

PROGRAM HOMER UNTUK STUDI KELAYAKAN PEMBANGKIT LISTRIK HIBRIDA DI PROPINSI RIAU

Kunaifi

Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri
Sultan Syarif Kasim Riau.
Jl. HR. Soebrantas No. 115 Km. 15 Panam, Pekanbaru, Indonesia.
e-mail: kunaifi@gmail.com

Abstrak

Artikel ini membahas tentang penggunaan program HOMER untuk merancang sistem pembangkit listrik hibrida (PLH) di sebuah desa terpencil di Propinsi Riau. HOMER adalah sebuah model komputer yang dikembangkan oleh The National Renewable Energy Laboratory (NREL) Amerika Serikat untuk optimasi desain sistem pembangkit listrik tersebar dengan output estimasi ukuran/kapasitas sistem, lifecycle cost, dan emisi gas rumah kaca. Desain sistem dilakukan di sebuah desa referensi bernama Saik yang akan memiliki sekitar 25 kW beban puncak dan konsumsi energi 180 kWh per hari, jika memiliki suplai listrik. Sistem yang direkomendasikan HOMER terdiri dari photovoltaic 5 kW, dua Darrieus Hydrokinetic Turbine (DHT) 3 kW, baterai 14.400 Ah, inverter 20 kW, dan generator diesel 18 kW sebagai back-up, yang dikonstruksi dalam konfigurasi parallel hybrid. Sistem tersebut mampu melayani 100% beban sepanjang tahun ditambah sekitar 21% kapasitas lebih untuk mengantisipasi pertumbuhan beban. Dengan arus sungai yang relatif lambat, kontribusi DHT pada energi output mencapai 55%. Biaya Operasi dan Perawatan (O&M) sistem ini rendah, namun biaya awal tinggi. Biaya energi (COE) lebih tinggi daripada tarif listrik di Riau, namun lebih rendah dari pada COE jika menggunakan generator diesel saja. Sistem ini melepaskan sekitar 19,7 ton CO₂ per tahun, jauh di bawah emisi sistem jika hanya menggunakan generator diesel (580% lebih tinggi). Sebagai kesimpulan, HOMER adalah tool yang dapat membantu desainer sistem pembangkit listrik tersebar secara efektif dan efisien.

Kata kunci: Energi matahari, Hidrokinetik, Hibrida, HOMER, Listrik desa.

1. PENDAHULUAN

Istilah sistem pembangkit listrik *hybrid* (hibrida) – PLH, digunakan pada pembangkit listrik yang mengandung lebih dari satu generator – biasanya gabungan antara generator konvensional (mesin diesel atau gas) dan energi terbarukan (PLTS¹, PLTB² atau PLTMH³). Di seluruh dunia kini ada ribuan sistem PLH beroperasi dan jumlahnya terus bertambah, mulai dari ukuran beberapa puluh watt hingga puluhan kilowatt (Sandia National Laboratories 2009). Beberapa keuntungan sistem PLH adalah: (1) meningkatkan kehandalan sistem dalam memenuhi beban, (2) mengurangi emisi dan polusi, (3) menyediakan suplai listrik kontinyu, (3) meningkatkan usia sistem, dan (4) mengurangi biaya-biaya dan meningkatkan efisiensi penggunaan energi listrik (Sopian dan Othman 2005).

Di Propinsi Riau, akses pada listrik seakan menjadi masalah tak berujung. Pada 2009, lebih satu juta rumah-tangga di Riau tidak memiliki listrik (Distamben Riau 2009). Kurangnya pasokan listrik memiliki kontribusi pada kemiskinan, pelayanan kesehatan masyarakat minim, pendidikan berkualitas sulit dilaksanakan, dan ketidakadilan gender (Kunaifi 2009). Kurangnya studi, keahlian dan pengalaman dalam menangani program listrik desa yang berkelanjutan, adalah salah satu hambatan, khususnya di kalangan Pemerintah, untuk mengoptimalkan program listrik desa di Riau.

