perancangan biogas digester, dan analisa ekonomi. Gambar 1 memperlihatkan metode penelitian secara umum.



Gambar 1. Metodologi penelitian

2.1. Perancangan PLTS

Tahapan perancangan PLTS meliputi penentuan intensitas radiasi matahari di lokasi penelitian, melakukan studi beban pada rumah tangga yang dijadikan sampel, melakukan disain sistem PLTS, dan menentukan biaya sistem PLTS selama 20 tahun masa operasi normal.

2.1.1. Penentuan intensitas radiasi matahari

Intensitas cahaya matahari diperoleh dari database *Surface Meteorology and Solar Energy* (SMSE) dari *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), Amerika Serikat. Database ini menyediakan informasi intensitas radiasi matahari rata-rata setiap bulan pada hampir setiap titik di Bumi. Untuk menggunakan database ini telah digunakan *username* dan *password* khusus.

2.1.2. Penentuan beban listrik

Penghitungan beban listrik dilakukan melalui studi beban meliputi jenis dan kapasitas (Watt) beban dan konsumsi energi harian (kWh). Konsumsi energi harian dihitung berdasarkan perkalian antara daya beban (Watt) dan lama beban digunakan setiap hari (jam). Karena Desa Kuala Lala belum dijangkau oleh jaringan listrik, maka studi beban dilakukan di desa tetangga yaitu Desa Batu Gajah yang sudah dijangkau jaringan

Listrik PLN. Asumsi yang digunakan di sini adalah bahwa jika penduduk Desa Kuala Lala mendapatkan suplai listrik dari PLTS yang diusulkan, maka pola pemakaian listriknya akan sama dengan penduduk desa Batu Gajah.

2.1.3. Perancangan sistem PLTS

Perancangan sistem PLTS untuk rumah mandiri energi meliputi: penentuan kriteria sistem, penentuan bulan desain, perancangan ukuran dan spesifikasi inverter, perancangan ukuran dan spesifikasi baterai, perancangan ukuran dan spesifikasi BCR, dan perancangan ukuran dan spesifikasi modul surya. Perancangan ini dilakukan menggunakan *Australian Standard AS 4509.2—2002 tentang Stand Alone Power Systems Bagian 2: System Design and Guidelines*.

2.1.4. Penghitungan biaya sistem PLTS

Penentuan biaya sistem PLTS dilakukan menggunakan metode *life-cycle cost analysis*. Komponen biaya yang dihitung meliputi biaya investasi, biaya instalasi, biaya operasional, dan biaya perawatan. Periode sistem yang digunakan adalah selama 20 tahun karena jaminan pabrik modul surya berkisar antara 15-25 tahun masa operasi.

2.2. Perancangan biogas digester

Tahapan perancangan biogas digester meliputi studi kebutuhan gas, desain biogas digester, dan menentukan biaya biogas digester selama 20 tahun. Studi kebutuhan gas adalah penghitungan konsumsi gas per hari dan produksi kotoran sapi yang tersedia setiap hari. Konsumsi gas harian di hitung berdasarkan lamanya pemakaian kompor gas per hari dengan nyala normal, sedangkan suplai kotoran sapi dihitung berdasar jumlah sapi yang tersedia dan produksi kotoran setiap hari (kg). Sedangkan biaya sistem biogas dilakukan dengan metode yang sama dengan biaya sistem PLTS yang meliputi biaya investasi, biaya pembangunan, biaya operasi, dan biaya perawatan, selama 20 tahun.

