# Perancangan Sistem Pembangkit Hibrida Untuk Beban Komunal dan Kantor di Desa Leiting Provinsi Maluku

*Miradz Hadi Ibrahim [1)], Agus Purwadi [2)], Arwindra Rizqiawan [3)]*

*[1),2),3 )]Teknik Tenaga Listrik, Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, Institut Teknologi Bandung*
*Jl. Ganesha 10 Bandung*
*Email : miradzhi@gmail.com*

**Abstrak**. *Pembangkit listrik dengan sistem hibrida merupakan salah satu solusi untuk meningkatkan rasio elektrifikasi di Indonesia. Sistem hibrida menggabungkan beberapa sumber energi terbarukan dengan sumber energi tak terbarukan untuk menghasilkan listrik yang akan dikirim ke pusat beban. Dalam makalah ini, pembangkit listrik dengan sistem hibrida akan dirancang di Desa Leiting yang terletak di Kabupaten Kepulauan Aru, Provinsi Maluku. Daerah ini memiliki rata-rata potensi energi terbarukan tahunan berupa radiasi sinar matahari sebesar 5,27 kWh/ $m^2$/hari dan kecepatan angin sebesar 4,88 m/s. Sumber energi terbarukan ini akan digunakan untuk menentukan desain sistem yang terbaik dan ekonomis untuk 2 jenis beban, yaitu beban komunal 20 kWh dengan beban puncak 2,15 kWp dan beban kantor administrasi 11 kWh dengan beban puncak 1 kWp. Sistem yang dirancang menggunakan perangkat lunak HOMER Pro dan PVsyst. Sistem pembangkit hibrida yang dipilih adalah yang memiliki fraksi energi terbarukan (RF) tertinggi dan nilai Levelized Cost of Energy (LCOE) terendah.*

