

## DESAIN SISTEM PEMBANGKIT LISTRIK HIBRIDA BIOMASSA - PV UNTUK ELEKTRIFIKASI PEDESAAN DI DESA PALUH KURAU SUMATERA UTARA

**Denny Haryanto Sinaga<sup>\*</sup>, F. Danang Wijaya, T. Haryono**

Departemen Teknik Elektro dan Teknologi Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada  
Jalan Grafika No.2, Yogyakarta, Daerah Istimewa Yogyakarta, Indonesia, 55224

Email: denny.stl14@mail.ugm.ac.id

### Abstrak

*Elektrifikasi pedesaan merupakan hal yang masih menjadi masalah di berbagai belahan dunia tak terkecuali Indonesia khususnya di Sumatera Utara. Peningkatan jumlah permintaan energi listrik yang belum diimbangi dengan penambahan kapasitas menyebabkan beberapa daerah pedesaan belum menikmati energi listrik, salah satunya adalah di desa Paluh Kurau. Fokus utama paper ini untuk mengkaji pemanfaatan limbah biomassa dari kelapa sawit sebagai bahan bakar pembangkit energi listrik dan dipadukan dengan sumber energi surya sebagai sumber energi terbarukan hibrida untuk elektrifikasi pedesaan. Sebuah desain pembangkit hibrida biomassa-PV diusulkan untuk memenuhi kebutuhan listrik di desa Paluh Kurau. Aspek jumlah potensi sumber daya biomassa dari kelapa sawit dan radiasi matahari yang diperoleh menjadi pertimbangan untuk mendapatkan ukuran pembangkit hibrida biomassa-PV yang optimal secara ekonomis. Pembangkit hibrida yang optimum berdasarkan simulasi terdiri dari PV 20 kW, biomassa 30 kW, 100 unit baterai dan inverter 20 kW dengan sistem pengisian baterai cycle charging. Konfigurasi ini dipilih dengan total net present cost sebesar US\$ 274.643, biaya pembangkitan listrik (cost of energy) sebesar US\$ 0,228 /kWh*

**Kata kunci:** Biomassa Desain, Elektrifikasi Pedesaan, Hibrida, PV

### 1. PENDAHULUAN

Paluh Kurau merupakan sebuah desa di provinsi Sumatera Utara yang berada di wilayah Indonesia. Total luas wilayah desa ini sekitar 32,50 km<sup>2</sup> dan terdiri dari 14 dusun. Kondisi kelistrikan saat ini di desa Paluh Kurau masih sangat minim, terutama di dusun I yaitu paluh subur yang masih belum mendapatkan akses jaringan listrik. Di dusun ini terdapat 100 kepala keluarga dan 90 rumah. Saat ini penduduk desa menggunakan genset diesel yang dioperasikan secara swadaya. Setiap bulan mereka mengeluarkan biaya sebesar Rp.120.000,- per rumah untuk dapat menggunakan 2 buah lampu berukuran 15 W dari pukul 18.00 hingga 23.00. Hal ini menyebabkan biaya yang dibutuhkan untuk memperoleh daya listrik sangat mahal.

Belum terelektifikasinya desa ini disebabkan oleh krisis energi listrik yang terjadi di Sumatera Utara saat ini sehingga tidak memungkinkan untuk menyalurkan energi listrik ke daerah yang belum dialiri listrik. Saat ini kebutuhan listrik di Sumatera Utara mencapai 1.700 MW, sementara kapasitas yang tersedia hanya sekitar 1.400 MW (Tempo.co.).

Penggunaan pembangkit listrik tenaga hibrida (PLTH) saat ini merupakan solusi untuk penyediaan energi listrik dengan sumber daya energi terbarukan serta ramah lingkungan (Jabian dan Estoperez, 2012). Pembangkit model ini dinilai lebih efektif digunakan untuk melayani ketersediaan energi listrik di daerah yang terpencil dan terisolir dibanding pembangkit listrik tenaga diesel (Kusakana et al., 2009).

