

Analisis Perencanaan Secara Ekonomi Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid Terbarukan (Studi Kasus: Kabupaten Gunung Kidul Yogyakarta)

Lia Kamelia, Khusnul Kharisma, Afaf Fadhil
UIN Sunan Gunung Djati Bandung
Jl. A.H. Nasution 105
e-mail: lia.kamelia@uinsgd.ac.id

***Abstrak**– Pembangunan PLTH di Indonesia membutuhkan perencanaan dan perhitungan yang tepat sehingga diharapkan dapat membangun pembangkit listrik hibrid menggunakan energi terbarukan yang sesuai seperti yang diharapkan. Salah satu hal yang perlu diperhatikan dalam proses pembangunan pembangkit listrik adalah keadaan topografi suatu wilayah, misalnya kecepatan angin dan intensitas penyinaran matahari. Lokasi yang dipilih pada penelitian ini adalah Gunung Kidul, Yogyakarta. Salah satu alasannya karena kondisi alam di daerah tersebut sangat berpotensi menghasilkan energi, terutama energi panas matahari dan energi tenaga angin. Setelah ditemukan lokasi yang tepat untuk penerapan PLTH, dilakukan analisis beban dan energi yang dihasilkan oleh sistem pembangkit. Analisis tersebut disimulasikan menggunakan software HOMER yang outputnya berupa analisis kelistrikan, arus keuangan (cash flow), emisi serta kelayakan investasi. Energi yang dihasilkan pembangkit digunakan untuk distribusi air, kelistrikan rumah tangga serta penerangan jalan. Total beban yang harus dipenuhi yaitu sebesar 157,36 kWh dalam sehari pemakaian atau 4.720,86 kWh dalam sebulan. Dari hasil simulasi HOMER, pembangkit listrik yang direkomendasikan yaitu 40 kW PV, 5 kincir angin 50 kW, 240 buah baterai 12 VDC serta inverter 400 kW. Dari kedua pembangkit listrik tersebut dihasilkan energi sebesar 77.494 kWh/tahun yang didapat dari PV yang menghasilkan energi sebesar 56.570 kWh/tahun dan tenaga angin yang menghasilkan 20.924 kWh/tahun. Dari output sebesar itu, diperoleh harga per-kWh energi sebesar \$0,152/kWh. Sistem pembangkit akan mencapai BEP pada tahun ke-14 setelah sistem berjalan dan setelah tahun ke-15, keuntungan pertahunnya sebesar Rp. 73.645.416. .*

Kata kunci : Gunung Kidul, HOMER, Perencanaan, PLTH.

1. Pendahuluan

Penggunaan pembangkit listrik energi terbarukan (Renewable Energy) merupakan hal yang sangat mendesak. Terlebih biaya beban listrik PLN semakin mahal seiring berjalannya waktu, ditambah faktor semakin menipisnya bahan minyak atau fosil yang digunakan untuk menghasilkan listrik negara.

Pembangkit listrik energi terbarukan juga bisa menjadi solusi bagi daerah-daerah yang tidak terjangkau jaringan listrik PLN. Tak hanya itu, pembangkit listrik energi terbarukan juga bisa menjadi sarana investasi, dikarenakan sumber daya penghasil energi yang mudah diperoleh secara bebas di alam seperti sinar matahari, air dan angin.

Pembangkit listrik energi terbarukan juga berpotensi untuk dikembangkan di daerah Kabupaten Gunung Kidul, provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta yang mana daerah tersebut merupakan daerah yang memiliki kondisi geografis berupa pegunungan karst yang terjal dan kering. Dengan kondisi geografis yang demikian, daerah tersebut sering dilanda kekeringan ketika musim kemarau berkepanjangan. Akibatnya, masyarakat Gunung Kidul sulit

mengembangkan lahan yang mereka miliki untuk kegiatan pertanian maupun peternakan karena sulitnya akses air.

Dengan kondisi seperti itu, dibutuhkan suatu perancangan energi listrik yang baik untuk memenuhi kebutuhan rumah tangga masyarakat, pompa air untuk mendistribusikan air ke rumah-rumah penduduk dan pengairan/irigasi lahan pertanian. Salah satu alternatif pemenuhan kebutuhan listrik tersebut yaitu dengan memanfaatkan beberapa potensi energi yang mungkin bisa diterapkan, diantaranya tenaga surya teknologi *photovoltaic* (PV) dan tenaga angin (*wind energy*) yang dikemas dalam bentuk pembangkit listrik tenaga hibrid (PLTH).

Berdasarkan deskripsi diatas, maka dibutuhkan suatu perencanaan optimal pasokan listrik menggunakan prinsip hibridan energi terbarukan yang secara teknis maupun keekonomiannya yang diharapkan mampu untuk memenuhi kebutuhan listrik di Gunung Kidul. Perencanaan tersebut diperoleh berdasarkan data kecepatan angin dan intensitas penyinaran matahari di Gunung Kidul. Simulasi dan penghitungan efektifitas energi menggunakan perangkat lunak khusus yaitu HOMER (*Hybrid Optimization Model for Electric Renewable*).

Tujuan penelitian yang dilakukan adalah merencanakan sistem pembangkit listrik hybrid energi terbarukan yang efektif dan efisien dan menghitung nilai ekonomi dan investasi dari pembangkit tersebut.

2. Metode Penelitian

Metodologi Penelitian yang digunakan meliputi berbagai tahapan, seperti digambarkan pada Gambar 1.

