

Jurnal ***Rekayasa Elektrika***

VOLUME 13 NOMOR 1

APRIL 2017

**Studi Kasus Kelayakan Penerapan Sistem Hybrid Building Applied
Photovoltaics (BAPV)-PLN pada Atap Gedung Politeknik Aceh** 48-56

Rachmad Ikhsan, Ira Devi Sara, dan Rakhmad Syafutra Lubis

JRE	Vol. 13	No. 1	Hal 1–64	Banda Aceh, April 2017	ISSN. 1412-4785 e-ISSN. 2252-620X
-----	---------	-------	----------	---------------------------	--------------------------------------

Studi Kasus Kelayakan Penerapan Sistem Hybrid Building Applied Photovoltaics (BAPV)-PLN pada Atap Gedung Politeknik Aceh

Rachmad Ikhsan¹, Ira Devi Sara², dan Rakhmad Syafutra Lubis²

¹Prodi Teknik Mekatronika Politeknik Aceh

Jl. Politeknik Aceh, Desa Pango Raya, Banda Aceh, 23119

²Prodi Magister Teknik Elektro Universitas Syiah Kuala,

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No.7, Darussalam, Banda Aceh 23111

e-mail: ikhsan@politeknikaceh.ac.id

Abstrak—Belum berkembangnya sistem *Building Applied Photovoltaics* (BAPV) pada gedung perkantoran maupun sarana publik yang disebabkan masih tingginya harga modul surya dan masih minimnya kajian ekonomis pemakaian modul surya pada Gedung di wilayah Banda Aceh. Selain itu harga modul surya juga terbilang masih mahal sehingga masyarakat masih beranggapan butuh modal awal yang cukup besar dalam membangun suatu sistem BAPV. Permasalahan tersebut dapat diatasi bila sudah ada kajian teknis dan kajian ekonomis dari penerapan sistem BAPV. Studi ini bertujuan untuk mengkaji penerapan sistem BAPV pada gedung instansi dari segi teknis dan segi ekonomis, dalam hal ini Gedung yang dijadikan sebagai studi kasus adalah Gedung Politeknik Aceh. Metode yang digunakan pada kajian teknis yaitu perhitungan secara teori dan juga simulasi menggunakan *software helioscope*, sedangkan metode yang digunakan untuk kajian ekonomis yaitu menggunakan metode analisis biaya manfaat (*cost benefit analysis*). Metode tersebut digunakan untuk mencari nilai *Net Present Value* (NPV), *Payback Periode* (PP), *Internal Rate of Return* (IRR), dan *Benefit Cost Ratio* (BCR). Jika nilai rata-rata radiasi matahari yang mencapai 4,79 kWh/m²/hari dan rata-rata kebutuhan energi perhari nya adalah 592 kWh, maka energi yang dihasilkan dari sistem hibrid BAPV-PLN pada atap Gedung Politeknik Aceh yaitu sebesar 237 MWh/tahun dengan kapasitas *charge controller* yang digunakan adalah 7490 A dan kapasitas baterai yang digunakan adalah 64.487 Ah. Sudut kemiringan panel (*tilt angel*) yang digunakan yaitu 25o serta jenis panel yang digunakan berjenis *Monocrystalline*. Dari segi ekonomis didapatkan nilai NPV sebesar Rp. 20.022.106.937, PP selama 5,2 Tahun, IRR sebesar 36% dan BCR sebesar 3,49. Berdasarkan hasil evaluasi studi kelayakan bahwa proyek sistem hibrid BAPV-PLN pada atap Gedung Politeknik Aceh dapat direalisasikan karena memenuhi kriteria studi kelayakan.

Kata kunci: studi kelayakan, modul surya, hibrid, BAPV, PLN

Abstract— With the undeveloped Building Applied Photovoltaics (BAPV) at office building and public facilities, caused the high price of solar modules and the lack the economic study on the use of solar modules that housed in the Banda Aceh region. Furthermore the price of solar modules also still fairly expensive, so people think it will cost so much funds to building a BAPV's system. These problems could be overcome if the existing technical studies and economic studies of the application of the BAPV's system. This study aims to assess the application of the BAPV's system on institutions building in terms of technical and economic value, in this case the building that is used as the study object is the Polytechnic Aceh's Building. The method that used in the technical studies are theoretical calculations and simulations using helioscope software, while the methods used for economic studies is using the methods of cost-benefit analysis (cost benefit analysis). The method used to find the Net Present Value (NPV), Payback Period (PP), Internal Rate of Return (IRR), and Benefit Cost Ratio (BCR). If the average value of solar radiation reaching 4.79 kWh / m² / day and the average daily energy requirement is 592 kWh, the energy generated from BAPV-PLN hybrid system on the roof of the object building will reach the amount of 237 MWh/ year with the capacity charge controller used is 7490 A and the capacity of the battery used is 64.487 Ah. Panel tilt angle used is 25o and the type of panel used is Monocrystalline manifold. From the economic value will obtained NPV value of Rp. 20.022.106.937, PP during 5,2 years, IRR of 36% and 3,49 of BCR. Based on the evaluation results of the feasibility study, the project of hybrid BAPV-PLN's system on the roof of the Polytechnic Aceh's building can be realized, because its already meet the criteria of the feasibility study to make the systems get established in real term.

Keywords: feasibility study, solar module, hybrid, BAPV, PLN

Copyright © 2017 Jurnal Rekayasa ElektriKa. All right reserved

I. PENDAHULUAN

Penerapan sistem hibrid *Building Applied Photovoltaics* (BAPV)-PLN dengan jaringan PLN pada sebuah bangunan masih belum berkembang di Aceh, khususnya di Gedung Perkantoran dan Gedung Instansi [1]. Selain itu juga harga modul surya juga terbilang masih mahal sehingga masyarakat masih beranggapan butuh modal awal yang cukup besar dalam membangun suatu sistem BAPV [2], akan tetapi dengan kelebihan yang dimiliki oleh teknologi BAPV yaitu berupa tidak adanya kebisingan, serta tingkat polusi yang sangat minim, serta sumber energi yang selalu tersedia yaitu energi Matahari [3], maka sistem BAPV dapat dijadikan sebagai pembangkit alternatif dari pembangkit yang bersumber dari energi fosil yang persediaan sumber energinya semakin menurun [4].