Studi kelayakan suatu sistem PLH melibatkan proses rumit disebabkan beberapa faktor penting dan saling berkaitan harus dipertimbangkan seperti faktor teknis, ekonomi, dan lingkungan hidup. Dari segi teknis, beberapa hal yang perlu diperhatikan misalnya jumlah dan jenis generator yang digunakan (energi terbarukan dan/atau konvensional), penyimpanan energi, *converter*, beban, apakah tersambung grid atau tidak, kombinasi optimal dari komponen sistem, kinerja sistem, kontrol, dan sebagainya. Dari segi ekonomi desainer sistem perlu memperhitungkan *life cycle costs* seperti biaya awal, biaya operasional dan perawatan (O&M), biaya *decommissioning*, dan sebagainya. Sedangkan aspek lingkungan yang perlu dimasukkan ke dalam pertimbangan desain antara lain emisi gas rumah kaca yang meliputi jenis, jumlah, dan *carbon content* bahan bakar yang digunakan. Studi kelayakan akan semakin rumit jika calon investor misalnya, meminta analisa sensitifitas (*sensitivity analysis*) dimasukkan.

Pemodelan menggunakan program komputer adalah pilihan yang dapat mempermudah, mempercepat, dan lebih hemat biaya. Artikel ini membahas tentang penggunaan program HOMER untuk merancang sistem PLH di sebuah desa terpencil di Propinsi Riau bernama Saik, yang memanfaatkan sumber energi terbarukan lokal (energi sinar matahari dan hidrokinetik arus sungai), generator diesel, dan baterai, untuk memberikan suplai

¹ PLTS: pembangkit listrik tenaga surya

² PLTB: pembangkit listrik tenaga bayu/angin

³ PLTMH: pembangkit listrik tenaga mikrohidro

listrik kepada masyarakat desa setempat. Penggunaan HOMER telah membuat proses studi kelayakan ini menjadi lebih efektif dan efisien dengan memasukkan semua faktor di atas ke dalam desain sistem.

2. TINJAUAN PUSTAKA

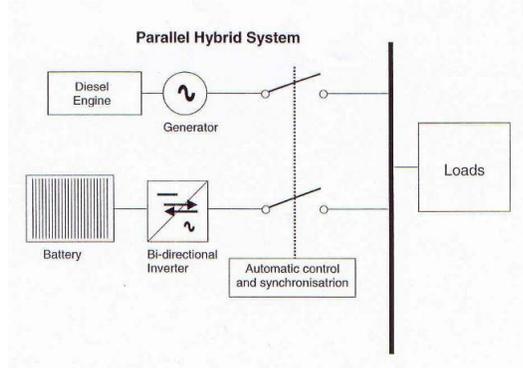
2.1. Sistem Pembangkit Listrik Hibrida

Suatu sistem PLH biasanya dibangun dari: (1) inverter dengan rating daya kontinu 60% dari daya beban, (2) satu atau dua mesin dan generator diesel yang biasanya memiliki kapasitas sama hingga 1,5 kali rating daya inverter dan dilengkapi sistem control otomatis, (3) sistem penyimpanan yang biasanya berupa bank baterai *lead-acid* dengan kapasitas penyimpanan minimum tertentu, (4) sistem pembangkit energi terbarukan seperti photovoltaic dilengkapi regulator, dan (5) sistem kontrol berbasis mikroprosesor untuk keperluan *monitoring* dan otomasi manajemen sistem (Sopian dan Othman 2005).

Berbagai komponen sistem PLH tersebut dirangkai dalam beberapa konfigurasi yaitu: (1) *series hybrid system*, (2) *switched hybrid system*, dan (3) *parallel hybrid system* (Nayar et.al 1993). Pada penelitian ini digunakan konfigurasi *parallel hybrid system* seperti Gambar 1.