***Kata kunci**: Energi terbarukan, sistem hibrida, fraksi energi terbarukan, LCOE, HOMER Pro.*

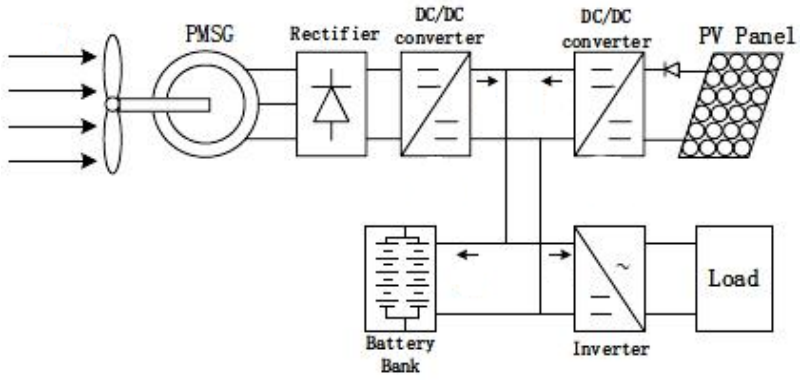
## 1. Pendahuluan

Dengan jumlah populasi sekitar 260 juta orang yang tersebar di ribuan pulau, Indonesia adalah negara berpenduduk terbesar keempat di dunia. Dengan populasi yang begitu besar, Indonesia membutuhkan energi listrik yang besar pula. Oleh karena itu dibutuhkan banyak pembangkit listrik yang lokasinya harus didistribusikan secara merata sesuai dengan jumlah penduduknya. Masih ada daerah-daerah terpencil yang memiliki rasio elektrifikasi yang rendah; hal ini menunjukkan bahwa daerah-daerah ini belum menerima pasokan energi listrik yang memadai. Beberapa diantaranya dapat ditemukan di Provinsi Maluku. Provinsi ini memiliki rasio elektrifikasi 73,76% pada tahun 2015. Salah satu daerah di provinsi ini yang memiliki energi listrik yang tidak mencukupi adalah Kabupaten Kepulauan Aru, yang rasio elektrifikasinya hanya 36,52%, sedangkan rasio elektrifikasi di Indonesia telah mencapai 88,30%. Provinsi Maluku masih mengoperasikan generator minyak sebagai sumber energi listrik utamanya. Menurut data dari PT. PLN, kapasitas terpasang pembangkit listrik (termasuk generator sewa) adalah 258,5 MW pada tahun 2015, yang mencakup PLTD 257,61 MW dan PLTS 0,89 MW. Ini menunjukkan bahwa Provinsi Maluku hanya menggunakan sedikit sekali sumber daya energi terbarukan. Padahal, Kepulauan Aru memiliki potensi energi terbarukan yang cukup banyak. Potensi energi terbarukan yang dapat dieksploitasi adalah energi matahari dan angin. Kabupaten Kepulauan Aru memiliki potensi radiasi matahari tahunan rata-rata 5,13 kWh/$m^2$/hari dan kecepatan angin tahunan rata-rata 5,61 m/s. Potensi energi ini dapat digunakan untuk meningkatkan rasio elektrifikasi di kabupaten tersebut [1, 2].

Beberapa penelitian tentang sistem hibrida yang *off-grid* telah dilakukan di beberapa wilayah di Indonesia. Salah satunya mengkaji penggunaan sistem hibrida PV (photovoltaic)-generator di daerah-daerah Aceh Singkil, Alor, dan Raja Ampat, yang rata-rata radiasi matahari tahunannya masing-masing adalah 5,06, 6,51, dan 5,73 kWh/$m^2$/ hari. Kajian dilakukan untuk tiga jenis beban di setiap daerah; yaitu beban kantor 1 kWp, beban komunal 5 kWp, dan beban komunal 10 kWp. Hasil dari kajian adalah untuk mencari harga Levelized Cost of Energy (LCOE) yang terendah, yang merupakan harga listrik per kWh. Dengan membandingkan LCOE antara sistem PV-generator dan generator minyak yang berdiri sendiri, untuk setiap wilayah dan jenis beban, maka dapat dibuktikan bahwa nilai LCOE untuk sistem PV-generator selalu lebih murah. Penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan pembangkit listrik hibrida PV-generator layak secara teknis dan ekonomis untuk dibangun, terutama untuk daerah-daerah terpencil dimana rasio elektrifikasi masih rendah [3].

**2. Sistem Energi Hibrida PV - Angin**

Sistem hibrida PV-Angin ini menggunakan sumber energi surya dan energi angin dengan diagram blok seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Sistem PV mengubah energi yang dihasilkan radiasi sinar matahari menjadi energi listrik DC. Sistem ini terdiri dari susunan panel PV dan konverter. Persamaan untuk menghitung daya dan jumlah modul PV dalam sistem pembangkit yang menggunakan energi surya adalah sebagai berikut [4]:




Gambar 1. Diagram Blok Sistem Hibrida PV- Angin [5].

$$P_{pv} = \left( E \times RF_{pv} \times 1\frac{kW}{m^2} \right) \Big/ \left( PSH \times PR \times R_{con} \right) \quad (1)$$

dimana,
$E$ = Energi yang dibutuhkan oleh beban (kWh/hari).
$P_{pv}$ = Kapasitas daya minimal untuk menentukan kapasitas daya *array* PV (kW).
$RF_{pv}$ = Fraksi energi surya yang digunakan pada sistem pembangkit (%).
$PSH$ = Rata – rata radiasi matahari tahunan (kw/m$^2$/hari).
$PR$ = Rasio kinerja PV (sekitar 60%).
$R_{con}$ = Efisiensi Konverter (sekitar 93%).