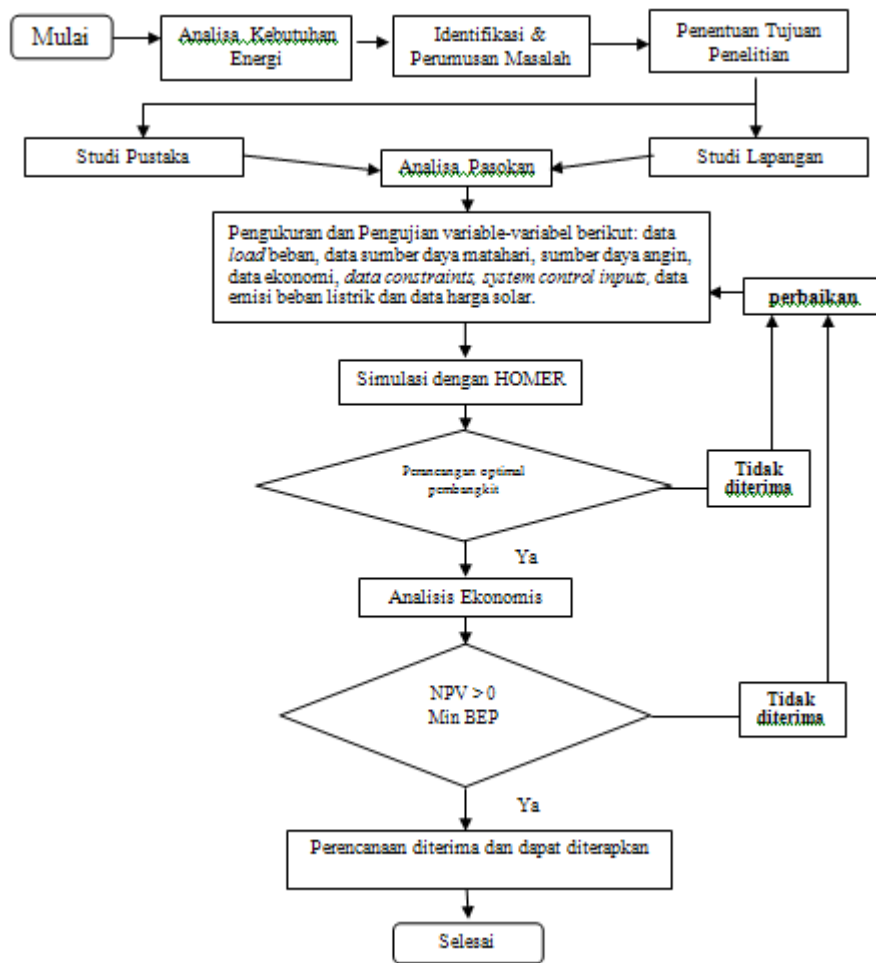
Asumsi yang digunakan pada analisis kebutuhan listrik dalam penelitian ini adalah :

- a. Pembangkit listrik energi terbarukan dikembangkan suatu pembangkit yang mandiri dan mampu mensuplai kebutuhan masyarakat sekitar.
- b. Infrastruktur minimal yaitu pompa air, penerangan jalan dan listrik rumah tangga yang digunakan untuk keseharian masyarakat sekitar sebanyak 20 rumah.
- c. Analisis demand diasumsikan untuk perencanaan jangka pendek yaitu 1 tahun.
- d. Beban puncak diabaikan, sehingga digunakan beban rata-rata harian.

Parameter yang digunakan dalam analisis kebutuhan listrik terbagi menjadi tiga bagian, yaitu parameter beban kebutuhan air, parameter beban sosial dan parameter beban rumah tangga. Parameter-parameter tersebut ditunjukkan oleh tabel 1.

Tabel 1. Parameter Beban

Jenis Beban	Parameter	Jumlah
Beban Kebutuhan air	Pompa Air Submersif	3
Beban Sosial	Lampu Penerangan Jalan	12
Beban Rumah Tangga (untuk 20 rumah)	Televisi	1
	Seterika	1
	<i>Charger Handphone</i>	1
	<i>Rice Cooker</i>	1
	Pompa Air	1
	Lampu Hemat Energi	4
	Lampu	3
Tak Terduga	25%	



Gambar 1. Diagram alir penelitian

Asumsi yang digunakan pada analisis perancangan pasokan dalam penelitian ini adalah :

- Pasokan listrik utama yang digunakan pada pembangkit ini menggunakan Photovoltaic dan angin.
- Pasokan listrik berlebih akan disimpan pada baterai sebagai cadangan energi.
- Photovoltaic yang digunakan tidak dipengaruhi oleh jenis modul surya.
- Photovoltaic yang dirancang merupakan sistem off-grid atau isolated system.
- Pembangkit listrik tenaga angin menggunakan Turbin tipe BWC Excel-S dengan daya 10 kW AC.
- Baterai yang digunakan bertipe Vision 6FM200D yang memiliki tegangan 12 Volt dan arus 200 AH.
- Data intensitas cahaya dan kecepatan angin diperoleh dari NASA dan digunakan sebagai sample parameter energi.
- Inverter yang digunakan memiliki ukuran 400 kW dengan efisiensi 90%.

2.1 Simulasi Konfigurasi Pembangkitan Optimal

Pada tahap ini dilakukan simulasi dengan menggunakan bantuan perangkat lunak HOMER 2.68 Beta untuk mencari konfigurasi pembangkit listrik tenaga hibrid (PLTH) yang dapat memenuhi kebutuhan listrik. Pada tahapan ini dibuat beberapa simulasi konfigurasi yang memenuhi kebutuhan listrik.

Beberapa hal yang dianalisis pada simulasi pembangkitan energi menggunakan perangkat lunak HOMER diantaranya:

- *Cost Summary* atau rincian biaya yang dikeluarkan untuk mendirikan suatu pembangkit yang mengacu pada komponen yang digunakan. *Cost summary* bisa berupa biaya sekarang (*net present*) maupun biaya tahunan (*annual*) dari masing-masing komponen yang digunakan oleh sistem.
- Analisis energi baik yang dihasilkan maupun digunakan oleh beban. HOMER juga akan menganalisa perbandingan produksi energi antara setiap pembangkit yang dihasilkan, baik dalam kWh maupun dalam persentase.
- Penyimpanan Energi. HOMER akan menghitung kebutuhan penggunaan baterai sebagai penyimpan energi sementara sebelum digunakan oleh beban. Dari simulasi juga akan diketahui *losses* (energi yang terbuang) maupun *depletion* (kekosongan baterai) yang terjadi.
- *Emmision*. HOMER juga akan menganalisa jumlah emisi yang dihasilkan oleh pembangkit listrik apabila sumber energi yang digunakan mengandung emisi, misalnya penggunaan generator diesel maupun batu bara.
- Analisis Ekonomis. Parameter utama dalam analisis ekonomi adalah adanya laba yang didapat. Biaya pemasangan, perawatan, dan sebagainya harus tidak lebih besar dari pada output materi yang didapatkan.