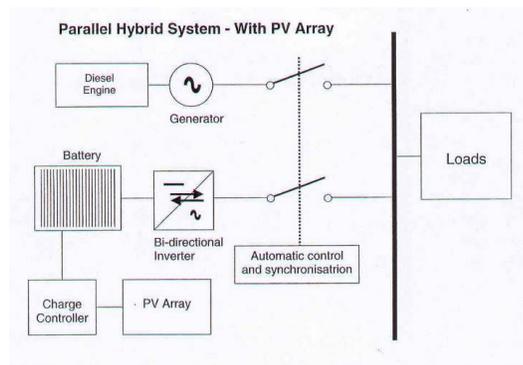
Pada *parallel hybrid system*, generator diesel dan bank baterai bersama-sama secara paralel menyuplai beban. *Parallel hybrid system* menggunakan inverter dua arah (*bi-directional*) yang dapat berfungsi sebagai *inverter* (mengubah daya dc menjadi ac) dan sebagai *charger* dan *regulator* (mengubah daya ac menjadi dc). Saat daya beban lebih rendah dari daya bank baterai, maka beban disuplai oleh baterai melalui *bi-directional inverter* (yang berfungsi sebagai *inverter*) sedangkan generator diesel dipadamkan. Pada saat daya beban melebihi daya baterai namun lebih kecil dari daya generator diesel, generator diesel dinyalakan untuk mensuplai beban dan mengisi baterai dengan kelebihan dayanya. Pada saat ini *bi-directional inverter* berfungsi sebagai *regulator* dan *charger*. Pada saat daya beban lebih tinggi dari daya generator diesel, generator diesel tetap menyuplai beban sedangkan *bi-directional inverter* kembali berfungsi menjadi *inverter* lalu bersama-sama secara paralel menyuplai beban.

Konfigurasi *parallel hybrid system* memiliki beberapa keuntungan antara lain: (1) beban dapat dipenuhi secara optimal, (2) efisiensi generator diesel tinggi sehingga mengurangi biaya perawatan, dan (3) ukuran generator diesel dan komponen lain dapat diminimalisir sehingga mengurangi biaya investasi (Nayar et.al 1993).



Gambar 1. *Parallel hybrid system*

Jika suatu sistem PLH dengan konfigurasi *parallel hybrid system* dilengkapi dengan pembangkit listrik energi terbarukan (Gambar 2), kehandalan dan efisiensi sistem akan meningkat, dan ukuran generator-generator makin kecil. Hal ini dimungkinkan karena generator diesel berubah fungsi menjadi *back-up*, sedangkan suplai utama berasal dari pembangkit energi terbarukan dan baterai.



Gambar 2. *Parallel hybrid system dengan photovoltaic*

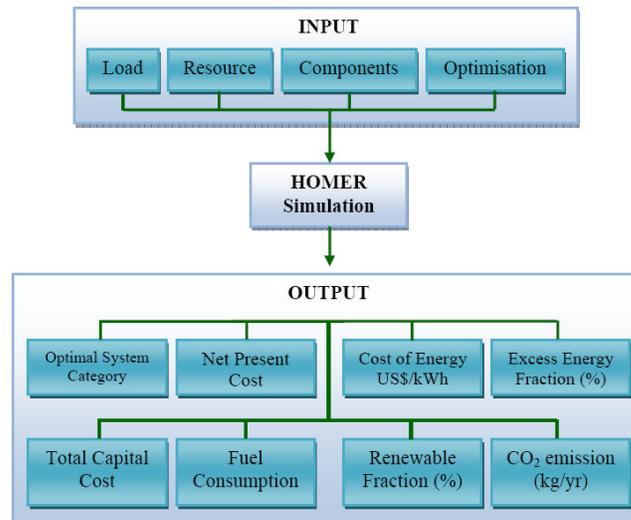
2.2. HOMER

HOMER adalah singkatan dari *the hybrid optimisation model for electric renewables*, salah satu *tool* populer untuk desain sistem PLH menggunakan energi terbarukan. HOMER mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit listrik baik *stand-alone* maupun *grid-connected* yang dapat terdiri dari kombinasi turbin angin, *photovoltaic*, mikrohidro, biomassa, generator (diesel/bensin), *microturbine*, *fuel-cell*, baterai, dan penyimpanan hidrogen, melayani beban listrik maupun termal (Lambert, Gilman, dan Lilienthal 2006).