Untuk melihat sistem tersebut dapat berjalan dengan optimal perlu dilakukan kajian teknis agar dapat dilihat besarnya energi yang dibutuhkan dan juga energi yang dapat dihasilkan oleh suatu sistem hibrid BAPV-PLN dalam melayani kebutuhan energi listrik pada Gedung Politeknik Aceh. Kajian ekonomis juga diperlukan agar dapat dilihat besarnya total biaya yang dibutuhkan serta untuk melihat lamanya waktu pengembalian modal awal pada penerapan sistem tersebut. Sehingga dari hal tersebut masyarakat dapat melihat nilai manfaat dalam penerapan sistem tersebut dan menjadi pertimbangan dalam menerapkan sistem hibrid BAPV-PLN atau dengan kata lain penelitian ini juga untuk menentukan kelayakan suatu proyek, layak untuk dijalankan atau tidak.

Bangunan yang digunakan sebagai kajian teknis dan kajian ekonomis penerapan BAPV yaitu bangunan Gedung Politeknik Aceh dengan posisi penempatan modul surya yaitu pada posisi atap Gedung, posisi atap dipilih karena posisi tersebut adalah posisi paling optimal dalam menangkap radiasi Matahari [2], disamping itu juga bangunan Gedung Politeknik Aceh merupakan gedung tertinggi di antara bangunan sekitarnya yaitu 15 meter, sehingga rugi-rugi yang ditimbulkan oleh efek *shading* (afek bayangan) dari bangunan lain sangat minim.

II. STUDI PUSTAKA

A. Building Applied Photovoltaic (BAPV)

BAPV merupakan bagian dari strategi untuk mengaplikasikan suatu modul surya menjadi bagian dari suatu bangunan [5]. Konsep BAPV sendiri merupakan suatu perpaduan antara nilai estetika, teknologi konstruksi, produksi energi, dan aspek lingkungan [5]. Pada saat sekarang ini aplikasi BAPV semakin berkembang terutama di negara-negara maju [5]. Sehingga aplikasi BAPV dimasukkan ke dalam pembangunan gedung sebagai pokok atau sumber tambahan daya listrik. Keunggulan ini membuat BAPV sebagai salah satu segmen yang tumbuh paling cepat dari industri modul surya [5].

Pemanfaatan BAPV ini dapat ditemukan di gedung perkantoran, perumahan, stadion olah raga sepak bola,



Gambar 1. Aplikasi BAPV pada atap suatu bangunan

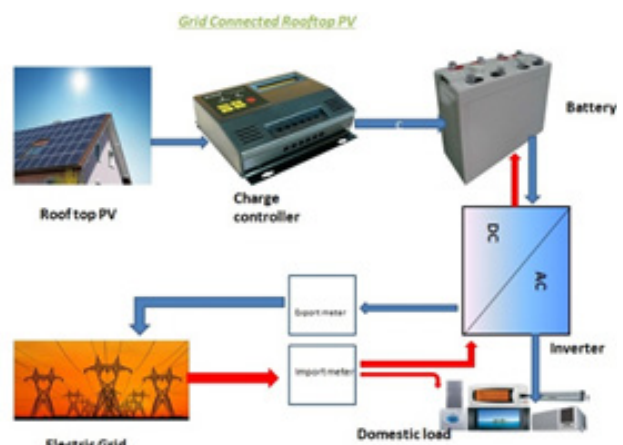
pengisian bahan bakar umum, pusat perbelanjaan, jembatan penyebrangan, gudang barang, dan sebagainya [5]. Salah satu bangunan gudang yang memakai konsep BAPV dapat dilihat pada Gambar 1 [6].

B. Sistem BAPV

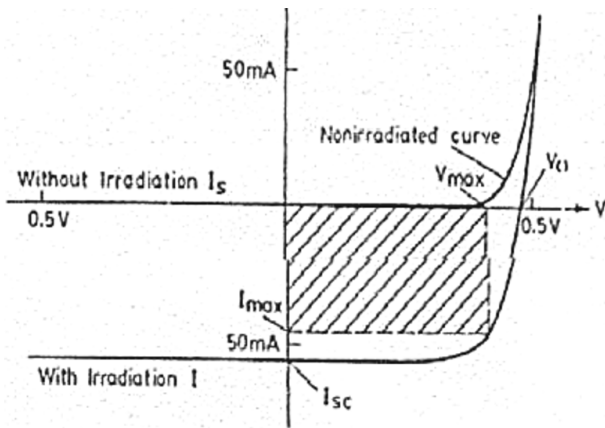
Sistem BAPV terdiri dari panel surya sebagai komponen utama dalam menghasilkan energi listrik [7]. Sedangkan peralatan pendukung berupa *charge controller* sebagai pengatur arus yang masuk dari panel surya menuju baterai [7]. Peralatan pendukung selanjutnya berupa baterai sebagai media penyimpanan energi listrik yang dihasilkan oleh panel surya [7]. Dikarenakan tegangan yang dihasilkan oleh panel surya masih berjenis DC maka dibutuhkan inverter sebagai pengubah tegangan DC menjadi tegangan AC. Dalam hal ini inverter dibutuhkan untuk melayani beban listrik dengan jenis tegangan masukan tegangan AC. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 2 [8].