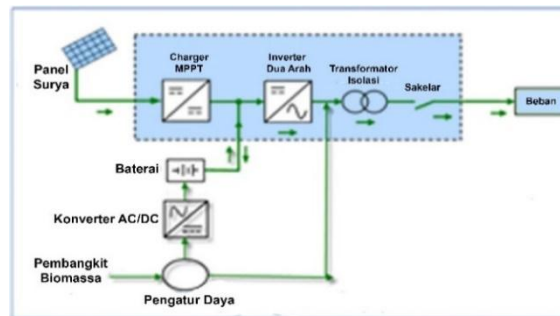
Studi terkait PLTH biomassa – PV yang telah dilakukan mengemukakan tentang kelayakan penggunaan sistem ini beberapa wilayah. Simulasi yang dilakukan menghasilkan *cost of energy* (COE) sebesar \$0.214/kWh dengan kelebihan energi 46.4 kWh/tahun. Hasil menunjukkan bahwa sistem energi terbarukan hibrida jauh lebih murah untuk memproduksi listrik, namun sumber energi yang dipilih harus ekonomis dan berkelanjutan (Muhamad et al., 2014).

PLTH merupakan salah satu alternatif yang tepat diaplikasikan pada daerah yang sulit dijangkau oleh sistem pembangkit besar seperti jaringan PLN atau PLTD. PLTH ini memanfaatkan energi terbarukan yaitu *photovoltaic* yang dikombinasikan dengan generator biomassa untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di pedesaan. Tujuan utama studi ini adalah untuk merancang sistem energi terbarukan hibrida untuk daerah pedesaan dalam rangka elektrifikasi pedesaan.

### 1.1 Sistem PLTH Biomassa–PV

PLTH biomassa-pv merupakan unit gabungan antara generator biomassa dengan PV (panel surya). Pembangkit hibrida ini menawarkan keandalan yang lebih dari pembangkit lainnya karena tidak tergantung pada satu sumber saja (Tanim et al., 2014). Generator biomassa dirancang untuk bekerja saat intensitas cahaya matahari menurun untuk menyalurkan daya ke beban (Muhamad et al., 2014; Tanim et al., 2014).

Sistem pembangkit hibrida ini bekerja secara *standalone* untuk menyalurkan daya ke beban sesuai kebutuhan seperti yang ditunjukkan pada gambar 1. Ukuran kapasitas generator biomassa dihitung berdasarkan jumlah pasokan bahan bakar biomassa yang tersedia terhadap beban yang dibutuhkan, sedangkan ukuran panel PV ditentukan berdasarkan radiasi matahari yang diperoleh dan kebutuhan beban di siang hari.



**Gambar 1. Blok Diagram Sistem Hibrida Biomassa-PV**

Sumber : (Ahammad et al., 2015)

### 1.2. Biomassa dan Sumber Daya Biomassa

Minyak sawit saat ini merupakan sumber terbesar minyak nabati di dunia. Pabrik kelapa sawit di Indonesia memproduksi sekitar 23MTCPO mentah atau 46% dari total produksi minyak sawit dunia pada tahun 2011 (Nasution et al., 2014).

Sebuah limbah kelapa sawit terdiri atas sekitar 12- 15% serat, 5-7% cangkang, dan 20-23% tandan buah kosong berdasarkan kapasitasnya (Nasution et al., 2014). Dari 100 ton tandan buah segar dapat menghasilkan 20-22 ton tandan buah kosong (EFB), 14 ton serat kaya minyak dan 5 ton cangkang (Nemati dan Vojdani, 2012). Limbah biomassa ini perlu dimanfaatkan secara efektif untuk mengatasi masalah pembuangan limbah terkait kepedulian lingkungan saat ini.