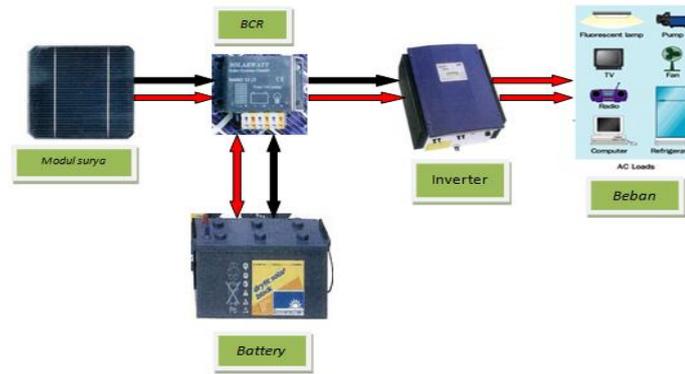
2.3. Analisa ekonomi

Analisa ekonomi rumah mandiri energi dilakukan dengan metode perbandingan. Dalam hal ini biaya sistem PLTS dibandingkan dengan biaya listrik PLN, dan biaya biogas digester dibandingkan dengan biaya Gas Pertamina dan minyak tanah.

3. Hasil dan Analisa

3.1. Sistem PLTS

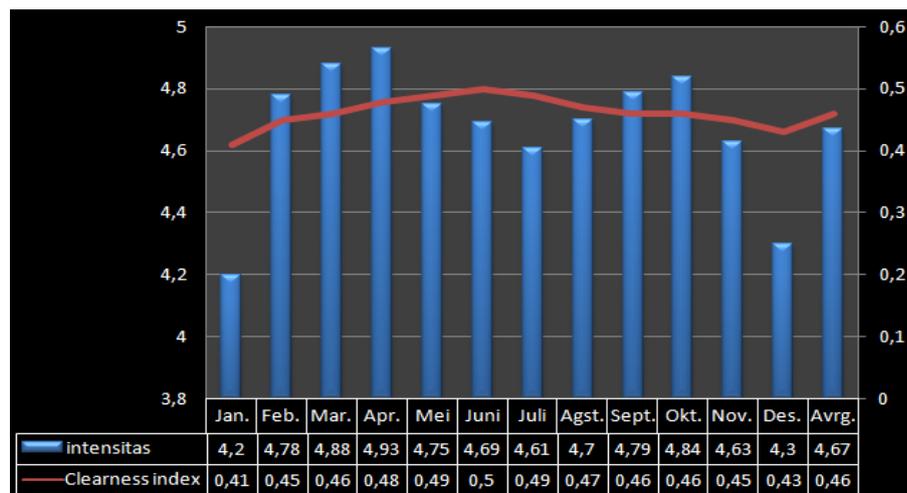
Gambar 2 memperlihatkan suatu sistem PLTS. Modul surya menerima sinar matahari sehingga energi foton yang terdapat di dalam sinar matahari menimbulkan aliran listrik searah (DC). Listrik DC tersebut kemudian digunakan untuk mengisi (*charge*) baterai yang dikendalikan oleh *battery charger controller* (BCR). Jika BCR mendeteksi baterai telah penuh maka proses pengisian dihentikan. Selanjutnya listrik DC yang disimpan pada baterai diteruskan ke inverter yang berfungsi mengubah listrik DC menjadi listrik bolak-balik (AC) dan menaikkan tegangan menjadi tegangan beban (220 Volt). Keluaran dari inverter adalah tegangan yang dapat digunakan secara langsung oleh beban.