HOMER mensimulasikan operasi sistem dengan menyediakan perhitungan *energy balance* untuk setiap 8,760 jam dalam setahun. Jika sistem mengandung baterai dan generator diesel/bensin, HOMER juga dapat memutuskan, untuk setiap jam, apakah generator diesel/bensin beroperasi dan apakah baterai diisi atau dikosongkan. Selanjutnya HOMER menentukan konfigurasi terbaik sistem dan kemudian memperkirakan biaya instalasi dan operasi sistem selama masa operasinya (*life time costs*) seperti biaya awal, biaya penggantian komponen-komponen, biaya O&M, biaya bahan bakar, dan lain-lain.

Saat melakukan simulasi, HOMER menentukan semua konfigurasi sistem yang mungkin, kemudian ditampilkan berurutan menurut *net presents costs* - NPC (atau disebut juga *life cycle costs*). Jika analisa sensitivitas diperlukan, HOMER akan mengulangi proses simulasi untuk setiap variabel sensitivitas yang ditetapkan. Error relatif tahunan sekitar 3% dan error relative bulanan sekitar 10% (Sheriff dan Ross 2003).

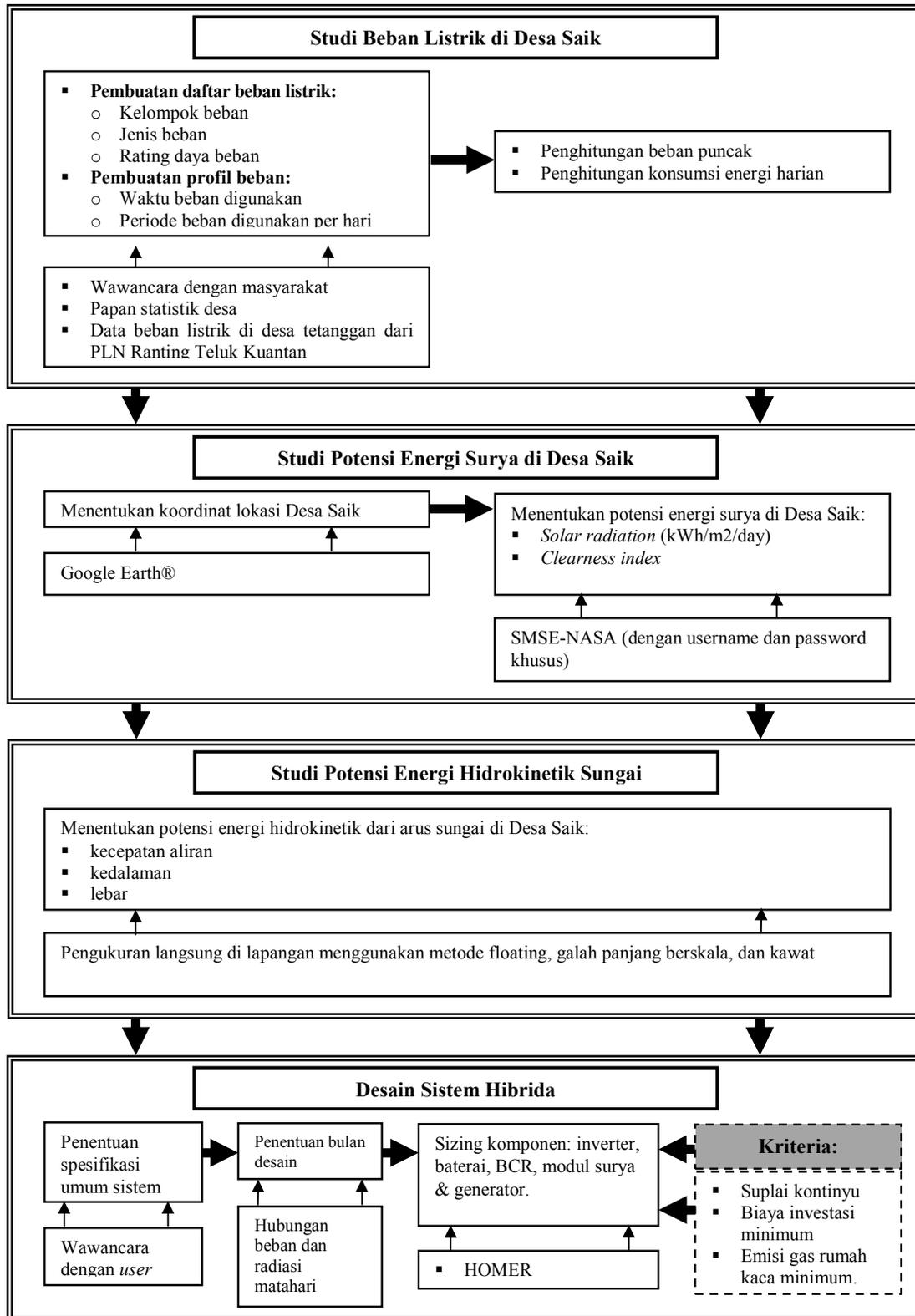
Gambar 5 menunjukkan arsitektur HOMER, yang diambil dari Fung et al. (2002) dengan sedikit modifikasi. Ada tiga bagian utama HOMER; input, simulasi dan output.



