

**NASKAH PUBLIKASI**

**ANALISIS SISTEM ENERGI HIBRID  
DI WADUK LODAN KECAMATAN SARANG  
KABUPATEN REMBANG MENGGUNAKAN  
SOFTWARE HOMER**



Naskah Publikasi ini disusun guna memenuhi Tugas Akhir  
pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik  
Universitas Muhammadiyah Surakarta

**Disusun oleh :**

**SUDARSONO**

**D200100097**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

**Oktober 2015**

**HALAMAN PENGESAHAN**  
**NASKAH PUBLIKASI**

Naskah Publikasi yang berjudul “**Analisis Sistem Energi Hibrid di Waduk Lodan Kecamatan Sarang Kabupaten Rembang Menggunakan Software HOMER**”, telah disetujui dan telah disahkan oleh Pembimbing Tugas Akhir sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan oleh :

Nama : **SUDARSONO**

NIM : **D200100097**

Disetujui pada :

Hari : *Kamis*

Tanggal : *22 Oktober 2015*

Pembimbing Utama



Nur Aklis, ST, M.Eng

Pembimbing Pendamping



Nurmuntaha A N, ST, Pg.Dip

Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Mesin



Tri Widodo B R, ST, M.Sc., Ph.D

# **ANALISIS SISTEM ENERGI HIBRID DI WADUK LODAN KECAMATAN SARANG KABUPATEN REMBANG MENGUNAKAN SOFTWARE HOMER**

**Sudarsono, Nur Aklis, Nurmuntaha Agung Nugraha**

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tromol Pos 1 Pabelan, Kartasura

Email : [sudarsono9nov@gmail.com](mailto:sudarsono9nov@gmail.com)

## **ABSTRAKSI**

*Penggunaan bahan bakar fosil dari tahun ke tahun semakin meningkat, padahal bahan bakar tersebut merupakan sumber energi yang tidak dapat terbaharukan (non renewable), sehingga ketergantungan akan penggunaan bahan bakar tersebut harus dibatasi dan beralih pada energi terbaharukan (renewable). Contoh dari energi terbaharukan (renewable) di antaranya adalah energi : matahari, angin, air, panas bumi dan lainnya.*

*Sumber energi ini memiliki kekurangan diantaranya: tidak kontinyu serta ketersediaannya di beberapa tempat tidak sama, untuk memaksimalkan pemanfaatannya diperlukan penggabungan dari beberapa sumber energi menjadi satu sistem yang disebut sebagai sistem energi hibrid. Untuk mempermudah, mempercepat dan tentunya menghemat biaya, dalam perencanaan suatu sistem energi hibrid dapat dilakukan melalui simulasi menggunakan software HOMER. Penelitian ini berlokasi pada Waduk Lodan Kecamatan Sarang Kabupaten Rembang.*

*Hasil penelitian menunjukkan lokasi sistem energi hibrid di Waduk Lodan memiliki potensi, dengan Konfigurasi sistem yang optimal berupa : 15 kW turbin air, 50 kW generator, 300 baterai, 230 kW konverter, dan 29 kW grid, dengan total NPC sebesar \$2,297,084 dan biaya keekonomian (COE) sebesar \$0,364/kWh dan renewable fraction sebesar 19%.*

**Kata Kunci: Renewable, Non Renewable, Sistem Energi Hibrid,  
HOMER**

## PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar fosil dari tahun ke tahun semakin meningkat, khususnya penggunaan bahan bakar minyak. Salah satu penyebab meningkatnya penggunaan karena dianggap lebih efisien dalam hal penggunaan. Namun bahan bakar fosil termasuk sumber energi yang tidak dapat terbaharukan (*non renewable*), jadi ketika habis sumber energi ini tidak dapat diperbaharukan, untuk itu ketergantungan akan penggunaan bahan bakar ini harus dibatasi. Satu di antara cara untuk membatasi penggunaannya dengan mencari suatu energi alternatif yang tentunya merupakan sumber energi terbaharukan (*renewable*).

Sumber energi terbaharukan (*renewable*) merupakan suatu sumber energi yang dapat diperbaharui dan jumlahnya melimpah, selain itu sumber energi ini juga ramah lingkungan. Terdapat beberapa sumber energi terbaharukan (*renewable*) yang dapat digunakan sebagai energi alternatif untuk mengurangi ketergantungan akan energi fosil, di antaranya energi : matahari, angin, air, panas bumi dan lainnya. Namun demikian sumber energi ini memiliki kekurangan diantaranya : tidak kontinyu serta ketersediaannya di beberapa tempat tidak sama. Untuk memaksimalkan pemanfaatannya diperlukan penggabungan dari beberapa sumber energi menjadi satu sistem yang disebut sebagai sistem energi hibrid.

Dalam pembuatan sistem energi hibrid dipengaruhi oleh beberapa faktor di antaranya: faktor teknis, ekonomi dan lingkungan. Faktor teknis meliputi pemilihan komponen yang akan digunakan, kinerja suatu sistem dan lain-lain. Faktor ekonomi meliputi biaya awal pembuatan sistem, biaya operasional dan perawatan (O&M) dan lainnya. Faktor lingkungan meliputi aspek emisi gas buang yang dihasilkan sistem dan sebagainya. Faktor tersebut saling berkaitan dalam mempertimbangkan pembuatan suatu sistem hibrid energi yang membuatnya semakin rumit. Diperlukan suatu pemodelan menggunakan program komputer untuk mempermudah dan mempercepat yang tentunya menghemat biaya.

HOMER merupakan suatu perangkat lunak yang digunakan untuk membantu pemodelan dari sebuah sistem energi hibrid dengan menggunakan berbagai pilihan sumber energi terbaharukan. HOMER bekerja dalam 3 hal, yaitu: simulasi, optimisasi, dan analisa sensitifitas. Dari hasil optimisasi dan analisa sensitifitas dapat diketahui kombinasi sistem energi yang efektif, efisien dan optimal yang dapat diterapkan disuatu daerah.

Waduk Lodan merupakan satu di antara waduk di Kabupaten Rembang, berlokasi di Desa Lodan Wetan Kecamatan Sarang Kabupaten Rembang Propinsi Jawa Tengah, dengan kapasitas penampungan air sebesar 5.400.000 m<sup>3</sup>. Waduk Lodan berfungsi untuk memenuhi

kebutuhan irigasi seluas 3800 Ha dan kebutuhan air baku/air minum sebesar 100 liter/detik. Kebutuhan listrik di waduk awalnya dipenuhi oleh generator Daiho tipe GF3-50. Namun sekarang beralih pada PLN, bukan hanya karena harga bahan bakar yang mengalami kenaikan namun karena dirasa lebih hemat dan lebih efisien jika menggunakan listrik dari PLN. Sehingga saat ini generator tersebut hampir tidak digunakan. Berdasarkan uraian di atas, maka pada penelitian ini bertujuan untuk mencari suatu sistem energi hibrid di Waduk Lodan Kecamatan Sarang Kabupaten Rembang dengan menggunakan *Software HOMER*.