Gambar 2. Sistem PLTS

3.1.1. Intensitas radiasi matahari

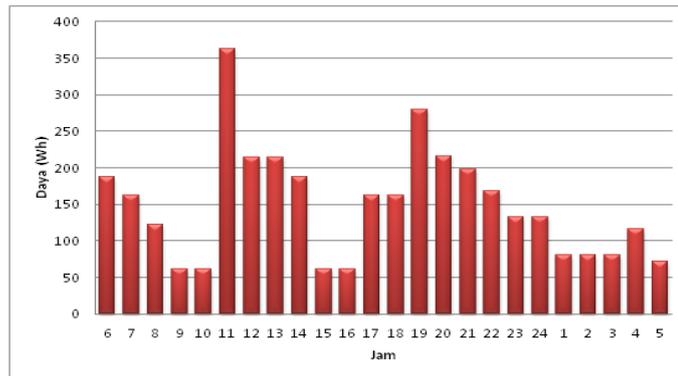
Koordinat lokasi Desa Kuala Lala yang didapatkan dari GoogleEarth^(R) dimasukkan ke database SMSE NASA, yaitu 0,5 LS dan 102,5 BT. Intensitas radiasi matahari yang dihasilkan oleh database SMSE NASA untuk koordinat lokasi yang diberikan adalah seperti yang ditampilkan pada Gambar 3. Radiasi matahari paling tinggi terlihat pada bulan April sebesar 4,93 kWh/m²/hari sedangkan yang paling rendah adalah bulan Januari yaitu 4,2 kWh/m²/hari. Rata-rata intensitas radiasi matahari per tahun adalah 4,67 kWh/m²/hari. Sedangkan *clearness index* (indeks kecerahan langit) rata-rata per tahun adalah 0,46.



Gambar 3. Intensitas radiasi matahari di Desa Sungai Lala, koordinat 0,5 LS dan 102,5 BT.

3.1.2. Beban listrik

Data beban listrik yang didapatkan dari Desa Batu Gajah adalah konsumsi energi harian sebesar 2,5 kWh dan beban puncak 362 Watt. Informasi kebutuhan listrik ini digunakan pada perancangan dengan asumsi pendudukan Sungai Lala jika memiliki suplai listrik PLTS akan menggunakan listrik sama banyak dan dengan cara yang sama dengan penduduk Desa Batu Gajah. Gambar 4 memperlihatkan profil beban listrik di Desa Batu Gajah. Terlihat bahwa beban puncak terjadi dua kali sehari yaitu pada pukul 11 hingga 12 siang saat setrika digunakan dan pada pukul 19 hingga 20 saat keluarga menyalakan lampu, televisi, dan beberapa peralatan listrik lain secara bersamaan. Adapun jenis beban yang dimasukkan ke dalam penghitungan ini adalah 7 buah lampu fluorescent 18 watt, 1 buah televisi 80 watt, 1 buah *receiver digital* 20 watt, 1 buah DVD 60 watt, 1 buah lemari pendingin 50 watt (aktif) atau 12 watt (tidak aktif), 1 buah kipas angin 52 watt, 1 buah pompa air 125 watt, dua buah *charger handphone* 5 watt, dan 1 buah setrika 300 watt.



Gambar 4. Profil beban listrik

3.1.3. Sistem PLTS

Sistem PLTS yang dirancang pada penelitian ini adalah sistem dengan tegangan operasi DC 12 volt. Persamaan di bawah ini digunakan untuk menentukan jumlah modul surya yang dibutuhkan untuk memenuhi beban. Perhitungan menghasilkan 10 buah modul surya yang tersambung paralel. Spesifikasi modul surya yang digunakan adalah daya maksimum 210 Wp dan tegangan modul maksimum 18,3 volt.

$$N_p = \frac{E_{tot} \times f_o}{V_{dc} \times I_{mod} \times H_{tilt} \times Eff_{coul}}$$

di mana:

- N_p = jumlah barisan paralel dari modul-modul yang tersambung seri (tanpa satuan)
- E_{tot} = kebutuhan energi total (Wh)
- f_o = koefisien over supply (tanpa satuan)
- V_{dc} = tegangan operasi DC (volt)
- I_{mod} = arus yang hilang pada modul (ampere)
- H_{tilt} = radiasi matahari harian pada panel surya (jumlah peak sun hour)
- Eff_{coul} = efisiensi coulombic baterai (tanpa satuan)

Supaya sistem PLTS dapat beroperasi pada saat ada sinar matahari siang dan pada saat sinar matahari tidak ada atau minim saat malam dan cuaca mendung, diperlukan baterai sebagai sistem penyimpanan energi. Persamaan di bawah ini digunakan untuk menentukan kapasitas baterai. Penghitungan menghasilkan kebutuhan 6 baterai masing-masing kapasitas 102 Ah dengan kecepatan pengosongan 20 jam yang tersambung paralel dengan total 612 Ah.