Sistem tenaga angin mengubah energi yang dihasilkan oleh kecepatan angin untuk memutar turbin angin sehingga menjadi energi listrik AC. Sistem ini terdiri dari turbin angin, *permanent magnet syncrhonous generator* (PMSG), rectifier, dan konverter. Jumlah turbin yang dibutuhkan pada sistem pembangkit yang menggunakan energi angin dapat ditentukan dengan persamaan berikut [6].

$$N_a = \frac{E \times RF_a}{P_a \times R_{con} \times 24\ jam/hari} \quad (2)$$

dimana,
$N_a$ = Jumlah turbin angin yang dibutuhkan.
$E$ = Energi yang dibutuhkan oleh beban (kWh/hari).
$RF_a$ = Fraksi energi angin yang digunakan pada sistem pembangkit (%).
$P_a$ = Daya rata – rata yang dihasilkan oleh turbin angin selama 24 jam dalam 1 hari (kW).

**3. Data Input**

Data input yang digunakan di dalam penelitian ini terdiri dari data potensi energi terbarukan, data beban, dan data parameter ekonomi. Ketiga data tersebut akan menjadi masukan ke perangkat lunak HOMER Pro dan PVsyst. *HOMER Pro* adalah perangkat lunak untuk mengoptimalkan desain microgrid dengan menyatukan analisa teknik dan ekonomi bekerja bersamaan. Sedangkan *PVsyst* adalah perangkat lunak untuk studi ruang dan analisis data sistem PV secara lengkap.

### 3.1. Data Potensi Energi Terbarukan

Desa Leiting memiliki populasi 604 orang pada 2017. Desa ini memiliki populasi terbanyak dibanding desa-desa lainnya, tetapi pasokan listriknya tidak memadai. Pembangkit dengan sistem hibrida rencananya akan dibangun di atas lahan kosong yang terletak sekitar 100-200 meter dari pusat kota. Gambar 2 menunjukkan lokasi desa tersebut dengan koordinat 05°34'05.05" LS dan 134°39'33.80" BT. Potensi energi terbarukan yang tersedia mencakup sinar matahari dan angin dimana radiasi sinar matahari tahunan rata-rata adalah 5,27 kWh/m$^2$/hari dan kecepatan angin tahunan rata-rata adalah 4,88 m/s. Data primer ini diperoleh dari perangkat lunak HOMER Pro yang berasal dari satelit NASA. Tabel 1 menunjukkan data radiasi sinar matahari dan kecepatan angin.

Gambar 2. Lokasi dari sistem pembangkit hibrida yang akan dibangun.

Tabel 1. Data Radiasi Bulanan Sinar Matahari dan Kecepatan Angin.

| Bulan | Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | Mei | Jun. | Jul. | Ags. | Sep. | Okt. | Nov. | Des. |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Radiasi Matahari (kWh/m$^2$/hari) | 5,14 | 5,11 | 5,42 | 5,22 | 4,95 | 4,48 | 4,56 | 5,14 | 5,82 | 6,16 | 6,05 | 5,23 |
| Kecepatan Angin (m/s) | 5,22 | 5,69 | 4,41 | 3,71 | 4,61 | 5,86 | 6,66 | 5,96 | 4,72 | 3,75 | 3,4 | 4,56 |

### 3.2. Data Beban

Beban listrik terbagi menjadi dua, yaitu beban listrik komunal dan kantor administrasi. Setiap rumah pada beban komunal mengkonsumsi daya sebesar 400 Wh/hari. Untuk melayani 50 rumah, dibutuhkan pembangkit dengan energi minimal sebesar 20 kWh/hari. Data beban komunal per hari diperlihatkan pada Tabel 2. Sedangkan kantor administrasi mengkonsumsi energi harian sebesar 11 kWh dengan beban puncak sekitar 1 kW. Tabel 3 menunjukan data beban kantor administrasi.