Biomassa dari kelapa sawit telah lama diidentifikasi dan dimanfaatkan sebagai energi terbarukan tetapi penerapannya masih sedikit. Pemerintah Indonesia telah mengambil langkah-langkah dengan konsep ini dengan Kebijakan Energi Nasional tahun 2006 yang bertujuan untuk meningkatkan energi berbasis biomassa sebesar 5% pada tahun 2025 (Nasution et al., 2014).

Biomassa telah dikembangkan menjadi energi listrik melalui beberapa metode sesuai jenis sumber biomassa tersebut. Setiap ton tandan buah kosong mentah dapat dikonversi menjadi sekitar 1429 kWh energi melalui metode biokimia dan 269 kWh melalui metode termo-kimia (Farhad et al., 2013).

Kecamatan Hampan Perak merupakan daerah penghasil kelapa sawit yang cukup besar di Sumatera Utara dengan luas 5.028.625 m<sup>2</sup> atau sekitar 503 hektar (BPS Kabupaten Deli Serdang, 2014). Perkebunan tersebut dapat menghasilkan 2 ton kelapa sawit/ bulan per hektar. Hal ini berarti daerah tersebut memiliki sumber daya biomassa sebesar 23.2895 Ton/ hari mengacu pada tabel 1 .

### 1.3 Sistem PV (Photovoltaic) dan Potensi Energi Surya

Tenaga surya (PV) adalah salah satu sumber energi terbarukan dan yang tersedia yang paling menjanjikan. Bumi menerima energi dari radiasi matahari sebesar 174 triliun kWh setiap jam. Dengan kata lain, bumi menerima  $1.74 \times 10^{17}$  watt daya dari matahari (Tanim et al., 2014).

Seiring dengan perkembangan penggunaannya, modul PV memiliki daya Tarik yang meningkat. Selain bersih dan suara operasi yang rendah, PV juga disukai karena lokasi

penempatannya, meskipun diperbesar, tidak memerlukan sebuah daerah yang luas untuk beroperasi (ESDM, 2014).

Sistem PV dirancang untuk memenuhi keseluruhan beban. Ukuran modul PV ditentukan dengan mempertimbangkan kebutuhan beban dan radiasi matahari yang tersedia di lokasi, selanjutnya akan ditentukan ukuran bank baterai sebagai penyimpanan energi listrik (Kusakana et al., 2009).

Desa Paluh Kurau terletak pada koordinat  $3^{\circ}51'00.9''N$   $98^{\circ}40'20.2''E$ . Tabel 2 menunjukkan data radiasi matahari yang diperoleh berdasarkan data dari Nasa. Melalui data tersebut didapat rata-rata radiasi matahari yang diterima sebesar  $4.399 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$  dengan radiasi tertinggi di bulan Februari yaitu  $4.910 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$  dan terendah di bulan November yaitu  $3.977 \text{ kWh/m}^2/\text{hari}$ .

**Tabel 1. Produksi biomassa per hektar**

No	Biomassa sawit	T/ha	Nilai kalor (kcal/kg)
1	Tempurung	1,2	4050
2	Serabut	4,3	3200
3	Tandan kosong	5,2	3100
4	Pelepah	6,2	2940

Sumber : (Juwito et al., 2012)

**Tabel 2. Data radiasi matahari**

Bulan	Indeks Kecerahan	Radiasi Harian ( $\text{kWh/m}^2/\text{hari}$ )
Januari	0,466	4,490
Februari	0,494	4,490
Maret	0,481	5,020
April	0,470	4,870
Mei	0,478	4,770
Juni	0,485	4,710
Juli	0,465	4,560
Agustus	0,446	4,520
September	0,413	4,270
Oktober	0,422	4,280
November	0,420	4,080
Desember	0,437	4,130
<b>Rata-rata tahunan (<math>\text{kWh/m}^2/\text{hari}</math>)</b>		4,56

#### 1.4 Gambaran Kondisi Kelistrikan Desa Paluh Kurau

Jika mengacu pada desa tetangga yang telah mendapatkan akses listrik dari PLN dan memiliki pola sosial yang sama, maka desa ini akan memiliki beban harian sebesar 225,80 kWh dengan estimasi beban seperti yang ditunjukkan pada tabel 3. Profil beban desa ini memiliki beban puncak pada jam 19.00 WIB sampai 22.00 WIB seperti yang tercantum pada gambar 2.

