Studi Kelayakan Pemasangan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Tenaga *Hybrid*

Ibnu Razak[1], Husein Mubarok[2]

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia
Jl Kaliurang KM 14.5 Yogyakarta, Indonesia
[1]12524069@students.uii.ac.id
[2]155241305@uii.ac.id

6 Feb 2019

Abstrak— Penggunaan energi listrik dari tahun ke tahun semakin besar seiring dengan pertambahan jumlah penduduk, industry, dan lain-lain. Perusahaan listrik Negara (PLN) sebagai penyedia utama jaringan energi listrik harus memiliki cadangan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat yang semakin besar. Penelitian ini bertujuan sebagai penyedia cadangan kebutuhan energi listrik masyarakat yang bersumber dari energi terbarukan. Dalam perencanaan ini digunakan *software* HOMER untuk mendesain system pembangkit listrik energi terbarukan yang berasal dari angin dan panas matahari. *Software* HOMER berfungsi untuk mengoptimalkan ukuran jenis pembangkit terutama komponen penyusun pembangkit listrik tenaga *hybrid* sehingga diperoleh pembangkit listrik yang lebih ekonomis sebagai penyedia cadangan energi listrik. Hasil energi listrik yang dihasilkan dari desain system pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) sebesar 221.866 kWh. *Renewable, penetration* komponen dalam menghasilkan energi listrik sebesar 84% dari total energi listrik yang dihasilkan. *Cost of* energi (COE) yang dikeluarkan per 1 kWh sebesar Rp.980,45/kWh dan total biaya awal (NPC) dalam pembangunan pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) sebesar Rp.2.789.010.000. Sedangkan *annualized cost* (biaya tahunan) perawatan komponen pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) yang dikeluarkan dalam setahun sebesar Rp.215.742.140.

Kata kumci; HOMER, masyarakat, PLN, NPC, COE, *Annualized cost*, *Renewable penetration*, total produksi energi listrik.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan energi listrik dari tahun ke tahun semakin bertambah. Hal ini disebabkan karena jumlah penduduk dari tahun ke tahun semakin bertambah sehingga penggunaan energi listrik yang di konsumsi oleh masyarakat semakin besar. Untuk mencukupi penggunaan energi listrik yang semakin bertambah diperlukan referensi baru dalam menyediakan energi listrik terutama sumber energi yang berasal dari alam karena untuk sekarang ini sebagai besar energi listrik yang dihasilkan berasal dari bahan bakar fosil. Dimana, dalam penggunaan bahan bakar fosil akan mengakibatkan dampak yang buruk bagi lingkungan dan jumlah bahan bakar fosil sangat terbatas dan akan habis jika sering digunakan. Untuk itu, masyarakat dituntut agar menemukan sumber-sumber energi yang tidak terbatas dan bersifat ramah lingkungan.

Energi terbarukan merupakan sebuah energi yang berasal dari alam dan jumlahnya tidak terbatas. Selain itu, dalam penggunaannya energi terbarukan sangat ramah terhadap lingkungan. Ada beberapa jenis energi terbarukan yang dapat dikonversi menjadi energi listrik yaitu air, angin, cahaya matahari, gelombang laut, biomassa dan lain-lain.

Pada penelitian ini, penulis akan merancang sebuah sistem pembangkit *hybrid* tenaga bayu dan surya yang akan dimanfaatkan sebagai penyedia cadangan energi listrik masyarakat. Tetapi, dalam proses perancangan pembangkit ini ada beberapa faktor yang harus diperhatikan antara lain kecepatan angin dan panas udara. Faktor inilah yang paling utama dalam menentukan lokasi pembangkit ini ditempatkan. Untuk itu diperlukan studi terlebih dahulu untuk mengetahui kondisi alam dimana pembangkit listrik ini akan ditempatkan. Studi ini bertujuan untuk mengetahui apakah pembangkit listrik ini efektif jika ditempatkan dilokasi yang menjadi objek penelitian.