Untuk menentukan nilai investasi sebuah proyek, harus diketahui kriteria/konsep yang lazim dipergunakan untuk menentukan kelayakan investasi. Konsep-konsep tersebut diantaranya yaitu NPV, IRR maupun BEP.

Berdasarkan *Net Present Value* (NPV) atau nilai sekarang dari sebuah kegiatan ekonomi dapat diketahui dengan menghitung antara selisih antara pemasukan dengan pengeluaran yang memperhitungkan juga diskon faktor atau nilai mata uang. NPV dapat diketahui apabila terdapat parameter perkiraan biaya modal, O&M serta keuntungan yang direncanakan.

$$NPV = \sum_{i=1}^n NB_i (1 + i)^{-n}$$

Atau

$$NPV = \sum_{i=1}^n \frac{NB_i}{(1+i)^n} \quad (1)$$

Dimana,

- NB = *net benefit = benefit - cost*
- i = diskon faktor
- n = waktu dalam tahun
- C = biaya investasi + biaya operasi

Sedangkan kriteria kelayakan investasi ditinjau dari indikasi NPV yaitu:

- $NPV > 0$ (nol) → usaha/proyek layak untuk dilaksanakan.
- $NPV < 0$ (nol) → usaha/proyek tidak layak untuk dilaksanakan.
- $NPV = 0$ (nol) → usaha/proyek berada dalam keadaan BEP dimana $TR=TC$ dalam bentuk *present value*.

Analisa BEP atau *Break Even Point* merupakan alat yang digunakan untuk menentukan besaran harga dan anggaran yang dikeluarkan oleh suatu perusahaan untuk mencapai kesetaraan antara modal dan pendapatan.

Untuk menganalisa BEP dapat diketahui dengan rumus:

$$BEP = \frac{\text{Total fixed cost}}{\text{Cost per unit} - \text{variable cost}} \quad (2)$$

Kriteria investasi layak ditinjau dari sudut BEP yaitu semakin cepat waktu yang ditempuh untuk mencapai BEP, maka investasi yang dilakukan semakin layak untuk dilakukan. Sedangkan, sebaliknya, semakin lama waktu yang ditempuh suatu proyek untuk mencapai BEP, maka investasi yang dilakukan cenderung tidak layak untuk dilakukan.

3. Hasil dan Analisis

3.1. Pemetaan Lokasi

Berdasarkan analisis kebutuhan maka perencanaan pembangkit listrik tenaga hybrid ini di zona selatan, kabupaten Gunung Kidul. Pemilihan zona selatan ini didasarkan atas 2 alasan yaitu [2]:

1. Alasan teknis

Daerah zona selatan berada di dekat pantai dengan ketinggian 0-300 mdpl sehingga sangat cocok untuk dipasang pembangkit listrik tenaga angin. Selain itu, kawasan zona selatan merupakan kawasan yang kepadatan penduduknya paling rendah jika dibandingkan dengan 2 zona yang lainnya, sehingga keberadaan pembangkit listrik tidak akan mengganggu kehidupan sosial masyarakat setempat. Zona Selatan ini meliputi Kecamatan Saptosari, Paliyan, Girisubo, Tanjungsari, Tepus, Rongkop, Purwosari, Panggang, Ponjong bagian selatan, dan Kecamatan Semanu bagian selatan.

2. Alasan kebutuhan

Daerah zona selatan merupakan zona yang paling sering dilanda kekeringan karena terbatasnya akses dari ibukota kabupaten Gunung Kidul, Wonosari, maka untuk memenuhi kebutuhan masyarakat, PDAM setempat harus sering menyediakan mobil tangki khusus untuk mencukupi kebutuhan air bersih di daerah tersebut. Kesulitan air juga membuat masyarakat zona selatan tidak bisa mengembangkan pertaniannya, kecuali hanya tanaman-tanaman yang tidak membutuhkan air yang banyak seperti kebun jati, palawija dan umbi-umbian.

Siteplan PLTH terletak di kecamatan Tepus, Kabupaten Gunung Kidul dengan koordinat garis lintang $7^{\circ}58'11.79''$ LS dan garis bujur $110^{\circ}29'17.25''$ BT. Lokasi ini dipilih sebagai siteplan lokasi PLTH Gunung Kidul karena beberapa alasan, diantaranya [1][2]:

1. Lokasi terletak di daerah rural yang belum banyak rumah penduduk.
2. Kondisi daerah Tepus yang sering dilanda kekeringan parah, terutama di musim kemarau, sehingga harus mengandalkan bantuan pemerintah untuk distribusi bantuan air bersih.
3. Kondisi lahan masih belum dimanfaatkan secara optimal. Kebanyakan masyarakat setempat hanya menggunakan lahan untuk menanam pohon jati atau tanaman lain yang tidak membutuhkan banyak air.
4. Lokasi siteplan PLTH hanya berjarak 6.210 km dari lokasi sumber air di sungai bawah tanah Seropan yang terletak di kecamatan Semanu.
5. Kontur tanah yang relatif datar sehingga tidak mengganggu intensitas penyinaran matahari ataupun kecepatan angin.



Gambar 2. Siteplan PLTH di Kecamatan Tepus, Gunung Kidul

3.2 Analisis Beban

Beban penggunaan energi listrik yang didapat dari PLTH diharapkan mampu untuk memenuhi permasalahan pemenuhan air di masyarakat, kebutuhan operasional PLTH, sosial kemasyarakatan serta beberapa rumah tangga masyarakat yang membutuhkan.

3.2.1 Beban Pengairan

Kebutuhan untuk pengairan dari sumber air sampai ke kolam penampungan/bak air. Untuk memompa air dari sungai bawah tanah tersebut digunakan pompa khusus yang memiliki daya dorong air kuat. Pompa air yang memungkinkan digunakan pada kondisi seperti ini yaitu pompa air tanam (*submersive*) yang berdaya listrik 750 watt sejumlah 3 buah.

3.2.2 Beban Sosial

Kebutuhan untuk sosial berupa penyediaan lampu penerangan jalan yang ditempatkan di 12 titik sekitar lokasi PLTH. Penerangan menggunakan lampu hemat energi yang membutuhkan daya listrik masing-masing sebesar 23 watt.