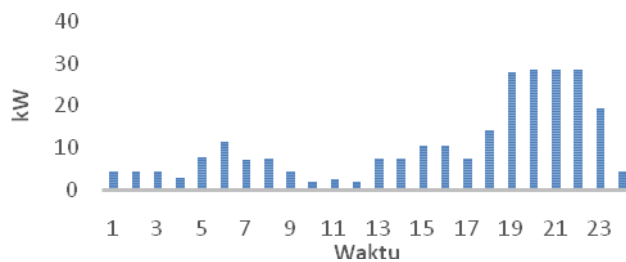
**Tabel 3. Estimasi beban**

Detail	Jumlah	Rating (Watt)	Total Beban (W)	Total x 100 Rumah	Jam Operasi	Energi (WH)
Lampu	4	18	72	7200	10	72000
TV	1	80	80	8000	6	48000
Kipas Angin	1	50	50	5000	3	15000
Rice Cooker	1	300	300	30000	1	30000
Stop Kontak	1	100	100	10000	6	60000
Pompa Air	50	200		10000	2	20000
Lampu Jalan	30	30		900	12	10800
<b>Total</b>		<b>602</b>	<b>602</b>	<b>71100</b>		<b>255800</b>

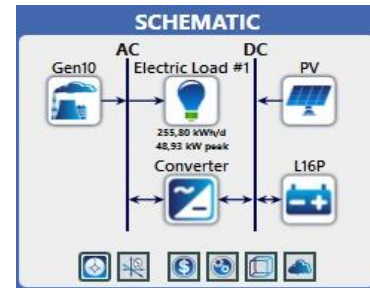
## 2. DESAIN SISTEM

### 2.1 Metode

Pembangkit Hibrida Biomassa-PV ini didesain untuk bekerja selama 24 jam 7 hari untuk mencukupi kebutuhan daya. Pembangkit hibrida ini terdiri dari generator biomassa dan panel PV serta memiliki komponen konverter dan baterai seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. Desain akan disimulasikan menggunakan perangkat lunak Homer untuk mendapatkan ukuran pembangkit hibrida yang optimal secara ekonomis sesuai dengan profil beban.



Gambar 2. Profil beban



Gambar 3. Desain sistem

### 2.2 Komponen

Pada sistem pembangkit hibrida ini terdapat beberapa komponen yang terdiri dari generator biomassa yang memiliki biaya kapital US\$ 600 /kW, biaya penggantian US\$ 550 /kW dan biaya operasi dan perawatan sebesar US\$ 0,085/ jam (Rajanna dan Saini, 2014).

Modul PV yang dimodelkan memiliki output DC . Biaya instalasi panel PV sebesar US\$2520/kW dan biaya penggantian sebesar US\$2520/kW. Biaya operasi dan perawatan tidak ada dan memiliki *lifetime* selama 25 tahun (Wijaya, 2014). Mempertimbangkan faktor penurunan akibatoleh suhu, kotoran, kemiringan, kerugiankabel, bayangan, penuaan,dll. Faktor penurunan sebesar80% diterapkan untuksetiappanel(Roy et al., 2014).

Konverter yang digunakan adalah Inverter yangmengubahlistrikdari DC keAC. Efisiensi diasumsikan90% untuk ukuran yang dipertimbangkan.Harga diperkirakan adalah US\$ 0,90/W, dan masa pakai hingga 15tahun. Operasi danbiaya perawatan diasumsikan tidak ada (Al-Karaghoulid dan Kazmerski, 2010).