C. Karakteristik Modul Surya

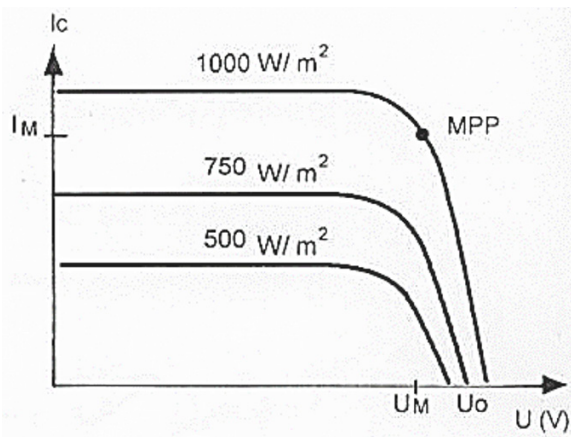
Pada dasarnya sel surya adalah suatu dioda dengan daerah luas permukaan yang lebih lebar [9]. Dari Gambar 3 [9] menunjukkan bahwa kurva dari arus (I) dan tegangan (V) sebagai suatu dioda dalam 2 kondisi, yaitu pada saat



Gambar 2. Sistem BAPV pada atap suatu bangunan



Gambar 3. Hubungan I-V pada suatu karakteristik sel surya



Gambar 4. Pengaruh kuat penyinaran terhadap daya sel surya

kondisi (i) dimana sel surya terkena irradiasi dan kondisi (ii) pada saat tidak terkena irradiasi [9].

Daya yang dihasilkan oleh sel surya sangat dipengaruhi oleh besarnya intensitas sinar matahari yang diterima oleh sel surya [9]. Gambar 4 [9] memperlihatkan pengaruh kuat sinar matahari terhadap daya yang dihasilkan.

Sedangkan untuk efisiensi sel surya η dapat dinyatakan dengan perbandingan antara daya listrik maksimum sel surya atau daya output yang dikeluarkan sel surya dengan daya pancaran (*radiant*) atau daya input yang berasal dari cahaya matahari pada sel surya [9].

D. Faktor Yang Mempengaruhi Energi Keluaran Panel Surya

Untuk menentukan energi keluaran dari panel surya maka hal yang tidak kalah penting adalah mengetahui beberapa faktor yang dapat mempengaruhi energi keluaran panel surya, diantaranya yaitu [10]:

- Intensitas radiasi matahari (*Irradiance*)
- Spektrum (*Spectrum*)
- Sudut datang sinar matahari (*Angle of Incidence*)
- Suhu (*temperature*)
- Orientasi panel surya
- Kecepatan angin bertiup
- Keadaan atmosfer bumi

h. Bayangan (*Shading*).

Untuk penentuan kapasitas yang akan dipasang maka digunakan persamaan-persamaan di bawah ini.

Dalam memenuhi kebutuhan daya energi listrik yang dihasilkan oleh sistem BAPV dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [7].

$$PV \text{ Area} = \frac{E_L}{G_{av} \times \eta_{PV} \times TCF \times \eta_{out}}, \quad (1)$$

dimana E_L adalah pemakaian energi (kWh/hari), G_{av} adalah rata-rata Radiasi matahari kWh/m²/hari), η_{PV} adalah efisiensi panel surya, TCF adalah *Temperature correction factor*, dan η_{out} adalah efisiensi keseluruhan PLTS.

Besar daya yang dibangkitkan area *array* modul surya (Watt Peak) [7].

$$P_{\text{peak power}} = \text{Area Array} \times PSI \times \eta_{PV}, \quad (2)$$

dimana PSI adalah *Peak Solar Insolation* dan η_{PV} adalah efisiensi modul surya.

Untuk mengetahui jumlah modul surya dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut [7].

$$\text{Jumlah Panel Surya} = \frac{P_{\text{Watt Peak}}}{P_{MPP}}, \quad (3)$$

dimana:

$P_{\text{Watt Peak}}$ = Daya yang dibangkitkan (Wp)

P_{MPP} = Daya maksimum keluaran modul surya (W).

Setiap kenaikan temperatur panel surya 1°C dari suhu normalnya (25°C) maka kinerja panel surya akan berkurang sekitar 0,5% pada total daya yang dihasilkan [7].

$$P_{\text{saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}} = 0,5\% / ^\circ\text{C} \times P_{MPP} \times t_{\text{naik}} (^\circ\text{C}), \quad (4)$$

dimana $P_{\text{saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}}$ adalah daya pada saat temperatur naik °C dari temperatur standarnya, P_{MPP} adalah daya keluaran maksimum panel surya (Wp).

Daya keluaran maksimum panel surya pada saat temperaturnya naik menjadi $t^\circ\text{C}$ dari temperatur standarnya [7]:

$$P_{MPP \text{ saat naik menjadi } t^\circ\text{C}} = P_{MPP} - P_{\text{saat } t \text{ naik } ^\circ\text{C}}, \quad (5)$$

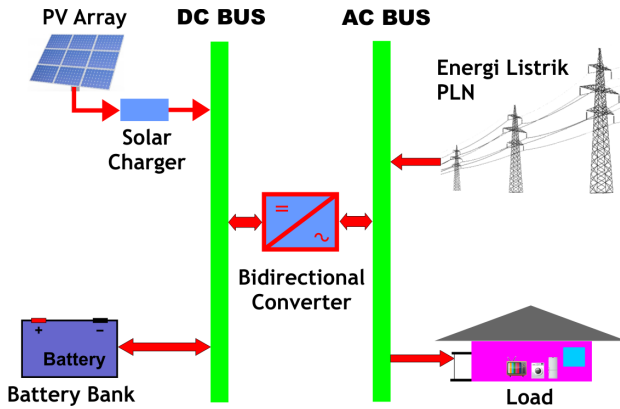
dimana, $P_{MPP \text{ saat naik menjadi } t^\circ\text{C}}$ adalah daya keluaran maksimum panel surya pada saat temperatur di sekitar panel surya naik menjadi $t^\circ\text{C}$ dari temperatur standarnya.

Faktor koreksi temperatur (*Temperature Correction Factor*) [7] dirumuskan oleh Persamaan 6,

$$TCF = P_{MPP \text{ saat naik menjadi } t^\circ\text{C}} / P_{MPP}. \quad (6)$$

E. Sistem Hybrid BAPV-PLN

Sistem hibrid merupakan integrasi antara dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda [11]. Pada paper ini integrasi pembangkit yang dipilih adalah pembangkit dari PLN dengan pembangkit dari sistem BAPV. Proses kendali sistem hibrid antara BAPV dan PLN dilakukan oleh unit kontroler. Dalam hal ini controller yang digunakan yaitu *Programable Logic*



Gambar 5. Sistem hibrid PV-PLN

Controller (PLC). PLC dipilih sebagai pengatur atau unit kendali dalam menentukan pembangkit mana yang akan bekerja pada setiap kondisi [12]. Salah satu contoh sistem hibrid dapat dilihat pada Gambar 5 [11].