Tabel 2. Data Beban Komunal per Hari.

| Jam | Daya Beban 50 rumah (kW) | Durasi (jam) | Konsumsi energi oleh beban (kWh) |
|---|---|---|---|
| 06.00 – 18.00 | 0,85 | 12 | 10,2 |
| 18.00 – 22.00 | 2,15 | 4 | 8,6 |
| 22.00 – 06.00 | 0,15 | 8 | 1,2 |
| Total energi yang dikonsumsi (kWh) | | | 20 |

.

Tabel 3. Data Beban Kantor Administrasi.

| Jam | Daya Beban Harian (kW) | Daya Beban Akhir Minggu (kW) |
|---|---|---|
| 06.00 – 08.00 | 0,382 | 0,382 |
| 08.00 – 18.00 | 0,999 | 0,439 |
| 18.00 – 19.00 | 0,382 | 0,382 |
| 19.00 – 06.00 | 0,131 | 0,131 |

**3.3. Data Parameter Ekonomi**

Beberapa parameter ekonomi yang digunakan diperlihatkan pada Tabel 4. Parameter-parameter ini diperlukan untuk menentukan jenis dan kapasitas komponen dari sistem pembangkit yang dirancang.

Tabel 4. Parameter Ekonomi

| Deskripsi | | Harga |
|---|---|---|
| PV | 1 unit modul PV | Rp 3.630.000 |
| | Biaya transportasi per-modul | Rp 435.050 |
| | Biaya instalasi per-modul | Rp 4.280.000 |
| | Biaya operasi & pemeliharaan per-modul | Rp 54.872/tahun |
| Turbin angin | 1 unit turbin | Rp 5.385,000 |
| | Biaya operasi & pemeliharaan | Rp 1.989,000 |
| Generator | 1 unit generator | Rp 6.435,000 |
| | Biaya transportasi | Rp 1.574,000 |
| | Biaya operasi & pemeliharaan | Rp 8.000/jam |
| Battere | 1 unit battere bank | Rp 7.623.800 |
| | Biaya transportasi | Rp 1.852.500 |
| | Biaya operasi & pemeliharaan | Rp 381.190/tahun |
| Konverter | 1 unit konverter | Rp 12.000.000 |
| | Biaya transportasi | Rp 306.250 |
| Power house untuk generator | | Rp 58.000.000 |
| Harga minyak (tahun 2015) | | Rp 15.000/liter |
| Real Discount Rate [7], [8] | | 2,79% |
| Umur sistem | | 20 tahun |

## 4. Hasil Perhitungan dan Analisa

Pemilihan sistem dan kapasitas komponen pembangkit dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *HOMER Pro*, sedangkan perangkat lunak *PVsyst* digunakan untuk mendesain ruang untuk penempatan modul-modul PV dan power house untuk generator. Hasil perhitungan yang diperoleh adalah sebagai berikut.

### 4.1. Beban Komunal

Hasil perhitungan untuk beban komunal untuk lima konfigurasi sistem pembangkit yang berbeda diperlihatkan pada Tabel 5. Nilai fraksi energi terbarukan (RF) untuk skema generator minyak adalah 0% karena sistem ini tidak menggunakan energi terbarukan, sedangkan nilai RF untuk skema PV dan turbin angin adalah 100% karena kedua sistem tersebut menggunakan energi terbarukan seluruhnya. Sistem turbin angin lebih mahal daripada sistem PV karena sistem turbin angin hanya baik untuk beban yang besar dengan potensi kecepatan angin yang tinggi. Sistem generator minyak memiliki LCOE paling mahal karena bahan bakar bensin yang mahal yaitu Rp 15.000/liter untuk Kabupaten Kepulauan Aru. Nilai LCOE terendah yaitu Rp 7.589/kWh dengan RF sebesar 94,6% dapat diperoleh jika menggunakan sistem PV-angin-generator dengan spesifikasi sistem 6,8 kWp PV, 1 unit turbin angin 400 W, 1 unit generator 2,5 kW, baterai 800 Ah, dan konverter 3,5 kWdc.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Untuk Beban Komunal.