Perancangan sistem *hybrid* pada penelitian ini menggunakan *software* HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*). *Software* ini mampu mendesain sistem dan mensimulasikan sistem serta menentukan konfigurasi sistem terbaik. Selain itu, *software* ini mampu melakukan perhitungan matematis mengenai biaya-biaya yang akan dikeluarkan dari sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter (kecepatan angin, intensitas cahaya matahari, dan data beban konsumsi energi listrik masyarakat) terhadap hasil optimasi desain sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH).

Studi Kelayakan Pemasangan Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Tenaga *Hybrid*

(Studi Kasus : Desa Gadingsari, Dusun Wonoroto, Bantul)

Ibnu Razak[1], Husein Mubarok[2]

Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia
Jl Kaliurang KM 14.5 Yogyakarta, Indonesia
[1]12524069@students.uii.ac.id
[2]155241305@uii.ac.id

***Abstrak*—** Penggunaan energi listrik dari tahun ke tahun semakin besar seiring dengan pertambahan jumlah penduduk, industry, dan lain-lain. Perusahaan listrik Negara (PLN) sebagai penyedia utama jaringan energi listrik harus memiliki cadangan energi listrik untuk memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat yang semakin besar. Penelitian ini bertujuan sebagai penyedia cadangan kebutuhan energi listrik masyarakat yang bersumber dari energi terbarukan. Dalam perencanaan ini digunakan *software* HOMER untuk mendesain system pembangkit listrik energi terbarukan yang berasal dari angin dan panas matahari. *Software* HOMER berfungsi untuk mengoptimalkan ukuran jenis pembangkit terutama komponen penyusun pembangkit listrik tenaga *hybrid* sehingga diperoleh pembangkit listrik yang lebih ekonomis sebagai penyedia cadangan energi listrik. Hasil energi listrik yang dihasilkan dari desain system pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) sebesar 221.866 kWh. *Renewable penetration* komponen dalam menghasilkan energi listrik sebesar 84% dari total energi listrik yang dihasilkan. *Cost of* energi (COE) yang dikeluarkan per 1 kWh sebesar Rp.980,45/kWh dan total biaya awal (NPC) dalam pembangunan pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) sebesar Rp.2.789.010.000. Sedangkan *annualized cost* (biaya tahunan) perawatan komponen pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) yang dikeluarkan dalam setahun sebesar Rp.215.742.140.

Kata kumci; HOMER, masyarakat, PLN, NPC, COE, *Annualized cost*, *Renewable penetration*, total produksi energi listrik.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan energi listrik dari tahun ke tahun semakin bertambah. Hal ini disebabkan karena jumlah penduduk dari tahun ke tahun semakin bertambah sehingga penggunaan energi listrik yang di konsumsi oleh masyarakat semakin besar. Untuk mencukupi penggunaan energi listrik yang semakin bertambah diperlukan referensi baru dalam menyediakan energi listrik terutama sumber energi yang berasal dari alam karena untuk sekarang ini sebagai besar energi listrik yang dihasilkan berasal dari bahan bakar fosil. Dimana, dalam penggunaan bahan bakar fosil akan mengakibatkan dampak yang buruk bagi lingkungan dan jumlah bahan bakar fosil sangat terbatas dan akan habis jika sering digunakan. Untuk itu, masyarakat dituntut agar menemukan sumber-sumber energi yang tidak terbatas dan bersifat ramah lingkungan.

Energi terbarukan merupakan sebuah energi yang berasal dari alam dan jumlahnya tidak terbatas. Selain itu, dalam penggunaannya energi terbarukan sangat ramah terhadap lingkungan. Ada beberapa jenis energi terbarukan yang dapat dikonversi menjadi energi listrik yaitu air, angin, cahaya matahari, gelombang laut, biomassa dan lain-lain.

Pada penelitian ini, penulis akan merancang sebuah sistem pembangkit *hybrid* tenaga bayu dan surya yang akan dimanfaatkan sebagai penyedia cadangan energi listrik masyarakat. Tetapi, dalam proses perancangan pembangkit ini ada beberapa faktor yang harus diperhatikan antara lain kecepatan angin dan panas udara. Faktor inilah yang paling utama dalam menentukan lokasi pembangkit ini ditempatkan. Untuk itu diperlukan studi terlebih dahulu untuk mengetahui kondisi alam dimana pembangkit listrik ini akan ditempatkan. Studi ini bertujuan untuk mengetahui apakah pembangkit listrik ini efektif jika ditempatkan dilokasi yang menjadi objek penelitian.