F. Perhitungan Ekonomis Sistem BAPV

Perhitungan ekonomis sistem BAPV menggunakan sistem perhitungan studi kelayakan bisnis, pada dasarnya bertujuan untuk menentukan kelayakan bisnis berdasarkan kriteria investasi [13].

Kriteria tersebut diantaranya adalah :

a. NPV (Net Present Value)

NPV adalah nilai sekarang dari keseluruhan *Discounted Cash Flow* atau gambaran ongkos total atau pendapatan total proyek dilihat dengan nilai sekarang (nilai pada awal proyek) [13]. Secara matematik nilai NPV dapat dinyatakan seperti (7).

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CIF_t}{(1+k)^t} - COF, \quad (7)$$

dimana :

k = Discount rate yang digunakan

COF = Cash outflow /Investasi

CIF_t = Cash in flow pada periode t

n = Periode terakhir cash flow diharapkan.

b. Internal Rate of Return (IRR)

IRR adalah besarnya tingkat keuntungan yang digunakan untuk melunasi jumlah uang yang dipinjam agar tercapai keseimbangan ke arah nol dengan pertimbangan keuntungan. IRR ditunjukkan dalam bentuk %/periode dan biasanya bernilai positif ($I > 0$) [13]. Untuk menghitung IRR dapat menggunakan Persamaan (8):

$$IRR = i_1 + \left(\frac{NPV_1}{NPV_1 - NPV_2} \right) \times (i_2 - i_1), \quad (8)$$

dimana :

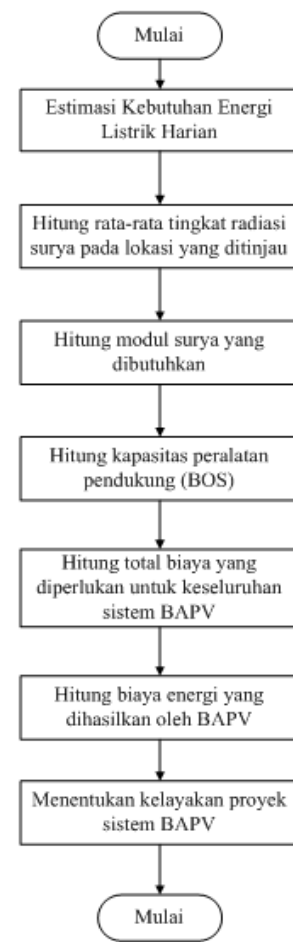
IRR = Internal Rate of Return (%)

NPV_1 = Net Present Value dengan tingkat bunga rendah

NPV_2 = Net Present Value dengan tingkat bunga tinggi

i_1 = tingkat bunga pertama (%)

i_2 = tingkat bunga kedua (%).



Gambar 6. Diagram alir penelitian

c. Benefit Cost Ratio (BCR)

Benefit-Cost Ratio adalah rasio perbandingan antara pemasukan total sepanjang waktu operasi pembangkit dengan biaya investasi awal [13]. Dirumuskan dalam Persamaan (9):

$$BCR_t = \frac{\sum_1^n CIF_t}{\text{Investment Cost}}. \quad (9)$$

d. Payback Periode (PP)

Payback Period adalah lama waktu yang diperlukan untuk mengembalikan dana investasi [13], yang dirumuskan dalam Persamaan (10):

$$PP = \frac{\text{Investment Cost}}{\text{Annual CIF}}. \quad (10)$$

III. METODE KAJIAN TEKNIS DAN EKONOMIS SISTEM HIBRID BAPV-PLN PADA ATAP GEDUNG POLITEKNIK ACEH

Metodologi penelitian yang digunakan adalah simulasi menggunakan software helioscope dan juga perhitungan secara teori. Alur penelitian disusun dalam beberapa tahapan, seperti diperlihatkan pada Gambar 6.

A. Mengestimasi Kebutuhan Energi dari Gedung yang Ditinjau

Data yang ditampilkan adalah data kebutuhan atau konsumsi energi listrik pada Tahun 2014, 2015, dan 2016 dalam kWh/hari. Data kebutuhan energi listrik tersebut dapat dilihat pada grafik Gambar 7.

B. Mengestimasi Energi yang Dihasilkan

Tahapan-tahapan dalam mengestimasi energi yang dihasilkan yaitu :

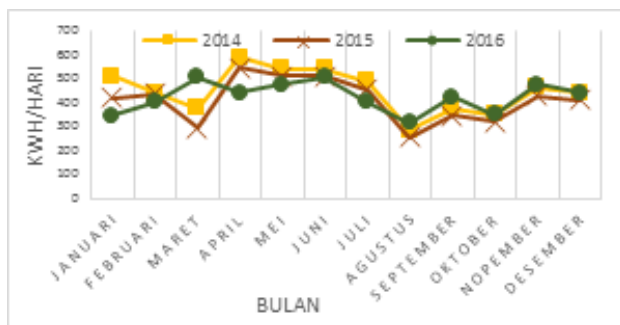
- Pengambilan data hasil pengukuran radiasi matahari selama setahun yaitu pada Tahun 2009 pada Dinas Pengairan Balai Klimatologi Wilayah Sumatera-1 di Waduk Keliling Indra Puri Aceh Besar.

Data yang diperoleh adalah data radiasi Matahari pada Tahun 2009 mulai dari bulan Januari sampai bulan Desember. Data yang ditampilkan adalah data harian. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada grafik Gambar 8.