Gambar 5. Arsitektur simulasi dan optimasi HOMER.

3. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan pada penelitian ini mencakup tiga tahap utama, yaitu studi beban listrik di Saik, studi potensi energi surya di Saik, dan desain sistem. Gambar 6 menunjukkan diagram metode yang digunakan.



Gambar 6. Diagram metodologi penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Informasi umum

Tabel 2 merangkum informasi umum tentang Saik yang digunakan pada penelitian ini dan Gambar 7 memperlihatkan salah satu rumah penduduk di Saik.

Tabel 2. Informasi Umum Tentang Saik.

Lokasi ¹	0,37 S, 101,24 T
Jumlah KK	221
Jumlah rumah ibadah	6
Puskesmas	1
Kantor Desa	1
Toko/warung	9

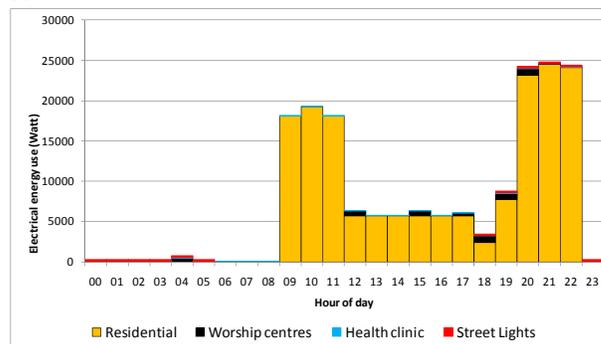
1) Sumber: Google Earth^(R)



Gambar 7. Salah satu rumah penduduk di Saik (Photo: Harlepis and Iyon, 2008).

4.2. Beban

Seperti terlihat pada Tabel 2 di atas, kelompok beban listrik di Saik (jika memiliki listrik) terdiri dari 221 rumah, 6 rumah ibadah, sebuah puskesmas, dan lampu penerangan jalan. Berdasar wawancara dengan masyarakat dan membandingkan dengan beban listrik rumah tangga di desa tetangga yang tersambungan jaringan PLN, dibuat daftar beban dan pola operasional sehari-hari. Gambar 8 di bawah ini menunjukkan profil beban di Saik dengan beban puncak 25 kW. Dengan menerapkan penjadwalan menyetrika antara rumah tangga, konsumsi energi harian dapat dikurangi hingga 180 kWh.

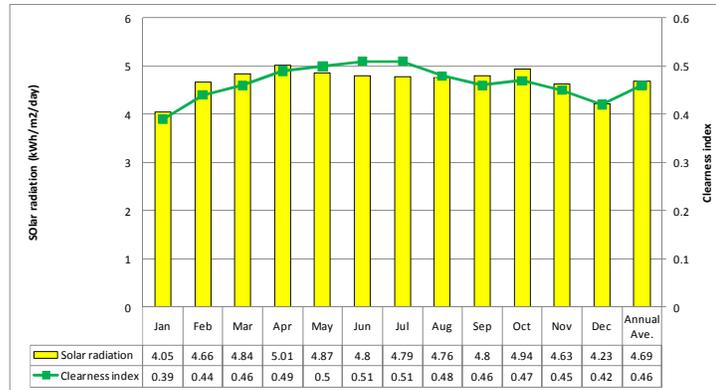


Gambar 8. Perkiraan profil beban di Saik.