3.2.3 Beban Rumah Tangga

Beban listrik rumah tangga dibagi kepada 20 rumah tangga (RT) kurang mampu dengan ketentuan penggunaan listrik berdaya 900 VA/RT. Estimasi penggunaan listrik skala kecil bagi setiap rumah tangga ditunjukkan pada tabel 2.

Penggunaan listrik tak terduga sebanyak 25% ditujukan untuk aktivitas ekonomi masyarakat setempat. Penggunaan tak terduga bisa dipergunakan untuk memompa air menuju kandang ternak untuk kebutuhan peternakan ataupun perairan ladang. Analisis konsumsi listrik rumah tangga dapat diperoleh beban total penggunaan harian ditunjukkan pada tabel 3.

Tabel 2. Estimasi penggunaan Listrik rumah tangga

No	Penggunaan	Jumlah	Watt
1	Televisi	1	110
2	Seterika	1	250
3	Charger Handphone	3	40
4	Rice Cooker	1	200
5	Pompa Air	1	150
6	Lampu Hemat Energi	4	25
7	Lampu	3	100
8	Tak Terduga	25%	350

Tabel 3 Estimasi Beban Rumah Tangga

No	Penggunaan	Jumlah	Watt	Lama Pemakaian	kWH
1	Televisi	1	110	6 jam	0,66
2	Seterika	1	250	1 jam	0,25
3	Charger Handphone	3	40	4 jam	0,48
4	Rice Cooker	1	200	3 jam	0,6
5	Pompa Air	1	150	1 jam	0,15
6	Lampu Hemat Energi	4	25	12 jam	1,2
7	Lampu	3	100	12 jam	3,6
8	Tak Terduga	25%	350	1 jam	0,021875
Total			962,5		6,961875

Sehingga beban yang dibutuhkan selama 1 bulan (dengan estimasi 1 bulan sama dengan 30 hari) adalah $6,962 \text{ kWH} \times 30 \text{ hari} = 208,856 \text{ kWH}$.

3.2.4 Beban Total

Beban total adalah jumlah keseluruhan antara beban sosial, beban pengairan serta beban rumah tangga. Penggunaan listrik secara total dapat digambarkan pada tabel 4.

Tabel 4. Estimasi Beban Total Sistem

No	Beban	Jumlah	Watt	Lama Pemakaian	KHW
1	Pompa air tanam	3	750	6 jam	13,5
2	Lampu PJU	12	23	12 jam	3,312
3	Beban rumah tangga	20	962,5	24 jam	140,55
Total beban					157,362

Total penggunaan energi listrik selama 1 bulan yaitu sebesar $157,362 \text{ kWH} \times 30 \text{ hari} = 4.720,86 \text{ kWH}$. Dengan estimasi satu bulan adalah 30 hari.

3.3 Desain Pembangkit

3.3.1 Sistem Pembangkit

Pertimbangan instrumen sistem pembangkit listrik yang digunakan pada pembangkit listrik tenaga hibrid yaitu:

- **PV 40 kW**

Untuk mendapatkan energi listrik maksimal dengan biaya yang rendah, maka PV yang digunakan adalah Astronergy 260 Silver Poly. Tipe ini dipilih karena memiliki kelebihan yaitu teknologi relatif mudah dan lebih murah jika dibandingkan dengan produk lainnya, memiliki garansi selama 10 tahun dan kompatibel untuk diterapkan di daerah tropis seperti Indonesia.

Untuk membangun pembangkit listrik tenaga surya yang berdaya listrik sebesar 40.000 W maka dibutuhkan paket panel yang berisi 25 modul PV sebanyak 7 buah atau sama dengan 10.500 sel surya.

Sedangkan biaya modal yang harus dikeluarkan untuk membeli sebanyak 7 paket solar sel yang berisi 25 modul per paketnya adalah \$40.250.

Luas yang dibutuhkan untuk memasang sebanyak 1 buah panel PV adalah 1,64 m². Sehingga untuk memasang seluruh modul surya hanya akan mengabdikan lahan sebanyak 11,49 m².

- **Wind 50 kW**

Untuk mendapatkan energi listrik maksimal dengan biaya yang rendah, maka kincir angin yang digunakan memiliki spesifikasi sebagai berikut ^[5]:

- Model : BWC Excel-s 10 kW AC (kebisingan rendah)
- Tipe : *3-blade upwind, horizontal axis*
- Merk : *Bergey Wind Power*
- Power : 8,9 kW (pada kecepatan 11 m/s)
- Alternator : *Magnet Permanen*
- Tinggi tower : 24-49 meter
- Diameter Rotor : 7 meter
- Sistem proteksi : *AutoFurl*
- Harga : \$7.000 (Harga per 28 Juli 2016)

Sehingga untuk memenuhi kebutuhan sebanyak 50 kW AC maka dibutuhkan biaya modal sebanyak \$7000 x 5 = \$35.000.

- **Inverter**

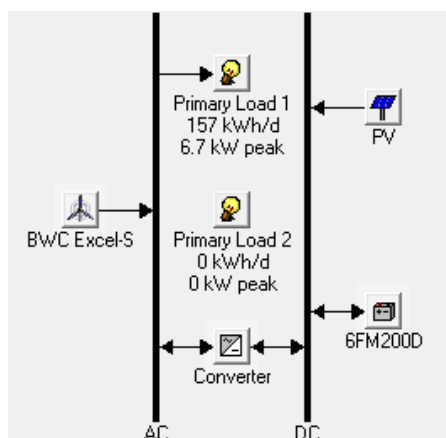
Inverter yang digunakan sebanyak satu buah. Tegangan masukan inverter adalah 34 volt DC dan tegangan keluarannya adalah 120 volt AC. Harga : \$2.079,20 (Harga per 28 Juli 2016)

- **Baterai**

Baterai untuk menyimpan cadangan arus listrik yang dihasilkan adalah baterai yang bertegangan 12 Volt dengan kapasitas 200 AH. Baterai ini memiliki tipe Vision 6FM200D. Baterai disusun dengan konfigurasi 2 rangkaian seri dan 65 paralel untuk membentuk 24 volt dari total 130 buah baterai. Total biaya modal untuk seluruh baterai adalah \$1000.