Perancangan sistem *hybrid* pada penelitian ini menggunakan *software* HOMER (*Hybrid Optimization of Multiple Energy Resources*). *Software* ini mampu mendesain sistem dan mensimulasikan sistem serta menentukan konfigurasi sistem terbaik. Selain itu, *software* ini mampu melakukan perhitungan matematis mengenai biaya-biaya yang akan dikeluarkan dari sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid*.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh parameter (kecepatan angin, intensitas cahaya matahari, dan data beban konsumsi energi listrik masyarakat)

terhadap hasil optimasi desain sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH).

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. HOMER

HOMER merupakan *software* yang digunakan untuk merancang dan menganalisis sistem energi *hybrid* dan dikembangkan oleh nasional laboratorium energi terbarukan, Amerika Serikat. HOMER memodelkan sistem tenaga listrik dan biaya selama beroperasi, yang merupakan biaya total pemasangan dan biaya pengoperasian sistem. Selain itu, dalam HOMER banyak pilihan desain sistem yang bisa digunakan berdasarkan manfaat teknis dan nilai ekonominya.

Dalam pengoperasiannya HOMER melakukan 3 tugas utama yaitu:

1. Simulasi
2. Optimalisasi
3. Analisis sensitivitas

a. *Net Present Cost*

Net present cost yaitu biaya total yang akan digunakan selama masa pemasangan atau pun pengoperasian komponen sepanjang proyek berjalan. Untuk mengetahui nilai NPC (*net present cost*) dengan menggunakan persamaan 1.

NPC = *Capital Cost + Replacement Cost + O&M Cost + Fuels Cost - Salvage* (1)

Keterangan:

Capital costs	:	Biaya modal komponen (Rp).
Replacement costs	:	Biaya pergantian komponen (Rp).
O&M costs	:	Biaya operasional dan perawatan (Rp)
Fuel costs	:	Biaya bahan bakar (Rp).
Salvage	:	Sisa biaya pada komponen (Rp).

b. Total Produksi Energi

Untuk mengetahui jumlah energi listrik yang dihasilkan dari sistem energi terbarukan (tenaga *hybrid*) sepanjang sistem beroperasi dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 2.

$$E_{tot.prod} = E_{turbin\ angin} + E_{solar\ cell} + E_{grid} \quad (2)$$

Keterangan :

$E_{Total\ Produksi}$	:	Total produksi energi listrik (kWh).
$E_{Turbin\ angin}$	:	Total produksi energi angin (kWh).
$E_{solar\ cell}$	:	Total produksi energi *solar cell* (kWh)
E_{Grid}	:	Total produksi energi dari jaringan PLN (kWh).

c. *Annualized Cost*

Annualized cost digunakan untuk mengetahui total biaya tahunan dari desain sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid*. Untuk mengetahui biaya tahunanan dari sistem PLTH dapat diketahui dengan menggunakan rumus pada Persamaan 3.

Annualized Cost = Capital Cost + Replacement Cost + O&M Cost + Fuels Cost - Salvage (3)

Keterangan:

Annualized cost	:	Biaya tahunan sistem (Rp)

d. *Cost Of Energy*

Cost of Energy digunakan untuk mengetahui biaya yang dikeluarkan untuk membangkitkan energi listrik per kWh. Untuk mengetahui biaya yang dikeluarkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada Persamaan 4.

$$COE = \frac{Total\ AC}{E_{tot.produksi}} \quad (4)$$

Keterangan:

COE	;	Biaya yang dikeluarkan per kWh (Rp)
Total AC	:	Biaya tahunan sistem (Rp)
$E_{tot.produksi}$	:	Total produksi energi (kWh)

e. *Renewable Penetration*

Renewable penetration digunakan untuk mengetahui seberapa besar energi listrik yang dihasilkan dari total energi listrik yang diproduksi oleh sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH). Nilai *renewable penetration* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 5.