$$C_x = \frac{E_{tot}}{V_{dc}} \times \frac{T_{aut}}{DOD_{max}}$$

di mana:

- C_x = kapasitas baterai pada kecepatan pengosongan tertentu (Ah)
- E_{tot} = kebutuhan energi total (Wh)
- T_{aut} = jumlah hari otonomi
- V_{dc} = tegangan operasi DC (volt)
- DOD_{max} = kedalaman pengosongan baterai maksimum (%)

Untuk menentukan ukuran BCR digunakan data kapasitas baterai dan kecepatan pengosongan baterai. Persamaan berikut digunakan untuk menentukan kapasitas BCR. Dari perhitungan didapatkan kapasitas BCR sebesar 30,6 A. Yang digunakan pada penelitian ini adalah BR 40 A yang tersedia di pasar.

$$I_{20} = \frac{\text{kapasitas baterai dengan kecepatan pengosongan 20 jam}}{20 \text{ jam}}$$

Untuk mengubah listrik DC yang dihasilkan modul surya menjadi listrik AC yang dibutuhkan beban, digunakan inverter. Penentuan kapasitas inverte tergantung pada kebutuhan daya kontinyu maksimum, kebutuhan daya sesaat (surge) maksimum, dan *safety factor*. Dengan beban puncak 362 watt, surge demand 1415,2 VA yang dihitung secara terpisah, dan *safety factor* 10%, maka kapasitas inverter yang dibutuhkan adalah 900 VA kontinyu.

3.1.4. Biaya sistem PLTS

Biaya sistem PLTS dihitung selama umur investasi 20 tahun dengan komponen biaya investasi, biaya operasional, biaya perawatan, dan biaya penggantian komponen. Inflasi yang digunakan adalah 5,3% per tahun [2]. Biaya investasi mencakup biaya pembelian modul surya, BCR, baterai, inverter, peralatan instalasi, dan struktur panel surya. Biaya investasi total adalah Rp. 50.250.000. Sedangkan biaya operasional, perawatan, dan penggantian komponen adalah Rp. 60.128.500. Sehingga total biaya sistem PLTS selama 20 tahun adalah Rp. 113.598.500.

3.2. Sistem Biogas

3.2.1. Kebutuhan dan suplai gas

Berdasar wawancara dengan penduduk desa Kuala Lala yang dijadikan sebagai sumber informasi penelitian ini, didapat data bahwa rata-rata lama memasak setiap hari adalah 2,1 jam. Jenis ternak di Desa Sungai Lala didominasi oleh sapi. Bersar survei di lokasi, jumlah rata-rata sapi yang dipelihara setiap keluarga adalah 2 ekor. Komposisi kotoran sapi terdiri dari 87% kandungan cair dan 13% kandungan padat, dan rata-rata kotoran yang dihasilkan dalam satu hari adalah 4,5 Kg [3].

3.2.2. Biogas digester

Jenis biogas digester yang digunakan pada penelitian ini adlaah tipe dome yang terdiri dari dua buah kubah, yaitu kubah digester utama dan kubah digester kontrol. Volume biogas digester yang dibutuhkan ditentukan berdasarkan *retention time*, yaitu lamanya kotoran sapi berada didalam digester, dalam hal ini yaitu 20 hari [3]. Selain itu volume biogas juga ditentukan oleh banyak fluida yang masuk ke digester setiap hari, dalam hal ini 0,18 m³ per hari. Dari perhitungan dihasilkan volumen digester yaitu 4 m³ yang dapat menghasilkan gas metana 2,16 m³ per hari. Sedangkan untuk digester kontrol volumenya adalah ½ dari volume digester utama yaitu 2 m³ [4].