3.4 Hasil Simulasi Pembangkit Menggunakan Software HOMER

Hasil proyeksi kebutuhan listrik bulanan sistem pembangkit PLTH dibutuhkan energi listrik sebesar 4.720,86 kWh per bulan. Untuk memenuhi kebutuhan energi tersebut, maka dilakukan simulasi desain alternatif yang mampu menyuplai energi dengan jumlah yang lebih besar dari energi yang dibutuhkan. Simulasi dilakukan sebanyak 5 kali.



Gambar 3. Diagram Pembangkit, Inverter dan Baterai

a. Simulasi 1 Dengan 70 PV dan 2 Kincir Angin

Simulasi pertama menggunakan 70 kW PV, 2 kincir angin tipe BWC Excel-S 10 kW serta 100 buah baterai dengan tipe Vision 6FM2000. Dari simulasi ini, HOMER merekomendasikan 2 sistem alternatif pembangkitan, yaitu, pertama, 70 kW PV dengan 2 buah kincir angin. Sedangkan pada alternatif kedua yaitu 70 kW PV saja tanpa kincir angin.

Pada alternatif simulasi kedua yang menggunakan 70 kW PV dan 2 kincir angin, sistem pembangkit menghasilkan *Cost of Energy* (biaya untuk menghasilkan per-kWh energi) sebesar \$0,161/kWh. Dan total biaya NPC (*Net Present Cost*) yang harus dikeluarkan sebesar \$64.065.

b. Simulasi 2 Dengan 60 PV dan 3 Kincir Angin

Simulasi kedua menggunakan 60 kW PV, 3 kincir angin tipe BWC Excel-S 10 kW serta 100 baterai dengan tipe Vision 6FM2000. Dari simulasi ini, HOMER kembali merekomendasikan 2 sistem alternatif pembangkitan, yaitu, pertama, 70 kW PV dengan 2 kincir angin. Alternatif kedua yaitu 70 kW PV saja tanpa kincir angin.

Pada alternatif kedua dengan menggunakan 70 kW PV dengan 2 kincir angin, sistem pembangkit menghasilkan *Cost of Energy* sebesar \$0,163/kWh. Dan total biaya NPC (*Net Present Cost*) yang harus dikeluarkan sebesar \$63.503. Biaya COE dan NPC pada simulasi kedua ini lebih murah dibandingkan dengan biaya COE dan NPC pada simulasi pertama.

c. Simulasi 3 Dengan 50 PV dan 4 Kincir Angin

Simulasi ketiga yang menggunakan 50 kW PV, 4 kincir angin tipe BWC Excel-S 10 kW serta 100 baterai dengan tipe Vision 6FM2000, HOMER tetap merekomendasikan 2 sistem alternatif pembangkitan, yaitu 50 kW PV dengan 4 kincir angin dan tanpa kincir angin. Bedanya, alternatif pembangkitan tanpa kincir angin menggunakan 240 buah baterai 12 volt, sedangkan alternatif yang dengan kincir angin menggunakan 150 buah baterai 12 volt.

Pada alternatif sistem 70 kW PV dan 2 kincir angin, sistem pembangkit menghasilkan *Cost of Energy* (COE) sebesar \$0,148/kWh. Dan total biaya *Net Present Cost* yang harus dikeluarkan sebesar \$59.526. Pada simulasi ketiga ini, COE dan NPC semakin rendah jika dibandingkan dengan dua simulasi sebelumnya.

d. Simulasi 4 Dengan 30 PV dan 6 Kincir Angin

Pada simulasi menggunakan 30 kW PV, 6 kincir angin tipe BWC Excel-S 10 kW serta 100 baterai dengan tipe Vision 6FM2000, HOMER gagal merekomendasikan sistem pembangkitan. Sehingga tidak dapat diketahui optimalisasi sistem pembangkitnya.

Pada simulasi keempat ini, diketahui bahwa sistem pembangkit dalam kondisi *infeasible* atau energi yang dihasilkan tidak mencukupi untuk menjalankan beban (*demand*). Jika terjadi hal ini, HOMER merekomendasikan untuk menambah kapasitas PV atau kincir angin,

menambahkan generator, menambah baterai sebagai penyimpan energi sementara ataupun mengurangi beban listrik yang digunakan.

Masalah ini juga terjadi pada simulasi pada PV dengan kapasitas 30 kW dan dibawahnya. Hal ini disebabkan karena pada sistem hibrid tersebut, PV memiliki efektifitas lebih tinggi dibandingkan dengan pembangkit listrik tenaga angin.

e. Simulasi 5 Dengan 40 PV dan 5 Kincir Angin

Simulasi kelima dengan menggunakan 40 kW PV, 5 kincir tipe BWC Excel-S 10 kW serta 100 baterai dengan tipe Vision 6FM2000, HOMER hanya merekomendasikan satu-satunya sistem alternatif pembangkitan, yaitu 40 kW PV dengan 5 kincir angin.

Dari semua simulasi yang ada, simulasi ini yang dipilih untuk ditanamkan sebagai sistem pada pembangkit listrik tenaga hibrid dengan alasan:

- Sistem hibrid yang seimbang dan sebanding antara PV dan pembangkit tenaga angina dengan perbandingan kapasitas yaitu 40 kW: 50 kW.
- Meskipun keandalan pembangkit tenaga angin relatif rendah dibandingkan pembangkit PV, namun mampu bekerja secara terus menerus selama 24 jam. Berbeda dengan PV yang hanya bekerja pada siang hari dan *off* di malam hari.
- Pembangkit tenaga angin menghasilkan daya output AC yang bisa langsung dipergunakan oleh beban tanpa proses konversi menggunakan inverter.

Berdasarkan hasil simulasi HOMER menggunakan sistem pembangkit 40 kW PV dengan 5 kincir angin yang diproyeksikan untuk memenuhi kebutuhan listrik (*demand*) di Kecamatan Tepus, kabupaten Gunung Kidul sebesar 4.720,86 kWh per bulan. Maka diperoleh desain sistem pembangkit listrik PLTH. seperti yang ditunjukkan dalam gambar 4.