- Menghitung jumlah panel surya

Sebelum menentukan jumlah panel yang dibutuhkan, maka hal yang harus diketahui adalah menentukan efisiensi panel surya setelah itu menghitung daya yang dibangkitkan pada area *array* panel surya tersebut (Watt *peak*) dan efek temperatur terhadap daya keluaran. Efek temperatur terhadap keluaran energi listrik perlu dikaji, karena setiap perubahan suhu pada lingkungan di sekitar panel surya, maka energi keluaran pada panel surya juga akan berubah [7].

Data temperatur maksimum setiap bulannya pada



Gambar 7. Profil konsumsi energi listrik rata-rata per hari tiap bulan periode 2014, 2015, 2016



Gambar 8. Data Hasil Pengukuran Radiasi Matahari di Waduk Keliling Indra Puri Aceh Besar (kWh/m2/hari)

Tahun 2009 dapat dilihat pada grafik Gambar 9.

Setelah efek temperatur terhadap daya keluaran didapatkan, maka hal selanjutnya adalah menentukan PV area dengan mencari nilai insolation (G_{av}) terlebih dahulu, nilai G_{av} yang diambil adalah nilai terendah, nilai tersebut diambil dengan tujuan jika dalam kondisi cuaca kurang baik, panel surya masih dapat menghasilkan energi listrik yang dibutuhkan.

Setelah luas area PV didapatkan maka selanjutnya adalah menghitung jumlah panel surya yang dibutuhkan dengan melakukan perhitungan daya yang dibangkitkan (Watt peak) pada area *array* terlebih dahulu.

- Mencoba beberapa teknologi atau bahan sel surya

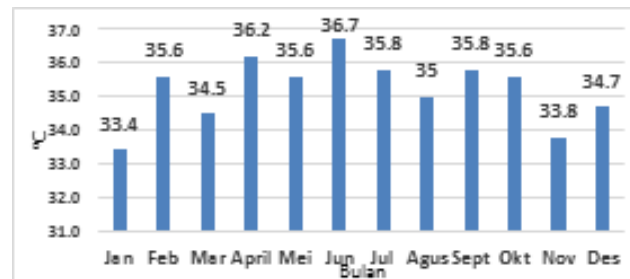
Dalam hal ini bahan modul surya yang akan dicoba adalah bahan monocrystalline dan polycrystalline dengan jumlah modul yang sama dan daya output yang sama.

- Menentukan posisi atau letak panel surya

Gedung Politeknik Aceh yang terletak pada Desa Pango Raya, Kecamatan Ule Kareng Kota Banda Aceh berada pada posisi koordinat $5^{\circ}32'07.8''$ Lintang Utara dan $95^{\circ}20'45.8''$ Bujur Timur seperti terlihat pada Gambar 10. Sedangkan Penempatan panel surya pada atap Gedung Politeknik Aceh ditempatkan menghadap ke arah timur dan barat, karena arah posisi Gedung Politeknik Aceh menghadap ke utara dan selatan, sehingga panel surya mendapatkan energi matahari yang maksimal dan lebih merata [2] seperti terlihat pada Gambar 11.

- Menghitung kapasitas baterai

Setelah jumlah panel surya yang dibutuhkan telah didapatkan maka selanjutnya adalah menghitung kapasitas baterai dengan ketentuan hanya mensuplai pada hari itu



Gambar 9. Temperatur maksimum setiap bulan



Gambar 10. Posisi kampus Politeknik Aceh



Gambar 11. Desain penempatan modul surya pada sisi atap Gedung Politeknik Aceh

saja dan besarnya DOD (*Deep of Discharge*) pada baterai adalah 80 % [7].

f. Menghitung kapasitas *charge controller*

Kapasitas *charge controller* dapat diketahui dengan cara melihat spesifikasi dari panel surya yang digunakan, yaitu dengan melihat nilai I_{sc} (Arus *Short Circuit*) yang tertera pada *nameplate* panel surya, selanjutnya nilai tersebut dikalikan dengan jumlah panel surya yang digunakan.

g. Menghitung kapasitas inverter

Pada pemilihan inverter, diupayakan kapasitas kerjanya mendekati kapasitas daya yang dilayani. Hal ini agar efisiensi kerja inverter menjadi maksimal.

h. Menentukan sudut kemiringan panel pada posisi atap gedung

Sudut kemiringan panel perlu ditentukan untuk melihat radiasi matahari yang paling optimum ditangkap oleh panel surya. Sudut kemiringan panel diambil berdasarkan posisi *latitude* [14] dari Gedung Politeknik Aceh dan sudut azimuth ditentukan dengan sudut arah datangnya sinar matahari.

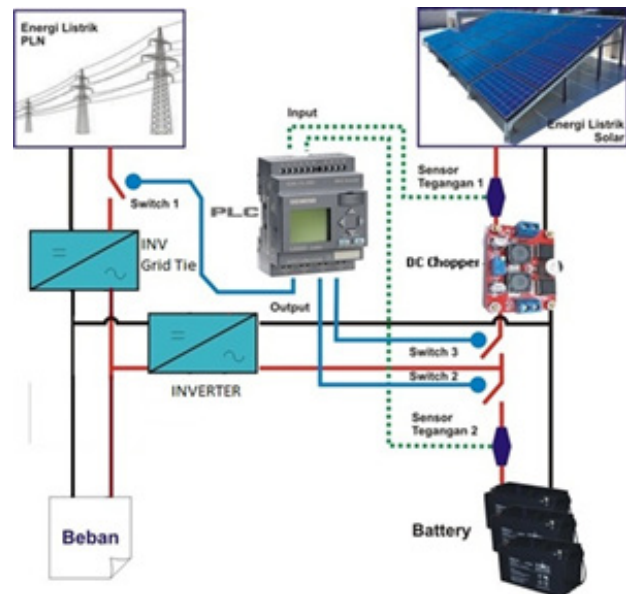
i. Menentukan Jenis Kabel

Memilih ukuran dan jenis kabel yang benar akan meningkatkan performa dan kualitas dari sistem fotovoltaik. Kabel DC diantara modul fotovoltaik dan baterai melalui regulator tegangan harus mampu menahan arus maksimal, UV, cuaca, dan temperatur yang dihasilkan oleh modul. Tegangan maksimum DC dibolehkan 1.8 kV dan suhu berkisar antara 40 °C sampai 90 °C [7].