#### **TUJUAN PENELITIAN**

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menyelidiki potensi energi di Waduk lodan yang dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik sistem energi hibrid berdasarkan hasil optimisasi HOMER.
2. Menentukan konfigurasi sistem energi hibrid yang efektif berdasarkan hasil analisa sensitifitas pada kondisi ekstrim.

#### **PEMBATASAN MASALAH**

Berdasarkan latar belakang dan tujuan penelitian maka penelitian ini berkonsentrasi pada:

1. Penelitian dan pengambilan data potensi lokal dilakukan di Waduk Lodan Kecamatan Sarang Kabupaten Rembang.

2. Analisis penelitian menggunakan *software HOMER*.

#### **TINJAUAN PUSTAKA**

Kunaifi (2010) meneliti tentang penggunaan program HOMER untuk merancang sistem pembangkit listrik hibrida (PLH) di sebuah desa terpencil bernama Saik di Propinsi Riau. Desain sistem direncanakan memiliki beban puncak sekitar 25 kW dengan menggunakan pembangkit listrik hibrida yang terdiri dari PV, turbin air dan generator diesel. Hasil konfigurasi terbaik terdiri dari *Photovoltaic* 5 kW, 2 buah *Darrieus Hydro Turbine* (DHT) masing-masing 3 kW, generator diesel 18 kW, 64 x 225 Ah baterai, *inverter* 20 kW dan generator diesel 18 kW sebagai *back-up*, yang dikonstruksi dalam konfigurasi *parallel hybrid*.

Penelitian tentang penggunaan program HOMER untuk pembangkit listrik hibrida di Propinsi Riau juga dilakukan, yaitu di Pulau Panjang (Irawan, et, al., 2011). Kebutuhan listrik di lokasi tersebut diperoleh dari generator diesel berukuran 60 kW yang dioperasikan hanya 5 jam/hari dikarenakan biaya operasional yang tinggi pada bahan bakar solar. Tujuan dilakukannya penelitian untuk menghasilkan sebuah perencanaan pembangkit listrik hibrida yang optimal di Pulau Panjang yang terdiri atas panel surya dan generator diesel untuk memastikan kehandalan pasokan listrik. Hasil simulasi menunjukkan dengan kontribusi

listrik dari PV 27% dapat menurunkan biaya operasional 86% dibanding sistem hanya menggunakan generator diesel.

Sari, et, al., (2015) juga telah melakukan penelitian tentang pembangkit listrik tenaga *hybrid* di daerah terpencil dan terisolasi, yaitu di Desa Sirolugui di Kecamatan Siberut Utara Kabupaten Kepulauan Mentawai. Desa tersebut pada mulanya hanya dapat menikmati penerangan selama 4 jam, itupun hanya pada malam hari yaitu pada pukul 18.00-22.00 WIB yang bersumber dari 3 unit *diesel generator*. Penelitian difokuskan mengenai optimalisasi desain sistem pembangkit listrik tenaga *Hybrid Diesel Generator-Photovoltaic Array* agar dapat memberikan penerangan 24 jam bagi 310 kepala keluarga (KK). Hasil desain yang paling optimal untuk sistem dengan beban listrik harian sebesar 479,280 kWh yaitu *photovoltaic* berkapasitas 65 kW, 3 unit *diesel generator* masing-masing berkapasitas 15 kW, 156 unit *battery* dan *bidirectional converter* berkapasitas 78 kW dengan TNPC sebesar \$1.362.474 dan *cost of energy* (COE) sebesar \$1,485/kWh. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Diesel Generator-Photovoltaic Array* diusulkan dapat mengurangi emisi CO<sub>2</sub> 0,06% per tahun dibandingkan dengan penggunaan *diesel generator* saja.

Prityatomo, et. al., (2009) juga menggunakan program HOMER untuk melakukan penelitian mengenai perancangan

konfigurasi pembangkit listrik hibrida pada BTS (*Base Transceiver Station*) di Pecatu Bali, dimana daerah tersebut kaya akan sinar matahari dengan rata-rata per tahun 4,82 kWh/m<sup>2</sup>/d, dan rata-rata kecepatan angin sebesar 4,37 m/d. Hasil simulasi HOMER mendapatkan konfigurasi optimal berupa 8 kW panel surya, 2 turbin angin, sebesar 6 kW, 5 kW generator, 50 *baterai bank* sebesar 108 kWh, 4 kW konverter, dengan total NPC sebesar \$265,317 dan biaya keekonomian (COE) sebesar \$0,883. Sistem disuplai oleh energi dari turbin angin dan sel surya sebagai sumber energi utama yaitu sebesar 78%, sedangkan generator hanya menghasilkan energi sebesar 22% setiap tahunnya.

### **Landasan Teori Energi**

Energi adalah sesuatu yang bersifat abstrak yang sukar untuk dibuktikan tetapi dapat dirasakan adanya. Energi juga dapat diartikan sebagai suatu kemampuan untuk melakukan usaha. Energi berdasarkan sumbernya dibedakan menjadi :

a. Energi tak terbaharukan (*Non Renewable Energy*)

Energi tak terbaharukan merupakan suatu energi yang jumlah ketersediannya terbatas dan proses pembentukannya memerlukan waktu yang lama, sehingga dapat dikatakan tidak dapat diperbaharui. Contoh dari energi tak terbaharukan antara lain :

- Fosil

- Nuklir
- b. Energi terbarukan (*Renewable Energy*).