$$RP = \frac{E_{tot.komponen}}{E_{tot.prod.sistem}} \quad (5)$$

Keterangan:

RP	:	*Renewable penetration* (%)
$E_{tot.komponen}$	:	Total energi listrik yang dihasilkan dari *solar cell* dan turbin angin (kWh)
$E_{tot.prod.sistem}$	:	Total produksi energi listrik yang dihasilkan sistem (kWh)

B. *Pembangkit Sistem Hybrid*

Pembangkit sistem *hybrid* merupakan gabungan antara dua atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda baik yang berasal dari alam maupun yang berasal dari energi konvensional. Tujuan dari sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* yaitu untuk melengkapi satu sama lain dari kedua jenis pembangkit yang digabungkan, baik itu dari segi kelemahan dan meningkatkan jumlah produksi energi listrik.

a. Turbin Angin

Pada dasarnya, sistem turbin angin yaitu menangkap energi kinetik angin dan mengubahnya menjadi energi mekanik (gerak) melalui pisau turbin dan kemudian energi mekanik diubah menjadi energi listrik melalui generator listrik. Untuk mengetahui daya yang dihasilkan oleh turbin angin yang akan digunakan dalam penelitian ini, dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 6.

$$P = \frac{1}{2} * \rho * A * V^3 \quad (6)$$

Keterangan:

P	:	Daya (W).
ρ	:	Massa jenis angin (1,225 kg/m_3).

A : Luas penampang turbin (m^2) ($\frac{1}{4} * \pi * D$).
V : Kecepatan tiupan angin (m/s).
D : Diameter turbin angin (m).

b. Photovoltaic

Ketika modul PV terkena sinar matahari maka modul PV akan menghasilkan listrik arus searah (DC). Dengan menggunakan inverter, listrik arus searah akan diubah menjadi arus bolak balik (AC). Ada 2 tipe utama sistem PV yaitu *on grid* dan *off grid*.

Berdasarkan teknologi pembuatannya, ada 2 jenis panel surya yang sering digunakan yaitu

1. Monokristal *solar cell*
2. Polikristal *solar cell*

Faktor yang mempengaruhi tingkat kinerja dari panel surya yaitu:

1. Temperatur
2. Intensitas cahaya matahari
3. Orientasi rangkaian modul surya
4. Sudut orientasi matahari.

C. *Payback Period*

Payback period adalah metode yang digunakan untuk mengetahui waktu yang diperlukan untuk mengembalikan biaya yang dikeluarkan dalam pembangun proyek. Untuk mengetahui nilai dari *payback periode* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 7.

$$Payback\ period = \frac{Biaya\ investasi}{Pendapatan\ per\ tahun} \quad (7)$$

Sebelum mengetahui nilai *payback period* terlebih dahulu mengetahui nilai pendapatan dari penjualan energi listrik dalam setahun. Pendapatan penjualan energi listrik dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 8. Harga jual energi listrik terbarukan untuk wilayah Jawa secara keseluruhan sebesar Rp.911 per kWh.

$$Pendapatan = total\ produksi\ energi \times Harga\ jual \quad (8)$$

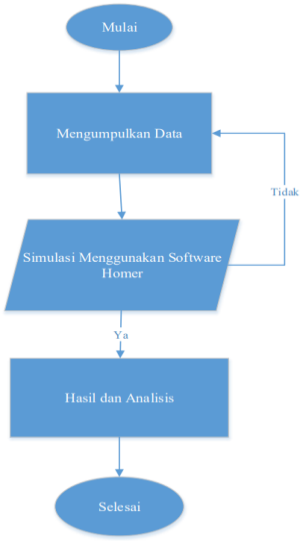
Keterangan:

$Payback\ period$	:	Waktu pengembalian modal (tahun).
$Biaya\ investasi$	:	Modal yang dikeluarkan (Rp).
$Pendapatan\ per\ tahun$	:	Pemasukan yang diperoleh per tahun (Rp).
$Total\ produksi\ energi$	:	Energi listrik yang diproduksi pembangkit per tahun (Rp).
$Harga\ jual$	:	Biaya yang dikeluarkan per kWh (Rp).