Sensitivity Results		Optimization Results										
Double click on a system below for simulation results.												
	PV (kW)	XLS	6FM2000	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage		
	40	5	240	400	\$ 80,175	-2,787	\$ 59,659	0.152	1.00	0.09		

Gambar 4. Simulasi HOMER yang Dipilih

Berdasarkan gambar 4, didapat simulasi menggunakan 40 kW PV, 5 buah kincir angin, 240 buah baterai sebagai penyimpan energi serta inverter dengan kapasitas 400 kW didapatkan hasil simulasi berupa^[4]:

- Initial capital* atau total biaya modal yang dikeluarkan di awal untuk instalasi sistem pembangkit sebesar \$80.175.
- Operating cost* atau biaya operasional sistem pembangkit yaitu sebesar \$2.787 per tahun atau \$232,25 per bulan.
- Total NPC (Net Present Cost)* atau total biaya yang dikeluarkan sistem pembangkit selama kurun waktu tertentu. Total NPC diantaranya biaya modal awal, biaya penggantian perangkat/komponen, perawatan sistem, dikurangi dengan *salvage* (kisaran nilai sistem pembangkit). Total NPC pada simulasi ini yaitu \$59.659.
- Renewable Fraction* atau komposisi dari energi terbarukan menunjukkan angka 1.00 yang artinya sistem pembangkit menggunakan 100% energi terbarukan.
- Cost of Energy* atau biaya produksi energi dalam setiap *kilo watt hour* (kWh). Semakin rendah COE maka semakin tinggi keuntungan sistem pembangkit. Dalam simulasi diatas, biaya energi per-kWh adalah \$ 0,152.
- Capacity Shortage* adalah persentase dimana kapasitas daya yang ada tidak mampu mensuplai daya untuk kerja sistem pembangkit dan beban. Dalam simulasi diatas *capacity shortagenya* 0,09 atau 9%.

3.5 Analisa Sistem Pembangkit

Dengan menggunakan data-data dan desain yang sudah diinputkan di HOMER, maka selanjutnya dilakukan simulasi yang akan menghasilkan konfigurasi paling optimal dari sistem pembangkit energi yang akan dibangun^[5].

Konfigurasi komponen yang didapatkan pada rata-rata penyinaran matahari 4,802 kWh/m²/d, rata-rata kecepatan angin 3,327 m/s dan baterai 12 Volt 200 AH sebanyak 130 buah adalah 40 kW PV, 5 buah kincir angin, 240 Baterai, dan 400 kW konverter. Pada simulasi tersebut didapatkan bahwa NPC (*Net Present Cost*) atau nilai saat ini dari semua biaya yang muncul selama masa pakai dikurangi semua pendapatan sebesar \$66,432 dan COE (*Cost of Energy*) atau biaya rata-rata per kWh dari energi listrik yang dihasilkan oleh sistem sebesar \$0,169/kWh.

3.5.1 Analisa Kelistrikan

Dari hasil simulasi diketahui bahwa sistem pembangkit menghasilkan energi setara 77,494 kWh per tahun. Dari kedua pembangkit tersebut, sistem PLTS mampu menghasilkan listrik lebih baik daripada pembangkit listrik tenaga angin dengan 73% dibanding 27%.

Produksi listrik akan mencapai puncak pada musim kemarau, tepatnya pada bulan Agustus yang mencapai lebih dari 12 kW. Sedangkan produksi listrik paling rendah terjadi pada bulan Desember yang hanya mampu memproduksi listrik dibawah 6 kW saja.

Selama satu tahun, energi listrik yang tidak termanfaatkan (*excess electricity*) mencapai 17,7% atau 13.740 kWh. Hal ini bisa terjadi karena berlebihnya pasokan energi yang dihasilkan pembangkit, sedangkan baterai sudah dalam kondisi penuh. Solusi dari *excess electricity* biasanya dengan menambah pasokan baterai atau langsung digunakan oleh perangkat listrik untuk mengaktifkan beban^[1].

Unmet electric load atau nilai dimana beban listrik yang tidak terpenuhi oleh sistem mencapai 6,8 persen atau 3.912 kWh per tahunnya. Sedangkan hasil simulasi HOMER yang menunjukkan bahwa *renewable fraction* di angka 1,00 artinya pembangkit listrik yang digunakan 100% merupakan pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan^{[1][7]}.

- **Kelistrikan PV**

Listrik yang dihasilkan oleh panel surya 40 kWh mampu menghasilkan keluaran energi sebesar 155 kWh per hari atau setara dengan 56.570 kWh per tahunnya.

Berdasarkan simulasi, panel surya menghasilkan energi antara jam 6 pagi sampai jam 6 sore, atau ketika adanya sinar matahari. Semakin terik matahari bersinar maka energi yang dihasilkan juga akan semakin besar. Ketika matahari terbenam, maka PV tidak akan menghasilkan energi sama sekali. Dalam satu tahun, sistem akan beroperasi selama 4.363 jam (*hours of operation*).

Puncak panas sinar matahari yang ditandai dengan warna merah pada simulasi diatas menunjukkan wattpeak atau kondisi dimana PV mampu menghasilkan energy maksimum mendekati 40 kW. Sedangkan pada simulasi energi maksimum mencapai 38 kW.

- **Kelistrikan Kincir Angin**

Sistem pembangkit listrik tenaga angin yang digunakan yaitu BWC Excel-S yang memiliki output energi sebanyak 50 kW. Sedangkan output sebenarnya ketika sistem beroperasi hanya mencapai 2,4 kW saja, atau 4,78% dari kapasitas output sebenarnya.

Berbeda dengan PV yang optimalisasi energinya dilihat menggunakan variabel siang dan malam, pembangkit tenaga angin ini memiliki optimalisasi energi berdasarkan musim. Ketika musim kemarau, angin cenderung berhembus kencang, maka energi yang dihasilkan oleh sistem pembangkit listrik tenaga angin ini juga akan besar, sedangkan di musim penghujan dimana angin yang berhembus tidak terlalu kencang, maka energi yang dihasilkan juga sedikit.

Kincir angin BWC Excel-S mampu menghasilkan energi pada kondisi puncak (*maximum output*) sebesar 59,6 kW. Dan dapat beroperasi selama 7.116 hari dalam setahun.

- **Kelistrikan Baterai**

Sistem pembangkit listrik tenaga hibrid menggunakan 240 buah baterai dengan 2 rangkaian seri dan 120 buah baterai dirangkai parallel. Dua rangkaian seri tersebut menghasilkan tegangan 24 Volt AC.