| Konfigurasi Sistem Pembangkit | Fraksi Energi Terbarukan (RF) | LCOE (Rupiah/kWh) | Spesifikasi Sistem (Rating) |
|---|---|---|---|
| Generator | 0 % | 16.990 | 2 unit generator x 2,5 kW |
| PV | 100% | 11.025 | 44 unit modul x 200Wp,<br>1 unit batere x 2000 Ah<br>1 unit konverter x 3,5 kW |
| Turbin angin | 100% | 15.735 | 20 unit turbin x 400 W<br>1 unit konverter x 3,5 kW |
| PV-Generator | 89,6% | 7.662 | 34 unit modul x 200 Wp<br>1 unit batere x 800 Ah<br>1 unit generator x 2,5 kW<br>1 unit konverter x 3,5 kW |
| PV-Angin-Generator | 94,6% | 7.589 | 34 unit modul x 200 Wp<br>1 unit batere x 800 Ah<br>1 unit turbin x 400 W<br>1 unit generator x 2,5 kW<br>1 unit konverter x 3,5 kW |

### 4.2. Beban Kantor Administrasi

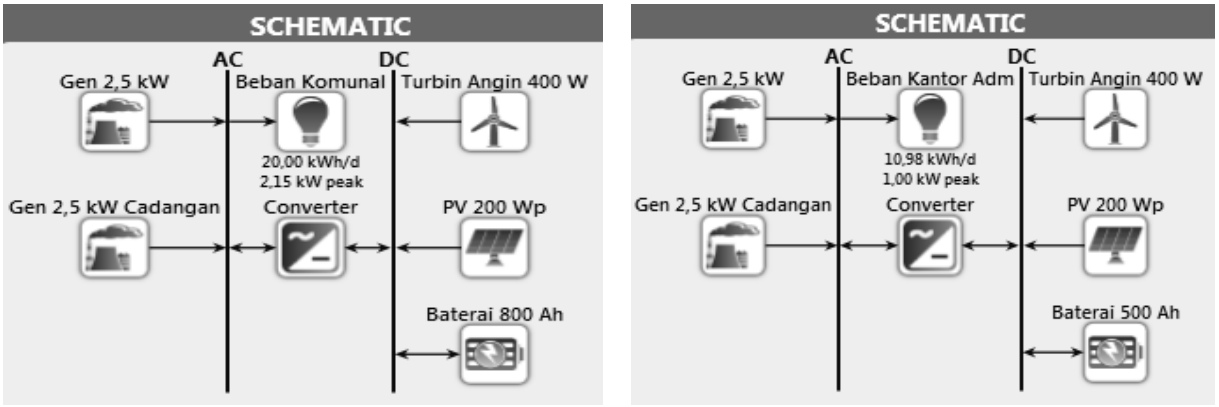
Untuk beban kantor, nilai LCOE terendah adalah Rp 8.419/kWh dengan RF 94,6% dan diperoleh dengan menggunakan sistem hibrida PV-angin-generator dengan spesifikasi sistem 3,2 kWp PV, turbin angin 400 W, generator 2,5 kW, baterai 500 Ah, dan konverter 3,5 kWdc. Tabel 6 memperlihatkan hasil perhitungan untuk beban kantor administrasi untuk berbagai konfigurasi sistem pembangkit.

Jika dibandingkan dengan LCOE beban komunal, maka nilai LCOE beban kantor administrasi untuk setiap konfigurasi sistem pembangkit berharga lebih besar. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil energi listrik yang dikonsumsi oleh beban, maka semakin kecil kapasitas pembangkit, sehingga sumber daya yang dapat dimanfaatkan akan semakin sedikit. Ini menyebabkan kinerja setiap komponen pada sistem pembangkit menjadi kurang efektif (rugi-ruginya lebih besar) dan nilai LCOE akan bertambah.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Untuk Kantor Administrasi