Proyek dikatakan layak jika waktu pengembalian modal kurang dari waktu perancangan proyek. Jika pengembalian modal lebih dari waktu perancangan proyek, maka proyek tersebut tidak layak untuk dibangun

III. METODE PENELITIAN

Diagram alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

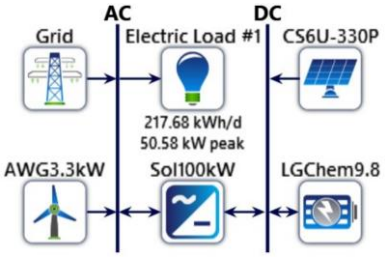


Gambar 1 Diagram alir penelitian

Pada tahap pertama dalam penyelesaian skripsi ini yaitu mengumpulkan data. Data yang dikumpulkan berupa data kecepatan angin, intensitas sinar matahari, dan data konsumsi energi listrik (dalam setahun). Untuk data kecepatan angin dan intensitas sinar matahari diperoleh dari disitus NASA. Sedangkan data konsumsi energi listrik masyarakat diperoleh dari PLN distribusi Bantul. Selain itu diperlukan data tambahan dalam studi literatur seperti jurnal, paper (nasional dan internasional), dan buku. Data ini digunakan sebagai referensi dalam penyelesaian skripsi ini. Pada tahap kedua, data yang telah diperoleh kemudian diolah menggunakan microsoft excel. Data yang diolah menggunakan microsoft excel yaitu data konsumsi energi listrik masyarakat. Pengolahan data ini bertujuan untuk mengetahui jumlah keseluruhan konsumsi energi listrik masyarakat dalam setahun. Pada tahap ketiga melakukan simulasi pada *software* HOMER. Simulasi ini bertujuan untuk mendesain sebuah skematik sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) dan mengetahui jumlah energi listrik yang dihasilkan dari sistem PLTH. Setelah sistem PLTH didesain kemudian memasukan data-data yang telah diperoleh pada sistem PLTH yang didesain pada *software* HOMER. Pada tahap terakhir, data-data yang telah dimasukan pada sistem PLTH kemudian dianalisis oleh *software* HOMER. Hasil analisis dari *software* HOMER berupa jumlah energi listrik yang dihasilkan, nilai *net present cost* (NPC), dan lain-lain. Selain itu hasil analisis *software* HOMER yaitu menghasilkan sebuah sistem yang optimal.

A. Desain Sistem

Dalam mendesain skematik sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* (PLTH) ada beberapa komponen yang digunakan yaitu turbin angin, *solar cell*, baterai, dan konverter. Desain sistem PLTH dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2 Desain skematik sistem PLTH

B. Komponen Penyusun Sistem PLTH

a. Turbin angin

Turbin angin yang digunakan untuk mendesain sistem skematik PLTH menggunakan jenis Aleko WG3000 3000W *Wind Power* generator sebanyak 12 buah dan dapat digunakan selama 20 tahun.

b. *Solar Cell*

Solar cell yang digunakan dalam desain skematik sistem PLTH menggunakan tipe CanadianSolar MaxPower CS6U-330P sebanyak 166 keping *solar cell* dan dapat digunakan selama 25 tahun.

c. Baterai

Baterai yang digunakan dalam desain skematik sistem PLTH menggunakan baterai jenis LGChem RESU10 9.8kWh sebanyak 10 buah dan dapat digunakan selama 10 tahun.

d. Inverter

Inverter yang digunakan dalam mendesain skematik sistem PLTH menggunakan jenis SolarEdge 100kW 277/480V 3-phase inverter sebanyak 1 buah dan dapat digunakan selama 15 tahun.

C. Parameter Yang digunakan

a. Kecepatan Angin

Data kecepatan angin dalam penelitian ini diperoleh dari situs NASA. Dimana, data yang digunakan merupakan rata-rata kecepatan angin per bulan dalam setahun. Data kecepatan angin dapar dilihat pada Tabel 1.