4.3. Energi surya

Data *surface meteorology and solar energy* (SMSE) dari *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) telah digunakan sebagai sumber informasi radiasi matahari di Saik. Database NASA SMSE berasal dari parameter meteorologi dan energi matahari yang dicatat selama 22 tahun oleh lebih dari 200 satelit. Akurasi data berkisar 6-12% (NASA 2010). Di antara 12 parameter yang tersedia, untuk proyek ini hanya intensitas radiasi matahari pada permukaan horizontal dan *clearness index* yang digunakan.

Data energi surya untuk Saik ditunjukkan Gambar 8. Saik memiliki tingkat radiasi matahari yang bagus meskipun sedikit lebih rendah dari radiasi matahari ideal 5-6 kWh/m²/hari (Pryor 2009), dan memiliki *clearness index* cukup baik. Karakteristik positif utama adalah variasi tahunan kecil untuk kedua parameter. Hal ini merupakan keuntungan utama Propinsi Riau yang terletak di khatulistiwa karena suatu sistem *photovoltaic* dapat beroperasi secara optimal sepanjang tahun tanpa memerlukan *solar tracker*.



Gambar 9. Rata-rata radiasi matahari bulanan pada permukaan horizontal di Saik

4.4. Sumber Energi Hidrokinetik Sungai

Serangkaian survey lapangan (Gambar 10) telah dilakukan untuk mengukur parameter kunci yang diperlukan dalam merancang suatu sistem tenaga hidrokinetik dari Sungai Kuantan di desa Saik. Tidak seperti kebanyakan sistem pembangkit listrik tenaga air yang membutuhkan *head*, daya output dari sistem aliran sungai terutama dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Sedangkan untuk menentukan lokasi instalasi sistem, informasi tentang kedalaman sungai diperlukan.

Beberapa metode tradisional telah diterapkan untuk mengukur karakteristik fisik sungai. Kecepatan arus diukur dengan menggunakan metode *float* yang disarankan oleh Fraenkel et al. [21]. Kedalaman sungai diukur dengan menggunakan tongkat panjang berskala, dengan interval 5 meter menggunakan perahu.



Gambar 10. Pengukuran sifat fisik sungai (Photo: Harlepis and Lyon, 2008).

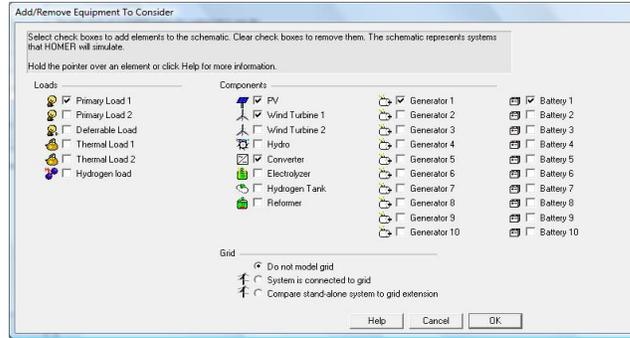
Tabel 4 berikut merangkum sifat-sifat fisik Sungai Kuantan di Desa Saik.

Table 4. Sifat-sifat fisik Sungai di Saik

Kecepatan aliran rata-rata (m/s)	1,4
Kedalaman rata-rata (m)	4,1
Luas penampang (m ²)	227
Debit (m ³ /s)	318
Lebar (m)	72

4.5. Perancangan Sistem

Gambar 11 menunjukkan *window* pemilihan komponen pada HOMER. Berbagai komponen khas sistem PLH dipilih yaitu beban primer, photovoltaic, turbin angin, *converter*, generator, dan bank baterai. Modul turbin angin digunakan karena HOMER tidak dilengkapi dengan modul hidrokinetik. Pendekatan ini dipilih karena turbin angin memiliki berbagi persamaan dengan turbin hidrokinetik yang sering disebut turbin angin bawah air. Kurva daya turbin angin diganti dengan kurva daya turbin hidrokinetik, sedangkan kecepatan angin diganti dengan kecepatan arus sungai. Tom Lambert, yang merancang HOMER dalam pesan email kepada penulis, menegaskan bahwa gagasan ini "akan bekerja."