Energi terbarukan merupakan suatu energi yang jumlah ketersediannya di alam melimpah. Energi ini mempunyai sifat berkelanjutan, sehingga tidak perlu khawatir akan kehabisan. Kelebihan lain dari energi ini adalah ramah lingkungan. Contoh energi terbarukan di antaranya yaitu :

- Energi Matahari (Surya)
- Energi Angin
- Energi Air
- Energi Panas bumi
- Energi Biomassa
- Energi Samudera
- Energi Hidrogen (*Fuel Cell*)

### **Sistem Energi Hibrid**

Pengertian hibrid (*Hybrid*) pada umumnya adalah suatu gabungan dari dua hal atau lebih yang berbeda untuk menghasilkan sesuatu yang sama. Sistem energi hibrid merupakan suatu sistem penggabungan dari dua atau lebih sumber energi yang berbeda. Penggabungan ini dilakukan karena tidak semua sumber energi tersebut dapat bekerja dengan maksimal. Sebagai contoh, sel surya atau *Photovoltaic* (PV) tidak akan menghasilkan listrik saat malam hari, karena tidak ada cahaya matahari yang dapat dimanfaatkan, pembangkit listrik tenaga air pun tidak akan menghasilkan daya yang maksimal dimusim kemarau. Tentu akan sulit untuk mengandalkan hanya satu sumber

energi, dari hal tersebut diperlukan suatu sistem penggabungan energi untuk mengurangi kekurangan dari suatu energi. Tujuan utama dari sistem hibrid pada dasarnya adalah berusaha menggabungkan dua atau lebih sumber energi sehingga dapat saling menutupi kelemahan masing-masing dan meningkatkan efisiensi. Berikut ini merupakan contoh aplikasi sistem energi hibrid di antaranya : Mobil Hibrid, Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) dll.

Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid (PLTH) merupakan salah satu pengaplikasian sistem energi hibrid. PLTH ini memanfaatkan energi terbarukan (*Renewable energy*) sebagai sumber utama (primer) yang dikombinasikan dengan generator sebagai sumber energi cadangan (sekunder).

#### **Keuntungan**

menggunakan konfigurasi sistem pembangkit listrik tenaga hibrid adalah :

- Mengurangi ketergantungan terhadap bahan bakar minyak
- Mengurangi emisi dan polusi
- Meningkatkan efisiensi dan keandalan sistem
- Meningkatkan umur operasi sistem

### **HOMER**

HOMER (*Hybrid Optimization Model for Energy Renewable*) merupakan suatu perangkat lunak yang dikembangkan oleh *U.S National Renewable Energy Laboratory* (NREL) bekerja sama dengan *Mistaya Engineering* yang

digunakan untuk membantu pemodelan dari sebuah sistem tenaga listrik dengan menggunakan berbagai pilihan sumber daya.

Keunggulan HOMER :

- Mempunyai komponen hibrid lengkap
- Mempunyai parameter masukan (*input*) yang lengkap
- Mengetahui hasil yang optimal dari simulasi beberapa konfigurasi sistem berdasarkan *Net Present Cost* (NFC)
- Dapat menunjukkan nilai analisa sensitifitas dari suatu konfigurasi

HOMER bekerja dalam 3 hal, yaitu : simulasi, optimisasi, dan analisa sensitifitas.

- Simulasi (*Simulation*)
- Optimisasi (*Optimization*)
- Analisa sensitifitas (*Sensitify Analysis*)

Hal-hal yang dipertimbangkan dalam merancang suatu sistem hibrid energi menggunakan HOMER di antaranya adalah :

- Beban
- Sumber Daya (*Resources*)
- Komponen sistem

## Diagram Alir Penelitian



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## Lokasi Desain Sistem Energi Hibrid

Lokasi Perencanaan sistem energi hibrid dilakukan di Waduk Lodan yang berada di Desa Lodan Wetan Kecamatan Sarang Kabupaten Rembang, dengan koordinat garis lintang  $-6.793987^{\circ}$  dan garis bujur  $111.610134^{\circ}$  (dari *Google Earth®*). Waduk ini mempunyai fungsi sebagai : sumber irigasi, dan penyedia air bagi warga sekitar.

## Survei Pemakaian Listrik dan Potensi Energi

### a. Survei Pemakaian Listrik

Survei pemakaian listrik digunakan untuk mengetahui jumlah total pemakaian listrik pada waduk lodan beserta desa sekitar. Data pemakaian listrik diperoleh dari PT PLN Rayon Rembang. Data tersebut merupakan data pemakaian listrik pada bulan juni 2015. Data ini meliputi data

pemakaian listrik pada Waduk Lodan beserta Desa di sekitar. Data pemakaian listrik tersebut masih dalam bentuk data total per bulan, sehingga harus dibuat menjadi data beban per jam.

#### b. Survei Potensi Energi

Survei potensi energi bertujuan untuk mencari energi yang dapat dimanfaatkan sebagai sistem energi hibrid. Pada penelitian ini mencoba memanfaatkan potensi energi air, energi matahari dan energi angin.

##### - Potensi energi air

Potensi energi air di Waduk Lodan dapat diketahui dengan menggunakan data operasional Waduk. Data ini di asumsikan dengan tinggi pembukaan pintu pengambilan (*Intake Gate*) sebesar 10 cm, sehingga didapatkan data rata-rata debit air di Waduk Lodan sebesar 69,9 L/hr.

##### - Potensi energi matahari

Potensi energi matahari dapat diketahui dengan menggunakan data radiasi matahari yang diperoleh dari Surface meteorology and Solar Energy (SMSE) dari National Aeronautics and Space Administration (NASA) dengan memasukkan koordinat lokasi Waduk Lodan, kemudian akan diperoleh data rata-rata radiasi matahari per tahun sebesar 5,42 kWh/m<sup>2</sup>/day.

##### - Potensi Energi Angin

Untuk mengetahui potensi energi angin dengan menggunakan data rata-rata kecepatan angin per tahun yang diperoleh dari Surface meteorology and Solar Energy

(SMSE) dari National Aeronautics and Space Administration (NASA). Diperoleh data rata-rata kecepatan angin selama setahun sebesar 4,53 m/s.

#### **Pemilihan Komponen Sistem Energi Hibrid**

Komponen-komponen yang akan digunakan dalam mendesain suatu sistem energi hibrid di Waduk Lodan terdiri dari komponen utama dan komponen pendukung. Komponen utama terdiri dari : generator, turbin air, photovoltaic (PV), dan turbin angin. Sedangkan komponen pendukung terdiri dari : konverter dan baterai.

##### - *Photovoltaic* (PV)

*Photovoltaic* (PV) atau sel surya merupakan salah satu komponen yang akan digunakan dalam desain sistem energi hibrid di Waduk Lodan. PV yang dipilih adalah DOVETAIL tipe *The Office* dengan daya 12,00 kW, dan biaya instalasi sebesar \$48,000.