TABEL 1

DATA KECEPATAN ANGIN PER BULAN

Bulan	Kecepatan tiupan angin (m/s)
Januari	6,655
Februari	6,730
Maret	5,740
April	5,210
Mei	6,930
Juni	6,385
Juli	5,630
Agustus	5,820
September	5,915
Oktober	5,670
November	4,455
Desember	7,730

b. Radiasi Matahari

Data radiasi matahari dalam penelitian ini diperoleh dari situs NASA. Dimana, data yang digunakan merupakan rata-rata radiasi matahari per bulan dalam setahun. Data radiasi matahari dapat dilihat pada Tabel 2.

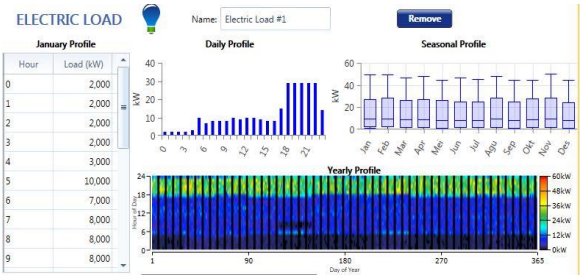
TABEL 2

DATA RADIASI MATAHARI PER BULAN

Bulan	Radiasi matahari (kWh/m^2/day)
Januari	6,070
Februari	3,860
Maret	5,340
April	6,690
Mei	5,120
Juni	4,860
Juli	5,490
Agustus	5,630
September	6,560
Oktober	6,780
November	7,040
Desember	2,550

c. Data Beban

Data beban dalam penelitian ini diperoleh dari PLN distribusi Bantul. Data beban yang digunakan yaitu rata-rata konsumsi energi listrik (kWh) masyarakat per bulan selama setahun. Jumlah data beban yang digunakan sebanyak 100 sampel data. Setelah data beban diperoleh kemudian di input menggunakan *software* HOMER. Jendela untuk menginput data beban pada *software* HOMER dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6 Jendela pengaturan beban

IV. HASIL DAN ANALISIS

A. Pengaruh Parameter Terhadap Desain Sistem *Hybrid*

Ada 3 parameter yang digunakan dalam mendesain sistem PLTH antara lain kecepatan angin, radiasi matahari, dan konsumsi energi listrik masyarakat. Ketiga parameter ini sangat mempengaruhi keluaran sistem. Apabila salah satu parameter tidak memenuhi standar komponen penyusun PLTH maka kinerja dari sistem tidak bekerja secara optimal.

B. Hasil optimasi desain skematik pembangkit listrik tenaga *hybrid*

Hasil optimasi bertujuan untuk mengetahui tingkat variabel komponen utama pada pembangkit listrik tenaga *hybrid* saat beroperasi. Dimana, hasil optimasi diperoleh ketika proses simulasi pada *software* HOMER telah selesai di jalankan. Pada Gambar 8 menunjukan hasil optimasi variabel dari masing-masing komponen yang terdapat pada desain skematik PLTH.



Gambar 8 Hasil optimasi desain skematik PLTH

C. Total produksi energi

Total produksi energi yang dihasilkan selama setahun dari sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* sebagai penyedia cadangan energi listrik masyarakat sebesar 221.866 kWh/tahun. Hasil dari total produksi energi selama setahun dari sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* dapat dilihat pada Tabel 3.

TABEL 3

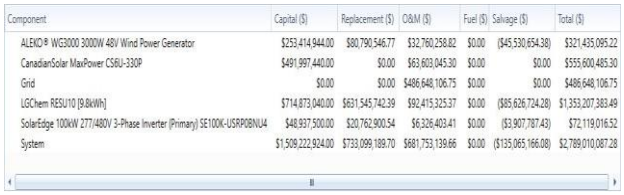
TOTAL PRODUKSI ENERGI LISTRIK

Komponen	Produksi (kWh)	Efisiensi (%)
Canadian Solar MaxPower CS6U-330P	91.058	41
AWG HC 3,3 kW *Wind Turbine*	97.024	43,7
Grid	33.784	15,2
Total	221.866	100

Berdasarkan Tabel 3 total produksi energi listrik dari turbin angin lebih besar dibandingkan *solar cell*. Hal ini disebabkan karena daya keluaran turbin angin lebih besar dibandingkan *solar cell* yakni sebesar 43,7% dalam menghasilkan energi listrik walaupun jumlah turbin angin yang digunakan lebih sedikit dibandingkan *solar cell* sedangkan *solar cell* dalam menghasilkan energi listrik sebesar 41%.