| Konfigurasi Sistem Pembangkit | Fraksi Energi Terbarukan (RF) | LCOE (Rupiah/kWh) | Spesifikasi Sistem (Rating) |
|---|---|---|---|
| Generator | 0 % | 28.246 | 2 unit generator x 2,5 kW |
| PV | 100% | 11.777 | 24 unit modul x 200Wp,<br>1 unit batere x 1200 Ah<br>1 unit konverter x 3,5 kW |
| Turbin angin | 100% | 16.548 | 11 unit turbin x 400 W<br>1 unit konverter x 3,5 kW |
| PV-Generator | 96,4% | 8.586 | 22 unit modul x 200 Wp<br>1 unit batere x 500 Ah<br>1 unit generator x 2,5 kW<br>1 unit konverter x 3,5 kW |
| PV-Angin-Generator | 94,6% | 8.419 | 16 unit modul x 200 Wp<br>1 unit batere x 500 Ah<br>1 unit turbin x 400 W<br>1 unit generator x 2,5 kW<br>1 unit konverter x 3,5 kW |

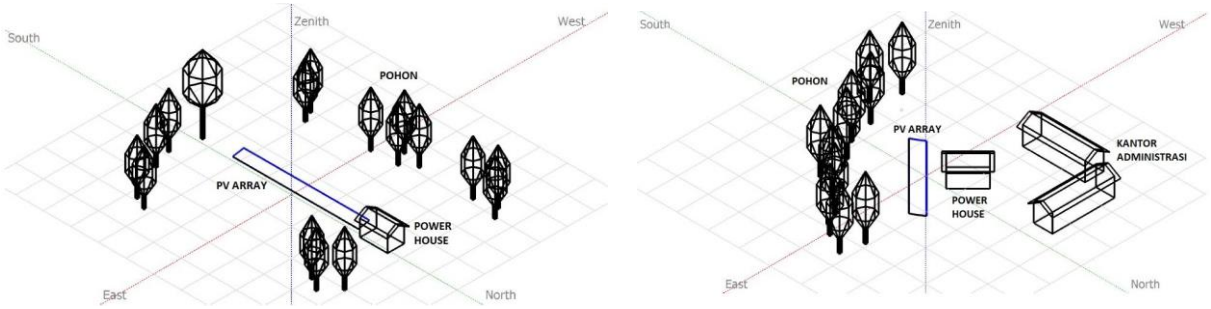
Gambar 3 memperlihatkan skema lengkap dari sistem pembangkit hibrida PV-Angin-Generator yang dirancang untuk kedua jenis beban; beban komunal dan beban kantor.




Gambar 3. Skema sistem hibrida PV-Angin-Generator untuk beban komunal (*kiri*) dan beban kantor (*kanan*).

**4.3. Desain Ruang Sistem Hibrida**

Beban komunal menggunakan 34 buah modul PV yang terdiri dari 17 string tersusun paralel dimana tiap string terdiri dari 2 modul tersusun seri, sehingga luas array PV yang dirancang adalah 22 m x 2 m, yaitu 44 $m^2$. Beban kantor menggunakan 16 buah modul PV yang terdiri dari 8 string tersusun paralel dimana tiap string terdiri dari 2 modul tersusun seri, sehingga luas array PV adalah 14 m x 2 m, yaitu 28 $m^2$. Untuk kedua jenis beban ini, nilai sudut kemiringan panel PV yang digunakan adalah $10^o$, karena sudut kemiringan PV terbaik di Indonesia berkisar antara $6^o$ hingga $11^o$. Penelitian [9] menyatakan bahwa sudut kemiringan dari array PV di Indonesia bagian barat, yaitu Jakarta dan Makassar, adalah sebesar $11^o$, sedangkan untuk sebelah timur, yaitu Jayapura, adalah sebesar $6^o$. Gambar 4 memperlihatkan desain ruang untuk masing-masing beban komunal dan kantor administrasi. Untuk beban komunal, desain panel surya diatur menghadap ke arah timur, karena arah ini memiliki sedikit objek-objek yang berpotensi menghalangi sinar matahari (*near shading*). Untuk beban kantor administrasi, arah panel surya ditentukan oleh luas lahan kosong yang tersedia. Karena sempitnya lahan kosong di area sekitar kantor, maka desain panel surya yang diatur untuk menghadap ke arah tenggara.