##### - Turbin Angin

Komponen lain dari sistem energi hibrid lainnya adalah turbin angin. Turbin angin yang dipilih dalam desain simulasi sistem energi hibrid adalah jenis SW Whisper 500 dengan harga \$7,095. Pemilihan turbin angin jenis SW Whisper 500 karena turbin angin ini memiliki performa terbaik untuk kecepatan rata-rata 5 m/s<sup>2</sup>. Besarnya energi yang dihasilkan pada turbin angin ditentukan kecepatan angin, dimana ketinggian pusat rotor dengan tanah juga sangat

berpengaruh. Tower yang digunakan memiliki ketinggian 25 m dengan harga \$1,157.

- Turbin Air

Komponen selanjutnya adalah turbin air, jenis turbin yang dipilih adalah model XJ30-155CTF4/6-Z. dengan harga \$8118. Dengan biaya O&M sebesar 4% dari harga turbin, atau sebesar \$324,72/thn.

- Generator

Generator yang digunakan dalam desain simulasi sistem energi hibrid adalah generator milik Waduk Lodan. Generator tersebut bermerk DAIHO tipe GF3-50. Generator tersebut digunakan sebagai pembangkit listrik untuk penerangan jalan di area waduk, namun sekarang tidak digunakan lagi karena dianggap kurang efisien. Diperkirakan generator tersebut mempunyai biaya O&M \$1/hr selama operasi.

- Konverter

Konverter yang digunakan adalah model 10 kW Backup Kit dari WEB SOLAR STORE dengan harga \$6,999 dan biaya O&M sebesar 1%/thn.

- Baterai

Baterai yang digunakan adalah Surrette tipe 4KS25P dengan harga \$1299 dan O&M sebesar \$60/thn.

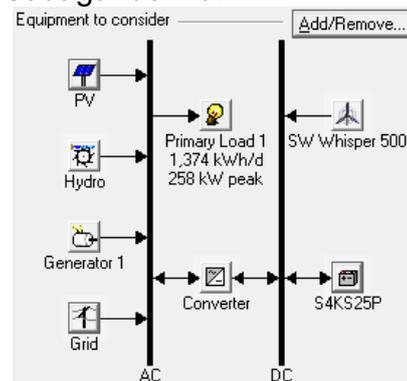
- Bahan Bakar

Bahan bakar yang digunakan generator adalah solar. Berdasarkan data PT Pertamina (Persero), harga solar per liter sebesar Rp 9.400 atau \$0,723 (kurs rupiah 13.000).

- Grid

Desain sistem hibrid energi masih menggunakan pasokan listrik dari PLN (On Grid) sebagai antisipasi apabila sistem dari energi terbarukan tidak mampu memenuhi beban yang ada. Harga listrik dari PLN untuk rumah tangga sebesar Rp 1.352/kWh atau sekitar 0,104 \$/kWh (kurs rupiah 13.000).

Setelah memasukkan komponen-komponen yang akan digunakan dalam sistem energi hibrid pada *software* HOMER, maka dapat dilihat seperti Gambar 2. sebagai berikut.



Gambar 2. Sistem Energi Hibrid tenaga PV-Turbin Angin-Turbin Air-Generator dengan On Grid

### Hasil Optimisasi

Hasil optimisasi (*Optimization Results*) yang dilakukan HOMER untuk radiasi matahari 5,04 kWh/m<sup>2</sup>/d, kecepatan angin 4,65 m/s, debit air 69,9 L/s, harga bahan bakar \$0,723/L, adalah 8 konfigurasi sistem hibrid energi. Konfigurasi sistem energi hibrid terbaik terdiri dari 15 kW turbin air, 50 kW generator, 300 baterai *bank*, 230 kW konverter, dan 29 kW *grid*. Konfigurasi tersebut dipilih karena

mempunyai *Net Present Cost* (NPC) terendah yaitu \$2,297,084 dengan *Cost Of Energy* (COE) sebesar \$0,364/kWh dan *renewable fraction* sebesar 19%.

Secara keseluruhan sistem menghasilkan energi listrik sebesar 567,875 kWh/yr, yang dihasilkan oleh turbin air sebesar 107,875 kWh/yr, generator sebesar 308,810 kWh/yr, dan pasokan listrik dari PLN (*Grid*) rata-rata sebesar 151,241 kWh, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Total Produksi Listrik

| Produksi Listrik | (kWh/yr) | %   |
|------------------|----------|-----|
| Turbin air       | 107,875  | 19  |
| Generator        | 308,810  | 54  |
| Grid             | 151,241  | 27  |
| Total            | 567,926  | 100 |

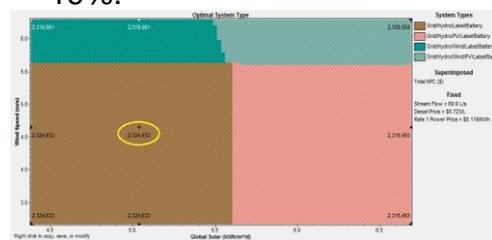
### Hasil Analisa Sensitiitas

Analisa sensitifitas yang diberikan meliputi 5 kategori yaitu radiasi matahari (4,38 kWh/m<sup>2</sup>/d dan 6,69 kWh/m<sup>2</sup>/d), kecepatan angin (3,16 m/s dan 6,3 m/s), debit air (7,8 L/s dan 114 L/s), harga bahan bakar diesel (0,38 \$/L dan 0,94 \$/L), harga listrik jaringan PLN (0,119 \$/kWh dan 0,144 \$/kWh). Jadi keseluruhan hasil konfigurasi adalah 288 kemungkinan sistem konfigurasi dari 243 kasus sensitifitas, dengan waktu simulasi 24 menit 16 detik.

a. Analisa Sensitifitas Harga Listrik Terhadap Radiasi Matahari, Kecepatan Angin, Debit Air dan Harga Bahan Bakar Diesel

#### - Kondisi 1

Pada kondisi 1, ketika radiasi matahari 5,04 kWh/m<sup>2</sup>/d, kecepatan angin 4,64 m/s, debit air 69,9 L/s, harga bahan bakar diesel \$0,723/L, dan harga listrik \$0,119/kWh, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.5. maka didapatkan konfigurasi sistem yang paling optimal adalah *Grid/Hydro/Label/Battery*, sebagian sumber energi disuplai oleh energi listrik dari PLN (*Grid*) 27%, turbin air sebesar 19%, dan generator sebesar 55%, dengan total NPC sebesar \$2,324,633, COE sebesar \$0,368/kWh dan *renewable fraction* sebesar 19%.