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan HOMER dapat diketahui bahwa pada bulan Mei sampai Oktober baterai berada dalam kondisi penuh. Hal ini dikarenakan pembangkit listrik tenaga angin mampu bekerja optimal sehingga kapasitas baterai tidak mampu menampung seluruh energi listrik yang masuk (*full of charge*).

Ketika baterai dalam keadaan *full of charge* maka kelebihan energi selama satu tahun sebanyak 5.532 kWh akan terbuang percuma, solusinya adalah menambah beban (*demand*) agar tidak ada energi yang terbuang.

Sebaliknya, ketika baterai dalam keadaan hampir habis dan tidak ada suplai energi (*storage depletion*) maka energi yang ada dalam baterai akan semakin tergerus sebanyak 346 kWh per tahun.

Total input energi selama satu tahun mencapai 30.916 kWh dan output yang digunakan oleh beban selama satu tahun mencapai 25.039 kWh per tahun. Sehingga *annual throughput* atau energi rata-rata yang melalui baterai sebanyak 27.994 kWh per tahun.

3.5.2 Analisa Ekonomi

a. Net Present

Biaya yang harus dikeluarkan pada saat sistem mulai untuk beroperasi (*capital*). Biaya ini meliputi *capital* (modal awal), *replacement* (penggantian), O&M (pengoperasian dan perawatan), *fuel* (biaya bahan bakar), dan *salvage* (sisa nilai barang) ^[6]. Biaya pengeluaran terbesar untuk PV sebesar \$40.250. Total sistem membutuhkan biaya awal sebesar \$80.175. Dan Net Present sebesar \$59.659.

b. Biaya Tahunan (*Annualized*)

Biaya tahunan yang dikeluarkan setiap tahunnya digambarkan pada Gambar 5. Total biaya setelah dipotong *salvage* (nilai sisa barang) adalah \$8.106, sehingga rata-rata biaya yang dikeluarkan setiap bulannya yaitu \$675,5.

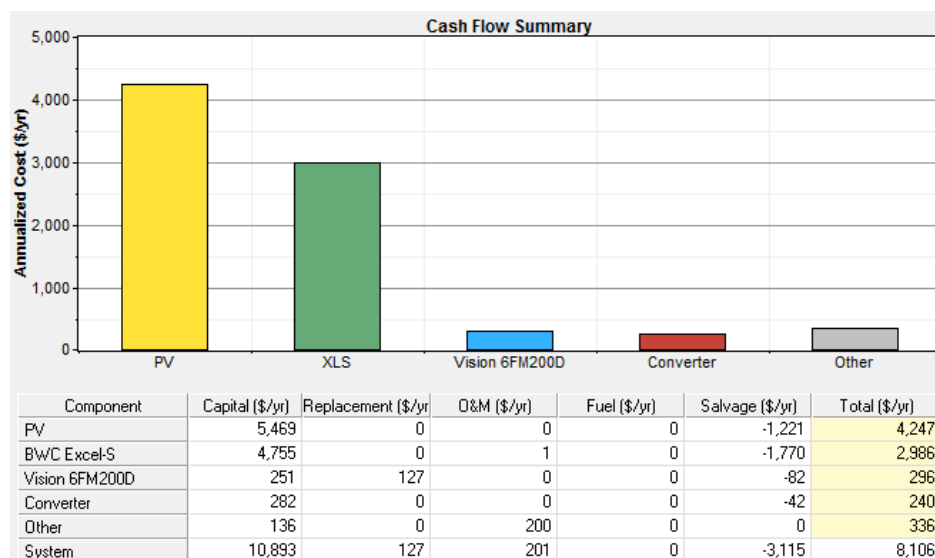
c. Nilai Investasi

Total penggunaan energi listrik selama 1 bulan: $157,362 \text{ KWH} \times 30 \text{ hari} = 4720,86 \text{ kWH}$. Apabila dikomersialkan dengan harga jual dibawah ketentuan PLN, maka akan didapat:

Tarif tenaga listrik PLN berdasarkan *Tariff Adjustment* PLN Agustus 2016:

- Gol. Tarif R-1/TR (1300 VA) biaya pemakaian : Rp. 1.410,12/kWH
- Gol. Tarif P-1/TR (1300 VA) biaya pemakaian : Rp. 1.410,12/kWH
- Gol. Tarif L/TR biaya pemakaian : Rp. 1.593,78/kWH

Sehingga total biaya yang harus dibayarkan apabila dihitung menggunakan tarif resmi PLN diperlihatkan pada tabel 4.



Gambar 5. Cash Flow Summary Dalam Satu Tahun

Tabel 4. Perhitungan Biaya Listrik Menggunakan Tarif PLN

Beban	kWH	kWH/bulan	Rp/kWH	Rp/bulan
Submersive Water Pump	13,5	405	1.593,78	645.480,9
Public Lamp	3,312	99,36	1.410,12	140.109,52
Beban Rumah tangga	140,55	4216,5	1.410,12	5.945.771
Jumlah	157,362	4720,86	30.053,01	6.731.361,5

Sedangkan biaya rata-rata per kWh menggunakan perhitungan tarif resmi PLN yaitu biaya total penggunaan listrik selama satu bulan dibagi dengan total penggunaan daya selama satu bulan:

$$= \text{Rp. } 6.731.361,5 / 4720,86 \text{ kWh} = \text{Rp. } 1.425,88/\text{kWH}$$

Sedangkan nilai jual PLTH harus dibawah nilai jual PLN agar nilai ekonomi tetap terjaga, maka diasumsikan harga jual listrik PLTH/kWH adalah Rp. 1.300,00. Sehingga tarif listrik PLTH perbulannya apabila listrik tersebut memungkinkan untuk dijual ke masyarakat adalah dengan mengalikan antara total penggunaan daya listrik selama satu bulan dengan harga jual listrik PLTH sebesar Rp. 1.300,00/kWh:

$$= 4720,86 \text{ kWh} \times \text{Rp. } 1.300,00 = \text{Rp. } 6.137.118,00$$

Dikonversikan ke kurs dollar (US\$) dengan asumsi mata uang rupiah stabil pada angka Rp.13.500, maka akan didapat nominal perhitungan pendapatan PLTH selama sebulan adalah:

$$= \text{Rp. } 6.137.118,00 / \text{Rp. } 13.500,00 = \$454,6$$

Sedangkan untuk menutup biaya modal awal (*initial capital*) maka dihitung dengan membagi antara *initial capital* dengan keuntungan sistem PLTH perbulan:

$$= \$80.175 / \$454,6 \text{ per bulan} = 176,36 \text{ bulan.}$$

Sehingga dari pembagian antara modal awal dibagi pemasukan bulanan pada perhitungan diatas, maka dapat disimpulkan bahwa sistem pembangkit listrik tenaga hibrid akan balik modal setelah 176,36 bulan. Atau 14 tahun dihitung sejak bulan pertama PLTH beroperasi dan dapat menjual energi listriknya ke masyarakat.