D. *Net present cost* (NPC)

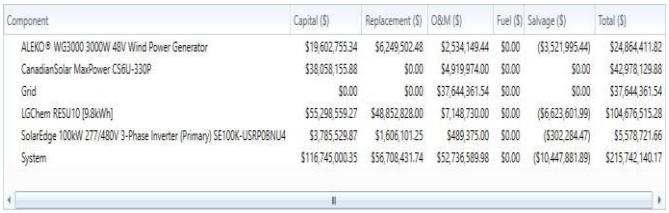
Biaya total yang digunakan untuk komponen dalam proyek pemasangan atau pun pengoperasian pembangkit listrik tenaga *hybrid* sebesar Rp.2.789.010.087. Pembagian biaya komponen dapat dilihat pada Gambar 9



Gambar 9 Hasil pembagian biaya *Net present cost*

E. *Annualized cost* (AC)

Total biaya tahunan yang dikeluarkan dari sistem PLTH sebesar Rp.215.742.140,17. Nilai *annualized cost* akan digunakan untuk mengetahui nilai *Cost of* energi. Pembagian biaya tahunan komponen dari desain sistem dapat dilihat pada Gambar 10



Gambar 10 Pembagian biaya tahunan komponen

F. *Cost of energy* (COE)

Cost of energy dihitung untuk mengetahui biaya yang dikeluarkan per 1 kWh dari desain sistem. *Cost of energy* yang dihasilkan dari simulasi sistem *hybrid* menggunakan HOMER sebesar Rp.980/kWh.

$$COE = \frac{Total\ AC}{Energi\ total\ produksi\ sistem}$$

$$= \frac{Rp.215.742.140}{221.866\ kWh}$$

= 972 per kWh

G. *Renewable penetration*

Renewable penetration digunakan untuk mengetahui kinerja dari turbin angin dan *solar cell* dalam menghasilkan energi listrik. Untuk mengetahui kinerja dari turbin angin dan *solar cell* dapat diketahui dengan menggunakan persamaan 5. Jumlah energi listrik yang dihasilkan dari komponen energi terbarukan dapat dilihat pada Tabel 4.

TABEL 4

ENERGI LISTRIK YANG DIHASILKAN DARI KOMPONEN ENERGI TERBARUKAN

Komponen	Produksi (kWh)
Canadian solar maxpower CS6U-330P	91.058
AWG HC 3,3 kW wind turbine	97.024
Total	188.082

$$RP = \frac{E_{tot.RES}}{E_{tot.sys}} * 100\%$$

$$= \frac{188.082}{221.866} \times 100\%$$

= 84,8%

Berdasarkan perhitungan *renewable penetration* tingkat kinerja komponen pembangkit listrik tenaga *hybrid* sebesar 84,8% dalam menghasilkan energi listrik dari total keseluruhan energi listrik yang dihasilkan.

H. Sektor penggunaan energi listrik dari sistem PLTH

Energi listrik yang dihasilkan dari sistem PLTH, selain digunakan untuk kebutuhan energi listrik masyarakat

Dusun Wonoroto juga digunakan untuk kebutuhan wisatawan yang datang di objek wisata yang terletak di Desa Gadingsari, Bantul seperti penyediaan fasilitas *charging station* di tempat wisata-wisata yang ada di Desa Gadingsari.

I. *Payback Period*

Untuk mengetahui waktu yang diperlukan untuk mengembalikan modal biaya pembangunan dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 7 dan Persamaan 8.

Pendapatan = Total produksi energi × harga jual listrik
= 221.866 × 911
= 202.119.926,00 per tahun.

$$Payback\ period = \frac{modal\ biaya}{pendapatan}$$
$$= \frac{2.789.010.086}{202.119.926}$$
= 13 tahun 8 bulan

Waktu yang dibutuhkan untuk pengembalian modal biaya yang dikeluarkan untuk membangun pembangkit listrik tenaga hibrid di Dusun Wonoroto selama 13 tahun 8 bulan.