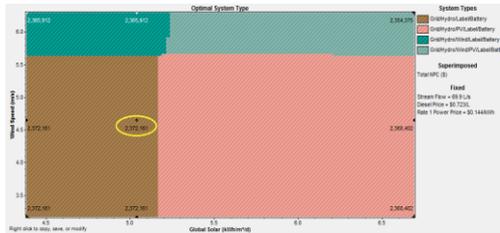


Gambar 3. Grafik OST Radiasi Matahari Terhadap Kecepatan Angin Dengan Harga Listrik \$0,119/kWh

#### - Kondisi 2 (Harga listrik \$0,144/kWh)

Ketika radiasi matahari, kecepatan angin, debit air dan harga bahan bakar diesel tetap, sedangkan harga listrik berubah dari \$0,119/kWh menjadi \$0,144/kWh. Hasil konfigurasi sistem kondisi 2 sama seperti pada kondisi 1, yaitu berupa *Grid/Hydro/Label/Battery*,

dengan total NPC sebesar \$2,372,161, dengan COE sebesar \$0,375/kWh dan *renewable fraction* sebesar 19%.



Gambar 4. Grafik OST Radiasi Matahari Terhadap Kecepatan Angin Dengan Harga Listrik \$0,144/kWh

Hasil analisa sensitifitas harga listrik terhadap radiasi matahari, kecepatan angin, debit air dan harga bahan bakar diesel yaitu :

- Perubahan harga listrik tidak mempengaruhi konfigurasi sistem
- Perubahan harga listrik mempengaruhi biaya NPC, yaitu sebesar \$2,324,633 pada kondisi 1, dan pada kondisi 2 naik menjadi \$2,372,161
- Perubahan harga listrik mempengaruhi COE, yaitu pada kondisi 1 sebesar \$0,368/kWh, naik menjadi \$0,375/kWh pada kondisi 2
- Perubahan harga listrik tidak mempengaruhi *renewable fraction* yaitu : sebesar 19% baik pada kondisi 1 maupun 2

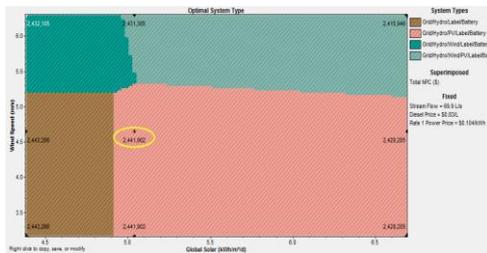
Tabel 2. Perbandingan Kondisi Sensitifitas Harga Listrik Terhadap Radiasi Matahari, Kecepatan Angin, Debit Air dan Harga Diesel Yang Besarnya Sama

| Kondisi | Sensitifitas   | NPC (\$)  | COE (\$/kWh) | Renewable Fraction (%) |
|---------|--|-----------|--------------|------------------------|
| 1       | Rad. Matahari 5,04 kWh/m <sup>2</sup> /d<br>Kec. angin 4,64 m/s<br>Debit Air 69,9 L/s<br>Harga diesel 0,723 \$/L<br>biaya listrik 0,119 \$/kWh | 2.324.633 | 0,368        | 19                     |
| 2       | Rad. Matahari 5,04 kWh/m <sup>2</sup> /d<br>Kec. angin 4,64 m/s<br>Debit Air 69,9 L/s<br>Harga diesel 0,723 \$/L<br>biaya listrik 0,144 \$/kWh | 2.372.161 | 0,375        | 19                     |

b. Analisa Sensitifitas Harga Bahan Bakar Diesel Terhadap Radiasi Matahari, Kecepatan Angin, Debit Air dan Harga Listrik

- Kondisi 3 (Harga Diesel \$0,83/L)

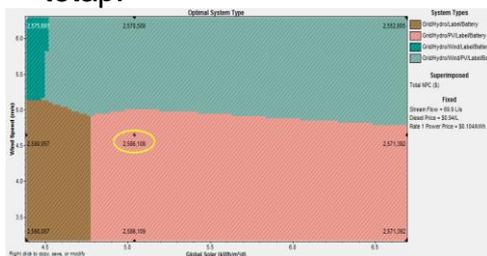
Pada kondisi 3, ketika radiasi matahari 5,04 kWh/m<sup>2</sup>/d, kecepatan angin 4,64 m/s, debit air 69,9 L/s dan harga listrik \$0,104/kWh, dilakukan perubahan analisa sensitifitas harga bahan bakar diesel dari \$0,83/L menjadi \$0,94/L. perubahan analisa sensitifitas harga bahan bakar diesel diberikan untuk mengantisipasi kenaikan harga bahan bakar diesel untuk beberapa tahun kedepan. Pada Gambar 5. didapatkan konfigurasi sistem yang paling optimal adalah *Grid/Hydro/PV/Label/Battery* dengan total NPC sebesar \$2,441,902 dan COE \$0,387/kWh, dengan *renewable fraction* sebesar 22%.



Gambar 5. Grafik OST Radiasi Matahari Terhadap Kecepatan Angin Dengan Harga Bahan Bakar \$0,83/L

- Kondisi 4 (Harga Diesel \$0,94/L)

Pada kondisi 4 ketika radiasi matahari 5,04 kWh/m<sup>2</sup>/d, kecepatan angin 4,64 m/s, debit air 69,9 L/s, harga listrik \$0,104/kWh, dan harga bahan bakar diesel \$0,94/L, menunjukkan hasil konfigurasi sistem *Grid/Hydro/PV/Label/Battery*, seperti halnya kondisi 4. Dengan biaya NPC sebesar \$2,586,109 dan COE \$0,409/kWh lebih besar dari kondisi sebelumnya, sedangkan *renewable fraction* tetap.



Gambar 6. Grafik OST Radiasi Matahari Terhadap Kecepatan Angin Dengan Harga Bahan Bakar \$0,94/L

Hasil analisa sensitifitas harga bahan bakar diesel terhadap kecepatan angin, debit air dan harga listrik yaitu :

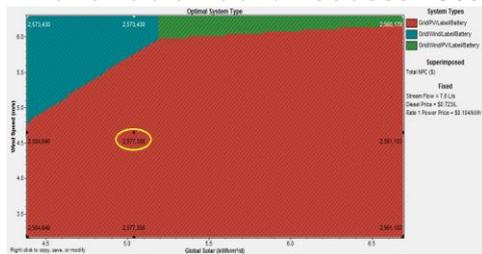
- Perubahan harga bahan bakar diesel tidak mempengaruhi konfigurasi sistem, yaitu : *Grid/Hydro/PV/Label/Battery* baik pada kondisi 3 maupun kondisi 4.
- Perubahan harga bahan bakar diesel mempengaruhi biaya NPC, yaitu sebesar \$2,441,902 pada kondisi 3, dan pada kondisi 4 naik menjadi \$2,586,109
- Perubahan harga bahan bakar diesel mempengaruhi COE, yaitu pada kondisi 3 sebesar \$0,387/kWh, turun menjadi \$0,409/kWh pada kondisi 4.
- Perubahan harga bahan bakar diesel tidak mempengaruhi *renewable fraction*, yaitu sebesar 22% pada kondisi 3 dan kondisi 4.