Keuntungan kotor investasi adanya sistem pembangkit per tahunnya dapat diperoleh pada tahun ke-15 sebanyak:

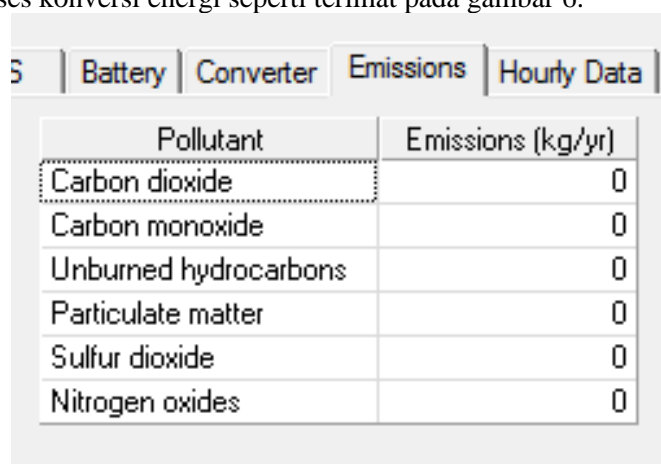
$$\text{Rp. } 6.137.118,00 \times 12 \text{ bulan} = \text{Rp. } 73.645.416,00$$

Sedangkan keuntungan bersih dapat dihitung dengan mempertimbangkan penggantian komponen setiap pembangkit yang perlu diganti atau diremajakan berdasarkan *life time* masing-masing komponen.

Investasi pembangkit dianggap layak apabila memenuhi parameter investasi, diantaranya yaitu minimum BEP (Break Event Point). Semakin cepat suatu proyek investasi mencapai titik BEP maka investasi semakin layak. Sedangkan dalam proyek instalasi pembangkit listrik, batas maksimal titik BEP yaitu 20 tahun. Angka 20 tahun didapat berdasarkan analisis tentang perubahan nilai mata uang (inflasi maupun deflasi) serta kemajuan teknologi yang memunculkan teknologi baru yang semakin efektif dan efisien menggantikan teknologi yang lama^[7].

Dalam hal ini, analisis perencanaan PLTH Gunung Kidul hanya membutuhkan waktu 14 tahun untuk mencapai BEP, sehingga investasi yang dilakukan masih sangat feasible untuk direalisasikan.

Penggunaan sumber daya energi terbarukan murni akan menghasilkan energi yang ramah lingkungan, hal ini bisa dilihat dari tidak adanya emisi atau polutan membahayakan yang dihasilkan dari proses konversi energi seperti terlihat pada gambar 6.



Pollutant	Emissions (kg/yr)
Carbon dioxide	0
Carbon monoxide	0
Unburned hydrocarbons	0
Particulate matter	0
Sulfur dioxide	0
Nitrogen oxides	0

Gambar 6. Emisi yang Dihasilkan Sistem Pembangkit(Simulasi HOMER)

Pada gambar hasil uji emisi menggunakan software HOMER menunjukkan emisi yang dihasilkan sebesar 0 kg per tahun, artinya sistem pembangkit tidak menghasilkan polutan. Sehingga sistem PLTH ini aman untuk diterapkan karena tidak membawa dampak buruk terhadap lingkungan. Tidak adanya generator diesel membuat pembangkit ini tidak menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂) hasil dari pembakaran.

4. Kesimpulan

1. Total energi yang dihasilkan sistem pembangkit hibrid sebesar 77.494 kWh/tahun dan mampu untuk mencukupi beban penggunaan listrik sebesar 53.392 kWh/tahun.
2. Penggunaan PV sebagai pembangkit listrik jauh lebih optimal dengan energi yang dihasilkan sebanyak 56.570 kWh/tahun dibandingkan dengan pembangkit tenaga angin yang hanya 20.924 kWh/tahun. Persentase energi yang dihasilkan antara PV dengan pembangkit tenaga angin adalah 73% : 27%.

3. Berdasarkan hasil simulasi menggunakan software HOMER didapat bahwa harga (cost) per kWh listrik yang dihasilkan PLTH lebih murah dibandingkan dengan listrik utility (PLN) dengan selisih yang dihasilkan yaitu sebesar Rp. 125,88/kWh jika listrik dari PLTH dijual dengan harga Rp. 1.300/kWh.
4. Keuntungan dari investasi sistem pembangkit listrik tenaga hibrid akan diperoleh setelah proyek berjalan selama 14 tahun. Nilai investasi yang diperoleh sebesar Rp. 73.645.416,00 per tahun.

Daftar Pustaka

- [1] Department of Settlements and Regional Infrastructure “*Atlas Gunung Kidul Regency*”, Maret 2005.
- [2] BPS Kabupaten Gunung Kidul, “*Gunung Kidul Dalam Angka 2013*”,
- [3] HOMER, “*Users Guide HOMER Contextual Help*”, 2011.
- [4] NSW Department of Planning, “*Discussion Paper On Planning For Renewable Energy Generation: Solar Energy*”, Consultation Draft – Not Government Policy, April 2010
- [5] Tidball, Rick; Joel Bluestein; Nick Rodriguez; Stu Knoke, “*Cost and Performance Assumptions for Modeling Electricity Generation Technologies*”, NREL Laboratory , ICF International Fairfax Virginia, 2010
- [6] Yayienda, Nibras Fitrah, “*Energy and Problem Analysis of High Voltage System in Pandansimo Hybrid Power*”, Department of Engineering Physics ITS Surabaya, 2012.
- [7] Marsudi, Djiteng, “*Operasi Sistem Tenaga Listrik*”, Graha Ilmu , 2006.