C. Sistem Hybrid BAPV-PLN

Pada saat panel surya tidak bekerja maksimal akibat cuaca yang kurang baik, maka kebutuhan energi diambil dari baterai, jika arus pada baterai tidak mencukupi, maka arus dari PLN yang akan disalurkan ke dalam sistem BAPV. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 12 dan Gambar 13.

Prinsip kerja blok diagram di atas yaitu sistem hybrid bekerja berdasarkan sensor tegangan pada panel surya dan sensor tegangan baterai. Jika sensor 1 pada kondisi Off dan

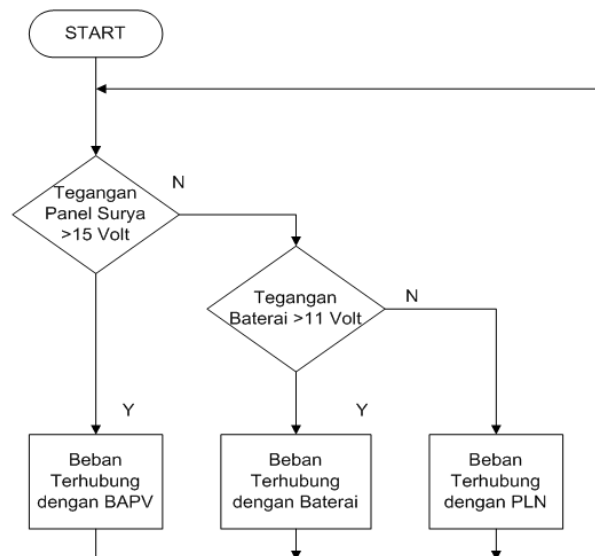


Gambar 12. Blok diagram sistem hybrid BAPV-PLN

sensor 2 pada kondisi Off maka beban akan disuplai oleh PLN, selanjutnya PLN akan mengisi baterai (*charging*). Jika sensor 1 pada kondisi Off dan sensor 2 On maka beban akan disuplai oleh baterai. Jika sensor 1 pada kondisi On dan Sensor 2 pada kondisi Off maka beban akan disuplai oleh BAPV dan melakukan proses *charging*, dan jika kedua sensor pada kondisi On maka beban akan disuplai oleh BAPV dan tidak melakukan proses *charging*. Apabila kondisi surplus energi, maka daya dari BAPV akan masuk ke jaringan PLN melalui inverter *grid tie*.

D. Menentukan Kelayakan Proyek BAPV Melalui Studi Kelayakan

Untuk menentukan suatu proyek layak untuk dijalankan, maka harus memenuhi kriteria di bawah ini, yaitu :



Gambar 13. Diagram alir sistem hybrid BAPV-PLN

1. NPV harus lebih besar dari pada 0
2. Waktu pengembalian modal (*Payback Period*) tidak melebihi umur peralatan
3. BCR harus pada nilai positif
4. IRR harus lebih besar dari pada 0
5. Gross B/C Ratio > 1.

Informasi harga dari setiap komponen bersumber dari hasil wawancara dan pencarian menggunakan internet melalui *online market place*.

Tabel 1. Estimasi Biaya Awal (*Initial Cost*) Sistem Hibrid BAPV -PLN Gedung Politeknik Aceh

No	Nama Peralatan	Volume	Unit Biaya (Rp)	Total Biaya (Rp)
1	Panel Surya 200 Wp	989	4.125.000	4.079.625.000
2	Inverter 100 kW Bidirectional	1	641.238.000	641.238.000
3	Baterai 12 V 375 Ah	172	6.538.000	1.124.536.000
4	ATS 220/380 V	1	84.500.000	84.500.000
5	PLC Twido	1	4.500.000	4.500.000
6	Sensor Tegangan 5 Volt	2	50.000	100.000
7	Charger Controller Tri Star 60	130	15.925.000	2.070.250.000
8	Biaya Pengiriman	1	10.000.000	10.000.000
9	Biaya instalasi dan Setting BAPV	1	20.000.000	20.000.000
10	Rak Panel Surya	989	470.000	464.830.000
11	Biaya Instalasi rak panel surya	1	10.000.000	10.000.000
12	Biaya pengiriman material	1	1.000.000	1.000.000
Total biaya awal				8.510.579.000

Tabel 2. Estimasi biaya penggantian alat (*replacement cost*)

No	Nama Komponen	Tahun	Biaya (Rp)
1	Inverter	5	641.238.000
2	ATS	5	84.500.000
3	Baterai	3	1.124.536.000
4	Charge controller	5	2.070.250.000
5	PLC	5	4.500.000
6	Sensor Tegangan	5	100.000
Total Biaya			3.925.124.000

Tabel 3. Estimasi biaya pemeliharaan dan operasional (*Maintenance and Operational Cost*)

No	Uraian	Biaya (Rp)
1	Pemeliharaan Solar Panel	20.398.125
2	Pemeliharaan ATS	422.500
3	Pemeliharaan Inverter	3.206.190
4	Pemeliharaan PLC	22.500
5	Pemeliharaan Controller	10.351.250
6	Pemeliharaan Baterai	5.622.680
7	Biaya Operasional	42.552.895
Total Biaya Pemeliharaan		82.576.140

IV. HASIL DAN ANALISA

A. Hasil Kajian Teknis

Dari data konsumsi energi listrik pada Tahun 2014, 2015, dan 2016 seperti yang terlihat pada Gambar 7, nilai tertinggi terdapat pada bulan April pada Tahun 2014 yaitu 592 kWh perhari, nilai tersebut akan digunakan sebagai acuan untuk menghitung luas area pemasangan sistem BAPV dan juga untuk menghitung jumlah panel surya yang digunakan serta kapasitas peralatan pendukung yang akan digunakan.