Tabel 3. Perbandingan Kondisi Sensitifitas Harga Diesel Terhadap Radiasi Matahari, Kecepatan Angin, Debit Air dan Harga Listrik Yang Besarnya Sama

| Kondisi | Sensitifitas  | NPC (\$)  | COE (\$/kWh) | Renewable Fraction (%) |
|---------|---|-----------|--------------|------------------------|
| 3       | Rad. Matahari 5,04 kWh/m <sup>2</sup> /d<br>Kec. angin 4,64 m/s<br>Debit Air 69,9 L/s<br>Harga diesel 0,83 \$/L<br>Harga listrik 0,104 \$/kWh | 2,441,902 | 0,387        | 22                     |
| 4       | Rad. Matahari 5,04 kWh/m <sup>2</sup> /d<br>Kec. angin 4,64 m/s<br>Debit Air 69,9 L/s<br>Harga diesel 0,94 \$/L<br>Harga listrik 0,104 \$/kWh | 2,586,109 | 0,409        | 22                     |

- c. Analisa Sensitifitas Debit Air Terhadap Radiasi Matahari, Kecepatan Angin, Harga Bahan Bakar Diesel dan Harga Listrik
- Kondisi 5 (Debit Air 7,8 L/s)

Pada kondisi 5 ketika radiasi matahari 5,04 kWh/m<sup>2</sup>/d, kecepatan angin 4,64 m/s, harga bahan bakar diesel \$0,723/L, dan harga listrik \$0,104/kWh, dilakukan perubahan debit air dari 69,9 L/s menjadi 7,8 L/s. Perubahan debit air tersebut untuk mengetahui pengaruh analisa sensitifitas, sebagai upaya untuk mengantisipasi terjadinya penurunan debit air pada tahun mendatang. Pada kondisi tersebut didapatkan konfigurasi sistem yang paling optimal adalah *Grid/PV/Label/Battery*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. dengan total NPC sebesar \$2,577,308 dengan COE sebesar \$0,408/kWh dan *renewable fraction* sebesar 3%.

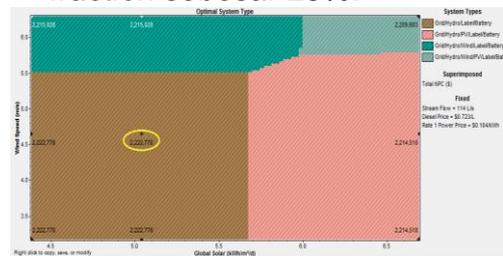


Gambar 6. Grafik OST Radiasi Matahari Terhadap Kecepatan Angin Dengan Debit Air 7,8 L/s

- Kondisi 6 (Debit Air 114 L/s)

Pada kondisi 6, ketika radiasi matahari 5,04 kWh/m<sup>2</sup>/d, kecepatan angin 4,64 m/s, harga bahan bakar diesel \$0,723/L, harga listrik

\$0,104/kWh, dan debit air 114 L/s, menunjukkan hasil konfigurasi sistem yang paling optimal adalah *Grid/Hydro/Label/Battery*, dengan biaya NPC sebesar dan COE lebih rendah yaitu NPC sebesar \$2,222,778 dengan COE sebesar \$0,352/kWh, dan *renewable fraction* sebesar 23%.



Gambar 7. Grafik OST Radiasi Matahari Terhadap Kecepatan Angin Dengan Debit Air 114 L/s

Hasil analisa sensitifitas debit air terhadap radiasi matahari, kecepatan angin, harga bahan bakar diesel dan harga listrik yaitu:

- Perubahan debit air akan mempengaruhi konfigurasi sistem, pada kondisi 5 konfigurasi sistem *Grid/PV/Label/Battery* sedangkan pada kondisi 6 konfigurasi sistem berubah menjadi *Grid/Hydro/Label/Battery*.
- Perubahan debit air mempengaruhi biaya NPC, yaitu sebesar \$2,577,308 pada kondisi 5, dan pada kondisi 6 turun menjadi \$2,222,778
- Perubahan debit air mempengaruhi COE, yaitu

pada kondisi 5 sebesar \$0,408/kWh, turun menjadi \$0,352kWh pada kondisi 6.

- Perubahan debit air mempengaruhi *renewable fraction* yaitu : sebesar 3% pada kondisi 5 dan naik sebesar 23% pada kondisi 6.

Tabel 7. Perbandingan Kondisi Sensitifitas Debit Air Terhadap Radiasi Matahari, Kecepatan Angin, Harga Diesel dan Harga Listrik Yang Besarnya Sama

| Kondisi | Sensitifitas   | NPC (\$)  | COE (\$/kWh) | Renewable Fraction (%) |
|---------|--|-----------|--------------|------------------------|
| 5       | Rad.Matahari 5,04 kWh/m <sup>2</sup> /d<br>Kec. angin 4,64 m/s<br>Debit Air 7,8 L/s<br>Harga diesel 0,723 \$/L<br>Harga listrik 0,104 \$/kWh | 2,577,308 | 0,408        | 3                      |
| 6       | Rad.Matahari 5,04 kWh/m <sup>2</sup> /d<br>Kec. angin 4,64 m/s<br>Debit Air 114 L/s<br>Harga diesel 0,723 \$/L<br>Harga listrik 0,104 \$/kWh | 2,222,787 | 0,352        | 23                     |

d. Analisa Sensitifitas Kecepatan Angin Terhadap Debit Air, Harga Bahan Bakar Diesel dan Harga Listrik Kondisi

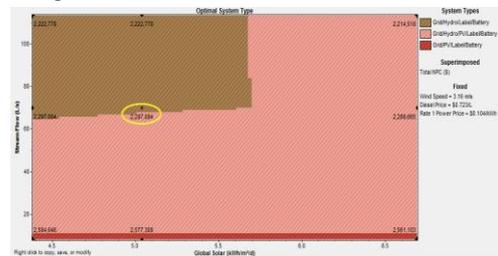
- Kondisi 7 (Kecepatan Angin 3,16 m/s)

Pada kondisi 7 dilakukan perubahan kecepatan angin dari 3,16 m/s menjadi 3,16 m/s, dengan radiasi matahari 5,04 kWh/m<sup>2</sup>/d, debit air 69,9 L/s, harga bahan bakar diesel \$0,723/L, dan harga listrik \$0,104/kWh. Perubahan kecepatan angin tersebut dilakukan untuk mengetahui pengaruh analisa sensitifitas, sebagai upaya untuk mengantisipasi terjadinya

penurunan kecepatan angin pada tahun mendatang.