Gambar 4. Desain ruang untuk beban komunal (*kiri*) dan beban kantor administrasi (*kanan*).

**5. Kesimpulan**

Sistem pembangkit yang paling ekonomis untuk diimplementasikan di Desa Leiting Provinsi Maluku adalah sistem pembangkit hibrida PV-angin-generator. Untuk beban komunal 20 kWh dengan beban puncak 2,15 kWp, sistem ini mempunyai nilai LCOE sebesar Rp 7.589/kWh dan RF sebesar 94,6% dengan spesifikasi sistem 6,8 kWp PV, 1 unit turbin angin 400 W, 1 unit generator 2,5 kW, baterai 800 Ah, dan konverter 3,5 kWdc. Sementara itu untuk beban kantor administrasi 11 kWh dengan beban puncak 1 kWp diperoleh nilai LCOE sebesar Rp 8.419/kWh dan RF sebesar 94,6% dengan spesifikasi sistem 3,2 kWp PV, turbin angin 400 W, generator 2,5 kW, baterai 500 Ah, dan konverter 3,5 kWdc. Faktor *near shading* (terhalangnya sinar matahari oleh objek-objek terdekat*)* dan pemilihan kemiringan panel surya berpengaruh terhadap rugi-rugi dari sistem pembangkit, yaitu berupa berkurangnya intensitas radiasi matahari efektif.

## Daftar Pustaka

[1]. Harian Pagi Siwalima, "420 Desa di Maluku Belum Teraliri Listrik", [online], Juni 2015, Tersedia: http://www.siwalimanews.com/post/420_desa_di_maluku_belum_teraliri_listrik, diakses tgl 28 September 2017.

[2]. Direktorat Jenderal Ketenagalistrikan, "Statistik Ketenagalistrikan 2015", Kementrian Energi dan Sumber Daya Mineral, Jakarta, September 2016.

[3]. A.W.Putra, E.Kamandika, S. Rosyadi, A.Purwadi, and Y.Haroen, *"Study and Design of Hybrid Off-Grid PV-Generator Power System for Administration Load and Communal Load at Three Region in Indonesia"*, 2016 IEEE *Conference on Power Engineering and Renewable Energy*, Yogyakarta, 2016

[4]. Leonics, *"How to Design Solar PV System*", Tersedia: http://www.leonics.com/support/article2_12j/articles2_12j_en.php, diakses tgl 2 Novemberr 2017.

[5]. Ahmed Saidi, Benachaiba Chellali, *"Simulation and Control of Solar Wind Hybrid Renewable Power System", 6$^{th}$ IEEE Iinternational Conference on Systems and Control (ICSC*), Algeria, 7 – 9 Mei, 2017

[6]. Fadolly Ardin, Amien Rahardjo, Chairul Hudaya, "Electricity Price And Subsidy Scenario For Hybrid Power Generations On Off-Grid System", 2017 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCREC), Indonesia, 2017.

[7]. Bank Indonesia Rate, Tersedia : http://www.bi.go.id/en/moneter/bi-rate/data/Default.aspx

[8]. *Trading Economics, "Indonesia Inflasion Rate*", Tersedia: http://tradingeconomics.com/indonesia/inflation-cpi, diakses tgl 28 September 2017.

[9]. Aiman Setiawan, Eko Adhi Setiawan, "Optimization of a Photovoltaic Power Plant in Indonesia with Proper Tilt Angle and Photovoltaic Type using a System Advisor Model", 2017 International Journal of Technology, Vol. 8, No.3, 2017.