Baterai yang digunakan jenis trojan L-16P dengan tegangan nominal 6V, biaya kapital \$ 210, biaya penggantian US\$210, biaya operasi dan perawatan sebesar US\$. 4/ tahun.

## 3. HASIL DAN ANALISIS

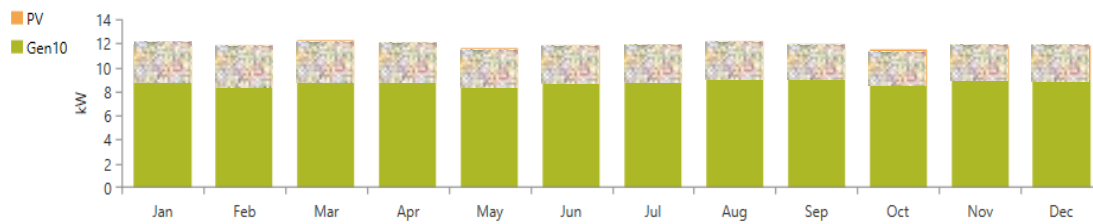
### 3.1 Hasil Simulasi

Simulasi yang dilakukan menghasilkan beberapa konfigurasi yang berbeda sesuai dengan batasan minimum kontribusi energi terbarukan.Berdasarkan simulasi yang dilakukan, ditampilkan hasil optimal yang menunjukkan jumlah komponen dan total NPC (*net present cost*) yaitu biaya keseluruhan sistem selama jangka waktu tertentu serta COE (*cost of energy*) yaitu biaya energi.

Hasil simulasi yang paling optimal dapat dilihat pada gambar 4. Pada skenario ini, generator biomassa, panel PV, baterai dan inverter memiliki ukuran masing-masing 20 kW, 30 kW, 100 Unit dan 20 kW yang bekerja bersama-sama untuk menyuplai daya untuk memenuhi profil beban. Total NPC yang dihasilkan sebesar US\$ 274,643 dan COE sebesar US\$ 0,228 / kWh

Architecture					Cost				System		Gen10		PV	
PV (kW)	Gen10 (kW)	L16P	Converter (kW)	Dispatch	COE (\$)	NPC (\$)	Operating cost (\$)	Initial capital (\$)	Ren Frac (%)	Hours	Production	Fuel (kg)	Capital Cost	Production
20,0	30,0	100	20,0	CC	\$0,228	\$274.643	\$12.937	\$107.400	100	2.911	76.666	37	50.400	26.594

Gambar 4. Hasil optimisasi sistem hibrida



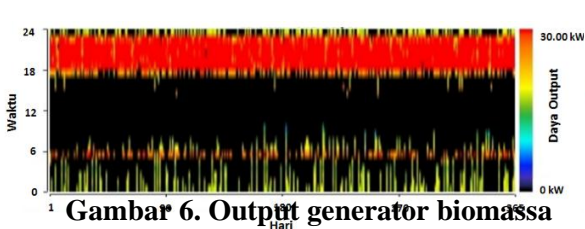
**Gambar 5. Produksi listrik rata-rata bulanan**

### 3.2 Analisis

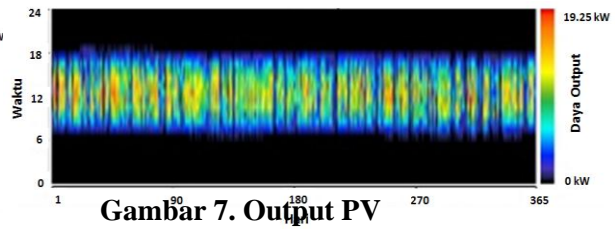
Konfigurasi dari skenario pembangkit listrik yang berbeda menyebabkan nilai NPC dan COE yang berbeda. Perbedaan ini didasari oleh biaya investasi dan operasi pembangkit biomassa yang cukup besar apabila digunakan untuk menanggung seluruh beban di sistem. Pembangkit hibrida yang optimal berdasarkan simulasi terdiri dari PV 20 kW, biomassa 30 kW, 100 unit baterai dan inverter 20 kW dengan sistem pengisian baterai *cycle charging*. Konfigurasi ini dipilih dengan total *net present cost* sebesar US\$274,643, biaya pembangkitan listrik (*cost of energy*) sebesar US\$ 0,228/kWh.