Hasil konfigurasi sistem yang optimal ketika, kecepatan angin 3,16 m/s adalah *Grid/Hydro/Label/Battery*.

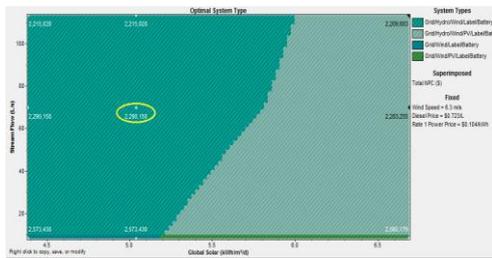
Konfigurasi sistem tersebut mempunyai biaya NPC sebesar \$2,297,084 dengan biaya COE sebesar \$0,364/kWh dan *renewable fraction* 19%, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik OST Radiasi Matahari Terhadap Debit Air Dengan Kecepatan Angin 3,16 m/s

- Kondisi 8 (Kecepatan Angin 6,3 m/s)

Pada kondisi 8, ketika radiasi matahari 5,04 kWh/m<sup>2</sup>/d, debit air 69,9 L/s, harga bahan bakar diesel \$0,723/L, dan harga listrik \$0,104/kWh, sedangkan kecepatan angin berubah menjadi 6,3 m/s, menghasilkan konfigurasi sistem yang optimal yaitu : *Grid/Hydro/Wind/Label/Battery* dengan biaya NPC sebesar \$2,290,158 dengan COE sebesar \$0,363/kWh, dan *renewable fraction* sebesar 21%.



Gambar 9. Grafik OST Radiasi Matahari Terhadap Debit Air Dengan Kecepatan Angin 6,3 m/s

Hasil analisa sensitifitas kecepatan angin terhadap radiasi matahari, debit air, harga bahan bakar diesel dan harga listrik yaitu:

- Perubahan kecepatan angin mempengaruhi konfigurasi sistem, pada kondisi 7 konfigurasi sistem berupa *Grid/Hydro/Label/Battery* sedangkan pada kondisi 8 *Grid/Hydro/Wind/Label/Battery*
- Perubahan kecepatan angin mempengaruhi biaya NPC, yaitu sebesar \$2,297,084 pada kondisi 7, dan pada kondisi 8 turun menjadi \$2,290,158
- Perubahan kecepatan angin mempengaruhi COE, yaitu pada kondisi 7 sebesar \$0,364/kWh, turun menjadi \$0,363/kWh pada kondisi 8.
- Perubahan kecepatan angin mempengaruhi *renewable fraction* yaitu : sebesar 19% pada kondisi 7 dan naik menjadi 21% pada kondisi 8

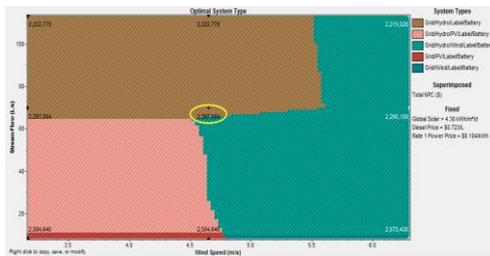
Tabel 5. Perbandingan Kondisi Sensitifitas Kecepatan Angin Terhadap Debit Air, Harga Diesel dan Harga Listrik Yang Besarnya Sama

| Kondisi | Sensitifitas  | NPC (\$)  | COE (\$/kWh) | Renewable Fraction (%) |
|---------|---|-----------|--------------|------------------------|
| 7       | Rad.Matahari 5,04 kWh/m <sup>2</sup> /d<br>Kec. angin 3,16 m/s<br>Debit Air 69,9 L/s<br>Harga diesel 0,723 \$/L<br>Harga listrik 0,104 \$/kWh | 2,297,084 | 0,364        | 19                     |
| 8       | Rad.Matahari 5,04 kWh/m <sup>2</sup> /d<br>Kec. angin 6,3 m/s<br>Debit Air 69,9 L/s<br>Harga diesel 0,723 \$/L<br>Harga listrik 0,104 \$/kWh  | 2,290,153 | 0,363        | 21                     |

e. Analisa Sensitifitas Radiasi Matahari Terhadap Kecepatan Angin, Debit Air, Harga Bahan Bakar Diesel dan Harga Listrik

- Kondisi 9 (Radiasi Matahari 4,38 kWh/m<sup>2</sup>/d)

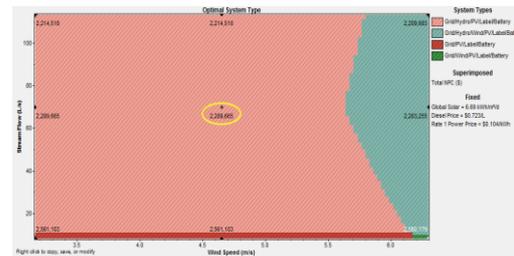
Pada kondisi 9 dilakukan analisa sensitifitas radiasi matahari dari 5,04 kWh/m<sup>2</sup>/d menjadi 4,38 kWh/m<sup>2</sup>/d, dengan kecepatan angin 4,65 m/s, debit air 69,9 L/s, harga bahan bakar diesel \$0,723/L, dan harga listrik \$0,104/kWh, Penurunan analisa sensitifitas tersebut dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya penurunan radiasi matahari pada tahun mendatang. Hasil konfigurasi sistem yang optimal adalah *Grid/Hydro/Label/Battery*, dengan total NPC sebesar \$2,297,084 dengan COE sebesar \$0,364/kWh dan *Renewable Fraction* sebesar 19%.



Gambar 10. Grafik OST Kecepatan Angin Terhadap Debit Air Dengan Radiasi Matahari 4,38 kWh/m<sup>2</sup>/d

- Kondisi 10 (Radiasi Matahari 6,69 kWh/m<sup>2</sup>/d)

Pada kondisi 10 dilakukan analisa sensitifitas radiasi matahari 6,69 kWh/m<sup>2</sup>/d, dengan kecepatan angin 4,65 m/s, debit air 69,9 L/s, harga bahan bakar diesel \$0,723/L, dan harga listrik \$0,104/kWh, Penurunan analisa sensitifitas tersebut dilakukan untuk mengantisipasi terjadinya penurunan radiasi matahari pada tahun mendatang. Hasil konfigurasi sistem yang optimal adalah *Grid/Hydro/PV/Label/Battery*, dengan total NPC sebesar \$2,289,665 dengan COE sebesar \$0,363/kWh dan *renewable fraction* sebesar 23%.