Hasil perhitungan daya yang berkurang pada saat temperaturnya naik menjadi 36,7 °C adalah 11,7 watt, jika menggunakan panel surya dengan spesifikasi 200 Wp, maka daya nya menjadi 188,3 watt. Sedangkan untuk memenuhi rata-rata harian penggunaan energi sebesar 592 kWh didapatkan luas area pemasangan PV yaitu 1424 m² atau 4672 ft² dan jumlah modul surya yang digunakan adalah 989 buah dengan pembagian setiap *segment* nya yaitu pada segment 1 berjumlah 400 modul, pada segment 2 berjumlah 189 modul dan pada segment 3 berjumlah 400 modul.

Pemilihan teknologi bahan *Monocrystalline* mengacu kepada data sheet bahan *monocrystalline* dan *Polycrystalline* seperti tegangan V_{oc} (Tegangan *Open Circuit*) pada bahan *Monocrystalline* jauh lebih besar nilainya dibandingkan dengan bahan *Polycrystalline* yaitu pada bahan jenis Mono V_{oc} nya adalah 30,34 Volt DC, sedangkan pada bahan Poly, V_{oc} nya adalah 30,29 Volt DC. Selanjutnya jika dilihat pada efisiensi modul, bahan *Monocrystalline* juga jauh lebih besar nilai efisiensinya dibandingkan dengan bahan jenis *Polycrystalline*, jika pada bahan *Mono* nilai efisiensinya adalah 15,27 %, maka pada bahan jenis *Poly*, nilai efisiensinya adalah 12 %.

Dari Gambar 14 dapat dilihat bahwa energi tertinggi yang dihasilkan perharinya terdapat pada bulan Juni yaitu 763 kWh, hal ini sangat sesuai mengingat pada bulan tersebut intensitas radiasi Matahari sangat tinggi, sedangkan energi terendah yang dihasilkan terdapat pada bulan Januari yaitu 523 kWh. Sehingga dengan energi yang dihasilkan mencapai 237 MWh/tahun, maka inverter yang digunakan yaitu 4 buah dengan kapasitas 24 kW serta kapasitas *charge controller* yang digunakan adalah

Tabel 4. Penyusunan cashflow proyek sistem hibrid BAPV-PLN pada atap gedung Politeknik Aceh

Tahun	Biaya Investasi (Rp) (a)(Juta)	O&M (Rp)	Manfaat Bersih (Rp) c=(b-a)	DR (15%) (d) DF= 1/(1+i) ^t	PV Biaya (e=a.b)	PV Manfaat (f=b.d)	Manfaat Bersih (Rp) (g=c.d)
0	8.510.579.000	0	-8.510.579.000	1	8.510.579.000	0	-8.510.579.000
1		82.576.140	4.558.423.860	0,87	71.805.339	4.035.652.174	3.963.846.835
2		82.576.140	4.558.423.860	0,76	62.439.425	3.509.262.760	3.446.823.335
3	1.124.536.000	82.576.140	4.558.423.860	0,66	54.295.152	3.051.532.835	2.997.237.682
4		82.576.140	4.558.423.860	0,57	47.213.176	2.653.506.813	2.606.293.637
5	2.800.588.000	82.576.140	4.558.423.860	0,50	41.054.936	2.307.397.229	2.266.342.293
6	1.124.536.000	82.576.140	4.558.423.860	0,43	35.699.944	2.006.432.373	1.970.732.429
7		82.576.140	4.558.423.860	0,38	31.043.430	1.744.723.802	1.713.680.373
8		82.576.140	4.558.423.860	0,33	26.994.287	1.517.151.132	1.490.156.846
9	1.124.536.000	82.576.140	4.558.423.860	0,28	23.473.293	1.319.261.854	1.295.788.562
10	2.800.588.000	82.576.140	4.558.423.860	0,25	20.411.559	1.147.184.221	1.126.772.662
11		82.576.140	4.558.423.860	0,21	17.749.182	997.551.497	979.802.315
12	1.124.536.000	82.576.140	4.558.423.860	0,19	15.434.071	867.436.084	852.002.013
13		82.576.140	4.558.423.860	0,16	13.420.931	754.292.247	740.871.316
14		82.576.140	4.558.423.860	0,14	11.670.375	655.906.302	644.235.927
15	3.925.124.000	82.576.140	4.558.423.860	0,12	10.148.152	570.353.306	560.205.154
16		82.576.140	4.558.423.860	0,11	8.824.480	495.959.396	487.134.916
17		82.576.140	4.558.423.860	0,09	7.673.461	431.269.040	423.595.579
18	1.124.536.000	82.576.140	4.558.423.860	0,08	6.672.575	375.016.557	368.343.982
19		82.576.140	4.558.423.860	0,07	5.802.239	326.101.354	320.299.115
20		82.576.140	4.558.423.860	0,06	5.045.425	283.566.395	278.520.969
	23.659.559.000	1.651.522.800	82.657.898.200		9.027.450.432	29.049.557.370	20.022.106.937

7813 A dan kapasitas baterai yang digunakan dalam sistem BAPV adalah 64.487 Ah 12 Volt atau 172 buah baterai dengan masing-masing kapasitas sebesar 12 Volt 375 Ah. Sedangkan sudut kemiringan panel surya yang sesuai dengan posisi latitude dari Gedung Politeknik Aceh yaitu 5°, mengingat sudut 5° terlalu landai yang dapat mengakibatkan terjadinya penumpukan kotoran debu dan juga efek panas yang ditimbulkan dari gedung serta kurang efektifnya dalam pemeliharaan secara natural (oleh air hujan), sehingga dapat mengakibatkan berkurangnya efisiensi panel surya, maka sudut kemiringan panel surya ditambah 20°, sehingga sudut yang digunakan dalam penerapan sistem hibrid BAPV-PLN menjadi 25°. Sudut 25° juga telah disimulasikan untuk mendapatkan nilai radiasi matahari yang paling optimal dalam menerima

radiasi matahari di antara beberapa sudut yang telah dicoba.