V. KESIMPULAN

1. Total energi listrik yang dihasilkan dari sistem pembangkit listrik tenaga *hybrid* sebagai penyedia cadangan energi listrik masyarakat sebesar 221.866 kWh per tahun.
2. Energi listrik yang dihasilkan dari desain sistem PLTH mencukupi penggunaan energi listrik masyarakat Dusun Wonoroto.
3. Pembangkit listrik tenaga *hybrid* (bayu-s*olar cell*) layak untuk dibangun sebagai penyedia cadangan energi listrik masyarakat Dusun Wonoroto karena jumlah energi listrik yang dihasilkan lebih besar dari penggunaan energi listrik masyarakat sebesar 110.235 kWh per tahun dan waktu pengembalian modal pembangunan pembangkit kurang dari waktu perencanaan *project.*
4. Pembangkit listrik tenaga *hybrid* (bayu-s*olar cell*) dapat mensuplai energi terbarukan sebesar 84,8% dari total energi listrik yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Tangirala Venkat K. (2017) "*Solar Wind, Hybrid Renewable Energy Systems*", *Publisher* : *IEEE*, India Info. Vol.12 No.2 Apr-Jun.

[2] Andri Suherman dkk. (2017) "Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid*a Di Pulau Panjang", *Gravity*: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Fisika, Hal. 1 Vol.3 No.1.

[3] Kunaifi. (2010) "Program HOMER untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik *Hybrid*a di Provinsi Riau", Seminar Nasional Informatika, UPN "Veteran" Yogyakarta, ISSN: 1979-2328, 22.

[4] Arota Anjas S., Kolibu Hesky S., Lumi Benny M. (2013) "Perancangan Sistem Pembangkit Listrik Hibrida (Energi Angin dan Matahari) Menggunakan *Hybrid Optimization Model For Electric Renewable* (HOMER)", Jurnal MIPA UNSRAT *online* 2(2), *Published by* FMIPA UNSRAT, Manado, Hal. 145-150.

[5] Aziz Saleh Ali dkk. (2018) "*Feasibility Analysis Of PV/Wind/Battery Hybrid Power Generation*", *A Case Study*, *International Journal of Renewable Energy Research*, Vol.8 No.2.

[6] Lambert T., Gilman P., Lilienthal P. (2006) "*Micropower* Sistem *Modeling With Homer*", *Integration Of Alternative Sources Of* Energi, *by* Felix A., Farret *and* M. Godoy Simoes., John Wiley *and Sons, Inc*, Hal. 379-397.

[7] Betha Divya dkk. (2017) "*Design and Control of Grid Connected PV/Wind Hybrid System Using* 3 Level VSC", *Publisher* : *IEEE*, *International Advance Computing Conference* (IACC), India.

[8] Wei Tong. (2010) "*Wind Power Generation and Wind Turbine Design*", Kollmorgen Corp., USA, *Published by* WIT Press Southampton, Boston, Hal. 15-16.

[9] Y. Daryanto. (2017) "Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu" , Balai PPTAG-UPT-LAGG, Yogyakarta, Hal. 15, 05.

[10] Tan D., Seng Ang K. (2011) "*Handbook For Solar Photovoltaic* (PV) *System*", *Published by Energy Market Authority*, *Building and Construction Authority*, Singapura, ISBN: 978-981-08-4462-2, Hal. 4-7.

[11] Foster R., Ghassemi M., Cota A. (2010) "*Solar Energy* : *Renewable Energy and The Environment*", Boca Raton, FL : CRC Press, Taylor & Francis Group, New York.

[12] Harga listrik PLN per kWh, (On-line) *Available* at http://www.pln.co.id/statics/upload/2017/6/PERMEN-ESDM-No-28-Tahun-2016.

[13] M. Saifi. "Analisis Kelayakan Investasi Atas Rencana Penambahan Aktiva Tetap (Studi kasus pada PT Pelabuhan Indonesia III (Persero) Cabang Tanjung Perak Terminal", vol. 46, no. 1.

[14] Kementerian ESDM. (2017) "Peraturan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia tahun 2017". Indonesia.