Gambar 11. Grafik OST Kecepatan Angin Terhadap Debit Air Dengan Radiasi Matahari 6,69 kWh/m<sup>2</sup>/d

Hasil analisa sensitifitas radiasi matahari terhadap kecepatan angin, debit air, harga bahan bakar diesel dan harga listrik yaitu:

- Perubahan radiasi matahari mempengaruhi konfigurasi sistem, pada kondisi 9 konfigurasi sistem berupa *Grid/Hydro/Label/Battery*, sedangkan pada kondisi 10 *Grid/Hydro/PV/Label/Battery*.
- Perubahan radiasi matahari mempengaruhi biaya NPC, yaitu sebesar \$2,297,084 pada kondisi 9, dan pada kondisi 10 turun menjadi \$2,289,665
- Perubahan radiasi matahari mempengaruhi COE, yaitu pada kondisi 9 sebesar \$0,364/kWh, turun menjadi \$0,363/kWh pada kondisi 10.
- Perubahan radiasi matahari mempengaruhi *renewable fraction* yaitu : sebesar 19% pada kondisi 9 dan naik menjadi 23% pada kondisi 10.

Tabel 6. Perbandingan Kondisi Sensitifitas Radiasi Matahari Terhadap Kecepatan Angin, Debit Air, Harga Diesel dan Harga Listrik Yang Besarnya Sama

| Kondisi | Sensitifitas  | NPC (\$)  | COE (\$/kWh) | Renewable Fraction (%) |
|---------|---|-----------|--------------|------------------------|
| 9       | Rad.Matahari 4,38 kWh/m <sup>2</sup> /d<br>Kec. angin 4,65 m/s<br>Debit Air 69,9 L/s<br>Harga diesel 0,723 \$/L<br>Harga listrik 0,104 \$/kWh | 2,297,084 | 0,364        | 19                     |
| 10      | Rad.Matahari 6,69 kWh/m <sup>2</sup> /d<br>Kec. angin 4,65 m/s<br>Debit Air 69,9 L/s<br>Harga diesel 0,723 \$/L<br>Harga listrik 0,104 \$/kWh | 2,289,666 | 0,363        | 23                     |

### Kesimpulan

Dari keseluruhan hasil dan analisa pembahasan simulasi sistem energi hibrid dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu :

1. Lokasi sistem energi hibrid di Waduk Lodan memiliki potensi sumber energi air, energi matahari dan energi angin yang cukup besar, dengan debit air rata-rata per tahun sebesar 69,9 L/s, rata-rata radiasi matahari per tahun sebesar 5,04 kWh/m<sup>2</sup>/d dan rata-rata kecepatan angin per tahun 4,64 m/s. Hasil optimisasi (*Optimization Results*) yang dilakukan HOMER mendapatkan konfigurasi sistem yang terdiri dari : 15 kW turbin air, 50 kW generator, 300 baterai *bank*,

230 kW konverter, dan 29 kW *grid*. Konfigurasi tersebut dipilih karena mempunyai *Net Present Cost* (NPC) terendah yaitu \$2,297,084 dengan *Cost Of Energy* (COE) sebesar \$0,364/kWh dan *renewable fraction* sebesar 19%. Sistem tersebut disuplai dari energi turbin air sebagai sumber utama sebesar 19%, dan generator sebesar 55%, sedangkan sisanya disuplai dari *Grid*, yaitu sebesar 27%.

2. Analisa sensitifitas dilakukan untuk mengantisipasi kemungkinan terjadinya perubahan nilai pada beberapa tahun ke depan. Faktor sensitifitas yang paling berpengaruh pada pemilihan konfigurasi sistem energi hibrid adalah sumber energi matahari, sumber energi angin dan sumber energi air. Sedangkan, harga bahan bakar diesel dan harga listrik dari jaringan PLN tidak mempengaruhi konfigurasi sistem, namun berpengaruh pada biaya keseluruhan sistem, di mana semakin besar harga diesel dan harga listrik, maka semakin besar pula total biaya sistem.

## DAFTAR PUSTAKA

- Irawan, A., Chairul, S., Ibnu, K.B., 2011, *Studi Perencanaan Pembangkit Listrik Hibrida di Pulau Panjang Menggunakan Software HOMER*. Diakses 4 April 2015 dari Jurnal Universitas Maritim Raja Ali Haji, Kepulauan Riau (UMRAH).  
<http://jurnal.umrah.ac.id/wp-content/uploads/2013/07/Ade-Irawan-080120201001.pdf>
- Kunaifi., 2010, *Program HOMER Untuk Studi Kelayakan Pembangkit Listrik Hibrida di Propinsi Riau*. Diakses 4 April 2015 dari institutional Repository UPN "Veteran" Yogyakarta.  
[http://repository.upnyk.ac.id/376/1/B-3\\_PROGRAM\\_HOMER\\_UNTUK\\_STUDI\\_KELAYAKAN\\_PEMBANGKIT\\_LISTRIK\\_HIBRIDA\\_DI\\_PROPINSI\\_RIAU.pdf](http://repository.upnyk.ac.id/376/1/B-3_PROGRAM_HOMER_UNTUK_STUDI_KELAYAKAN_PEMBANGKIT_LISTRIK_HIBRIDA_DI_PROPINSI_RIAU.pdf)
- NASA Surface Meteorology and Solar Energy.  
<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>
- Prityatomo, A.R., 2009, *Analisa Hasil Simulasi HOMER Untuk Perancangan Sistem Energi Terbarukan Pada BTS (Base Transceiver Station) Pecatu Bali*. Diakses 3 Januari 2015 dari Halaman Judul - Perpustakaan Universitas Indonesia.  
<http://lib.ui.ac.id/file?file=digital/20249193-R230954.pdf>
- Pudjanarsa, A., dan Djati, N., 2006, *Mesin Konversi Energi*, ANDI, Yogyakarta.
- Sari., D.P., Refdinal, N., 2015, *Optimalisasi Desain Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Diesel Generator-Photovoltaic Array Menggunakan HOMER (Studi Kasus : Desa Sirilogui, Kabupaten Kepulauan Mentawai)*. Diakses 28 Mei 2015 dari Jurnal Nasional Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Andalas, Padang. <http://jnte.ft.unand.ac.id/index.php/first/article/view/104>.