Hadirnya PV membuat total NPC menjadi lebih kecil karena pada saat waktu siang hari saat radiasi matahari sangat bagus, PV dapat membantu pasokan energi dan menyimpannya di bank baterai untuk digunakan saat beban puncak di malam hari.

Gambar 6. menunjukkan output maksimum yang dihasilkan generator biomassa sebesar 30 kW dan minimum sebesar 7,50 kW dengan rata-rata 26,34 kW. Total produksi energi listrik yang dihasilkan sebesar 76,666 kWh/ tahun. Sedangkan gambar 7 menunjukkan output maksimum yang dihasilkan PV sebesar 19,25 kW dan minimum sebesar 0 kW dengan rata-rata 3,04 kW atau 72,86 kWh/ hari.



**Gambar 6. Output generator biomassa**



**Gambar 7. Output PV**

Gambar 8 menunjukkan biaya tahunan dari pembangkit listrik tenaga hibrida yang diusulkan. Generator biomassa berkontribusi terbesar terhadap keseluruhan biaya yaitu sekitar \$111.651 dan untuk panel PV, berkontribusi sekitar US\$ 56.864. Optimasi dengan HOMER menunjukkan bahwa PLTH yang diusulkan adalah desain yang terbaik dan optimal. Total nilai bersih sekarang (NPC) untuk PLTH ini adalah \$ 274.643. Biaya operasi US\$ 12.937 per tahun. Biaya energi (COE) adalah \$ 0,228 / kWh.

Nilai COE sebesar US\$ 0,228/kWh dianggap cukup kompetitif untuk menjadi solusi elektrifikasi dibandingkan dengan biaya yang selama ini dihabiskan oleh penduduk desa saat menggunakan generator diesel.



**Gambar 8. Ringkasan biaya**

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan simulasi yang dilakukan, ditemukan bahwa pembangkit hibrida biomassa-PV dapat digunakan sebagai sumber energi terbarukan dalam elektrifikasi pedesaan yang memiliki