3.2.3. Biaya biogas digester

Biaya biogas digester dihitung dari biaya bahan untuk pembuatan digester, upah tukang, biaya perawatan dan pembelian kompor gas. Total biaya yang diperlukan selama 20 tahun adalah Rp. 8.740.180.

3.3. Analisa ekonomi

3.3.1. Sistem PLTS

Analisa ekonomi sistem PLTS dilakukan dengan membandingkan biaya selama umur investasi dengan biaya jika masyarakat suatu saat nanti mendapatkan sambungan listrik PLN. Beberapa asumsi yang digunakan pada analisa ekonomi adalah sebagai berikut: (1) Tarif Dasar Listrik (TDL) tidak mengalami kenaikan selama 20 tahun ke depan, (2) subsidi listrik untuk pelanggan rumah tangga tetap diberikan pemerintah dalam jumlah yang sama hingga 20 tahun kedepan, (3) biaya eksternal akibat penggunaan listrik yang dibangkitkan dari sumber energi fosil tidak akan dimasukkan kedalam TDL dalam 20 tahun kedepan, (4) biaya sistem konversi energi dari PLTS dan biogas tidak akan diberi subsidi dalam 20 tahun kedepan.

Perhitungan biaya listrik PLN dilakukan dengan memasukkan komponen-komponen biaya instalasi listrik, pemasangan kWh meter, biaya beban, dan biaya pemakaian listrik. Total biaya yang dikeluarkan selama 20 tahun adalah Rp. 23.050.000. Jika dibandingkan dengan biaya PLTS sebesar Rp. 113.598.500, maka biaya PLTS jauh lebih besar.

3.3.2. Biogas digester

Analisa ekonomi biogas digester dilakukan dengan membandingkan biaya selama umur investasi dengan gas elpiji Pertamina dan minyak tanah. Jika memasak menggunakan gas elpiji Pertamina, maka biaya selama 20 tahun adalah Rp. 34.376.990, jauh lebih tinggi dibanding biaya menggunakan biogas digester sebesar Rp. 8.740.180.

Jika dibanding dengan biaya kompor minyak tanah untuk keperluan memasak, maka biaya biogas digester juga jauh lebih murah, karena selama 20 tahun penggunaan kompor minyak tanah dapat menghabiskan biaya Rp. 61.113.789.

4. Kesimpulan

Pada artikel ini telah diuraikan bagaimana teknologi energi terbarukan dapat dimanfaatkan untuk menyediakan energi bagi masyarakat pedesaan di Kabupaten Indragiri Hulu. Sistem PLTS telah diusulkan untuk memberikan suplai listrik, dan sistem biogas untuk suplai gas untuk memasak. Ukuran dan biaya kedua sistem telah dihitung. Dari aspek teknis kedua pilihan ini dapat diterapkan untuk mewujudkan rumah mandiri energi. Namun dari aspek ekonomi, hanya sistem biogas yang memberikan keuntungan ekonomi secara langsung karena biayanya lebih murah. Sedangkan sistem PLTS masih terlalu mahal untuk dibiayai oleh masyarakat desa secara mandiri.

Daftar Pustaka

- [1] International Energy Agency. 2010. *2007 Energy Balance for Indonesia*. http://iea.org/stats/balancetable.asp?COUNTRY_CODE=ID (diakses: 11 July 2010).
- [2] M. B. Kertiyasa. *Target Inflasi Bisa Tercapai Asal Inflasi Inti Bisa Ditekan 3%*. <http://economy.okezone.com/read/2011/02/18/20/426057/target-inflasi-bisa-tercapai-asal-inflasi-inti-bisa-ditekan-3> (diakses 11 Juli 2010).
- [3] J. Twidell dan T. Weir. 2006. *Renewable Energy Resources*. Taylor & Francis: New York.
- [4] N. Ginting. 2008. *Produksi Biogas dari Limbah Ternak*. Medan: Universitas Sumatra Utara.