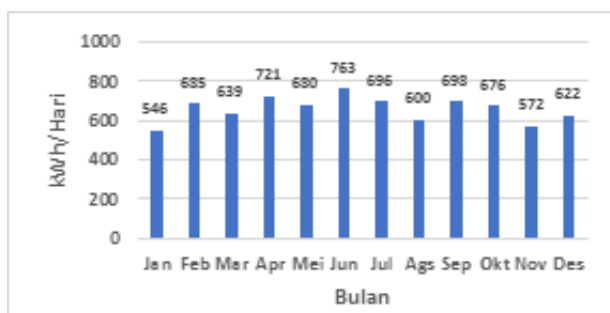
B. Hasil Kajian Ekonomis

Adapun kajian ekonomis pada proyek sistem hibrid BAPV-PLN pada atap Gedung Politeknik Aceh menggunakan perhitungan berbasis studi kelayakan bisnis dengan mengikuti ketentuan sebagai berikut:

Penyusunan *cashflow* menggunakan beberapa asumsi diantaranya :

- *Discount rate* (Suku Bunga) = 15%
- *Discount factor* = 25 %
- Umur ekonomis BAPV = 20 Tahun
- Harga Jual Energi Listrik = 17 \$/kWh

Dari Tabel 5 dapat dilihat bahwa, hasil perhitungan NPV yaitu Rp. 20.022.106.937 yang berarti proyek ini menguntungkan, sesuai dengan kriteria kelayakan proyek $NPV > 0$ dan waktu pengembalian modal (*Payback Period*) juga tidak melebihi umur ekonomis dari suatu pembangkit yaitu 5,2 tahun. Rasio keuntungan antara biaya yang ditunjukkan oleh BCR merupakan angka yang positif yaitu 3,49 dan yang terakhir yaitu IRR yang diperoleh sebesar 36 %. Berdasarkan hasil evaluasi tersebut proyek sistem hibrid BAPV-PLN pada atap gedung Politeknik Aceh dapat direalisasikan karena memenuhi kriteria studi kelayakan.



Gambar 14. Energi yang dihasilkan oleh BAPV

Tabel 5. Hasil evaluasi proyek

No	Parameter Evaluasi	Hasil Perhitungan	Kriteria Kelayakan Proyek
1	NPV	Rp. 20.022.106.937	NPV > 0
2	PP	5,2 Tahun	PP < Umur Ekonomis Proyek
3	BCR	3,49	BCR > 1
4	IRR	36 %	IRR > 0

V. KESIMPULAN

Dari hasil kajian teknis, energi yang dihasilkan melalui sistem hibrid BAPV-PLN mampu menangani kebutuhan energi listrik di Gedung Politeknik Aceh. Sedangkan dari kajian ekonomis bahwa proyek sistem hibrid BAPV-PLN pada Atap Gedung Politeknik Aceh dapat direalisasikan karena memenuhi kriteria studi kelayakan.

REFERENSI

- [1] Thorsten S. "Integration of Photovoltaics in Buildings—Support Policies Addressing Technical and Formal Aspects," *Energies*, pp. 2982-3001, 2013.
- [2] Kalpesh A. Joshi, dan N. M. Pindoriya, "Impact Investigation of Rooftop Solar PV System: A Case Study in India," *Innovative Smart Grid Technologies Europe (ISGT) 2012, 3rd IEEE PES*, 2012, pp.1-8.
- [3] Rahman, M.M., L. K. Haur, dan H. Y. Rahman, "Building Integrated Photovoltaic (BIPV) in Malaysia, An Economic Feasibility Study," *Elixir Finance* 45, pp. 7683-7688, 2012.
- [4] Oko, C. O. C, E.O. Diemuodeke, N.F. Omunakwe, dan E. Nnamdi, "Design and Economic Analysis of a Photovoltaic System: A Case Study," *Int. Journal of Renewable Energy Development* 3, pp. 65-73, 2012.
- [5] Ted James, Alan Goodrich, Michael Woodhouse, Robert Margolis, dan Sean Ong., *Building-Integrated Photovoltaics (BIPV) in the Residential Sector: An Analysis of Installed Rooftop System Prices*. NREL, 2011.
- [6] Viridian Concept. Viridian solar. Available online: <http://www.viridiansolar.co.uk/Galleries/PV> (Diakses 2 Desember 2016).
- [7] Assad Abu-Jasser, "A Stand-Alone Photovoltaic System, Case Study: A Residence in Gaza." Department of Environmental Engineering, Sepuluh Nopember Institute of Technology, Surabaya & Indonesian Society of Sanitary and Environmental Engineers, 2010, pp. 81-91.
- [8] Firstgreen Consulting. Investment options in off-grid and grid connected rooftop solar PV systems. Available online: <http://www.firstgreen.co/2013/05/investment-options-in-off-grid-and-grid-connected-rooftop-solar-pv-systems> (Diakses 10 Desember 2016).
- [9] Tom Markvarta and Luis Castaner, *Principles of Solar Cell Operation*, Elsevier Ltd, 2013.
- [10] Bhalchandra V. Chikate, dan Y.A. Sadawarte. "The Factors Affecting the Performance of Solar Cell," *International Conference on Quality Up-gradation in Engineering, Science and Technology* (ICQUEST), 2015.
- [11] Dewi Purnama Sari dan Refdinal Nazir, "Optimalisasi Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Diesel Generator-Photovoltaic Array Menggunakan Homer (Studi Kasus : Desa Sirilogui, Kabupaten Kepulauan Mentawai)," *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, Maret 2015.
- [12] Puloeng Raharjo, *Perancangan Sistem Hibrid Solar Cell -Baterai-PLN Menggunakan Programmable Logic Controllers*, Kutipan Skripsi, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Jember 2013.
- [13] Tze San Ong dan Chun Hau Thum, "Net Present Value and Payback Period for Building Integrated Photovoltaic Projects in Malaysia," *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, Februari 2013.
- [14] Hassane Darhmaoui dan Driss Lahjouji. "Latitude Based Model for Tilt Angle Optimization for Solar Collectors in the Mediterranean Region," *The Mediterranean Green Energy Forum 2013, Energy Procedia* 42, 2013, pp. 426– 435.

Penerbit:

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7, Banda Aceh 23111

website: <http://jurnal.unsyiah.ac.id/JRE>

email: rekayasa.elektrika@unsyiah.net

Telp/Fax: (0651) 7554336