kebutuhan beban sebesar 71,1 kW dengan rata-rata penggunaan sebesar 255,80 kWh / hari. Konfigurasi sistem yang optimal ditentukan oleh besarnya *net present cost* (NPC) yang terendah, dimana NPC mencakup biaya keseluruhan sistem selama jangka waktu tertentu. NPC yang diperoleh dalam simulasi ini sebesar US\$274.683, biaya pembangkitan listrik (*cost of energy*) sebesar US\$ 0,228 /kWh. Sistem ini menggunakan generator biomassa 30 kW, PV 20 kW, 100 unit baterai dan inverter 20 kW. Hasil simulasi ini dapat dipertimbangkan sebagai studi awal untuk penelitian lebih lanjut. Hal ini perlu dilakukan secara detail dan mendalam untuk mendapatkan konfigurasi serta metode yang lebih optimal untuk elektrifikasi pedesaan secara mandiri yang berkelanjutan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ahammad, S., Khan, A.H., Nur, T.E., Ghose, S., 2015. *A hybrid of 30 KW Solar PV and 30 KW Biomass System for rural electrification in Bangladesh*, dalam : 2015 3rd International Conference on Green Energy and Technology (ICGET), pp. 1–5.
- Al-Karaghoul, A., Kazmerski, L.L., 2010. *Optimization and life-cycle cost of health clinic PV system for a rural area in southern Iraq using HOMER software*. Sol. Energy 84, 710–714.
- BPS Kabupaten Deli Serdang, 2014. *Deli Serdang Dalam Angka (Deli Serdang in Figures) 2014*.
- ESDM, Matahari Untuk PLTS di Indonesia, n.d. <http://www.esdm.go.id/berita/artikel/56-artikel/5797-matahari-untuk-plts-di-indonesia.html> (Diakses: 11.7.14).
- Farhad, M.H., Abdul Malek, A.B.M., Hasanuzzman, M., Rahim, N.A., 2013. *Technical review on biomass conversion processes into required energy form*, dalam: Clean Energy and Technology (CEAT), 2013 IEEE Conference on. IEEE, pp. 208–213.
- Jabian, M.E., Estoperez, N.R., 2012. *Photovoltaic integration in a micro-wind turbine system*, dalam: 2012 International Conference on Advanced Mechatronic Systems (ICAMEchS), pp. 339–344.
- Juwito, A.F., Hadi, S.P., Haryono, T., 2012. *Optimalisasi Energi Terbarukan pada Pembangkit Tenaga Listrik dalam Menghadapi Desa Mandiri Energi di Margajaya*. Jurnal Ilmiah Semesta Teknik. 15.
- Kusakana, K., Munda, J.L., Jimoh, A., 2009. *Feasibility study of a hybrid PV-micro hydro system for rural electrification*, dalam: AFRICON, 2009, pp. 1–5.
- Muhamad, M.I., Radzi, M.A.M., Abd Wahab, N.I., Hizam, H., Mahmood, M.F., 2014. *Optimal design of hybrid renewable energy system based on solar and biomass for halal products research institute*, UPM, in: Innovative Smart Grid Technologies-Asia (ISGT Asia), 2014 IEEE. IEEE, pp. 692–696.
- NASA, n.d. *ASDC | Processing, archiving, and distributing Earth science data at the NASA Langley Research Center*. <https://eosweb.larc.nasa.gov/> (Diakses : 12.29.14).
- Nasution, M.A., Herawan, T., Rivani, M., 2014. *Analysis of Palm Biomass as Electricity from Palm Oil Mills in North Sumatera*. Energy Procedia 47, 166–172.
- Nemati, G., Vojdani, M.S., 2012. *The feasibility of 10 MW power plant installation with palm oil waste as a Biomass fuel in Hormozgan, Islamic republic of Iran*.
- Rajanna, S., Saini, R.P., 2014. *Optimal modeling of solar/biogas/biomass based IRE system for a remote area electrification*, dalam : Power India International Conference (PIICON), 2014 6th IEEE. IEEE, pp. 1–5.
- Roy, B., Basu, A.K., Paul, S., 2014. *Techno-economic feasibility analysis of a grid connected solar photovoltaic power system for a residential load*, dalam: Automation, Control, Energy and Systems (ACES), 2014 First International Conference on. IEEE, pp. 1–5.
- Tanim, M., Chowdhury, N.A., Rahman, M.M., Ferdous, J., others, 2014. *Design of a photovoltaic-biogas hybrid power generation system for bangladeshi remote area using HOMER software*, dalam: Developments in Renewable Energy Technology (ICDRET), 2014 3rd International Conference on the. IEEE, pp. 1–5.
- Tempo.co, n.d. *Dahlan: Sumatera Utara Masih Rawan Krisis Listrik*. <http://www.tempo.co/read/news/2014/03/21/090564137/Dahlan-Sumatera-Utara-Masih-Rawan-Krisis-Listrik> (Diakses : 9.22.14).
- Wijaya, T.C., 2014. *Optimasi Potensi Energi Terbarukan Untuk Sistem Pembangkit Listrik Hibrid Di Desa Margajaya Bengkulu Utara Menggunakan Perangkat Lunak Homer*. Transient 3.