Gambar 11. Window pilihan komponen pada HOMER

Tabel 5 merangkum informasi yang telah disediakan untuk HOMER.

Table 5. Informasi yang dimasukkan ke HOMER.

Input	Keterangan
Energi surya	1. Sama dengan Gambar 6 di atas.
Konverter	2. Efisiensi inverter: 90% 3. Efisiensi penyerah/charger: 85% 4. Harga US\$2000/kW (berdasar informasi distributor inveter di Jakarta)
BBM (diesel)	5. Harga BBM per liter: US\$0.6 6. Nilai sensitifitas: US\$ 1/liter
Finansial	7. Usia sistem PLH: 25 tahun. 8. Bunga bank tahunan: of 8%
Kontrol	9. Kondisi muatan setpoin: 30%, untuk memaksimalkan usia baterai.

4.6. Hasil perancangan

HOMER telah melakukan simulasi terhadap hampir 4.000 konfigurasi sistem yang mungkin dan 6 sensitifitas. Gambar 12 menunjukkan, dalam bentuk tabel, hasil optimasi kasus dasar (di mana sensitifitas tidak dipertimbangkan). Konfigurasi terbaik memiliki NPC paling kecil, terdiri dari *photovoltaic* 5 kW, 2 buah *darrieus hydro turbine* (DHT) masing-masing 3kW, generator diesel 18 kW, 64 x 225 Ah baterai, dan inverter 20 kW.

Sensitivity Results		Optimization Results												
Sensitivity variables														
Diesel Price (\$/L) 0.6		Max. Annual Capacity Shortage (%) 0												
Double click on a system below for simulation results.														
	PV (kW)	DHT (kW)	G18 (kW)	T-105 (kW)	Conv (kW)	Disp. Strgy	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Capacity Shortage	Diesel (L)	G18 (hrs)
	5	2	18	64	20	CC	\$ 225,260	8,317	\$ 314,039	0.448	0.63	0.00	7,499	2,199
	35	18	128	20	CC	\$ 425,620	10,294	\$ 535,511	0.764	0.60	0.00	8,153	2,266	
	5	10	80	30	CC	\$ 694,200	2,978	\$ 725,986	1.035	1.00	0.00			

Gambar 12. Hasil optimum simulasi HOMER

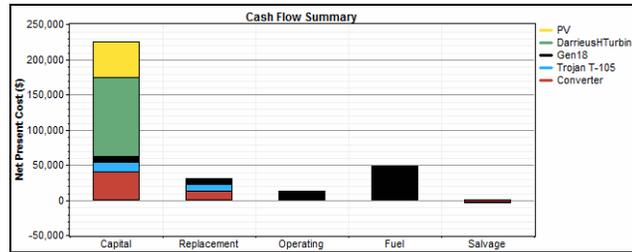
4.7. Analisa ekonomi

Tabel 6 dan Gambar 13 merangkum kinerja ekonomi dari sistem terbaik. Biaya paling besar adalah biaya awal (72% dari total NPC), diikuti biaya bahan bakar (15%), biaya penggantian komponen (10%) dan biaya O&M (4%). Komponen yang membutuhkan biaya paling besar adalah DHT (36%) diikuti generator diesel (24%), inverter dan modul PV (16%) dan baterai bank (7%). Biaya DHT sangat tinggi karena menggunakan komponen impor sehingga biaya pengiriman, bea masuk dan harga turbin dipertimbangkan.

Table 6. Kinerja ekonomi sistem PLH.

Component	Capital (\$)	Replacement (US\$)	O&M (US\$)	Fuel (US\$)	Salvage (US\$)	Total (US\$)
PV	50,000	0	0	0	0	50,000
DHTs	113,400	0	1,067	0	0	114,467
Generator	8,100	9,303	11,737	48,030	-396	76,774
Batteries	13,760	9,326	53	0	-1,005	22,134
Converter	40,000	12,610	0	0	-1,947	50,663
System	225,260	31,239	12,858	48,030	-3,348	314,039
Levelized COE						US\$0.448/kWh

Harga jual listrik optimal adalah US \$ 0,448/kWh. Jika dibanding dengan tarif dasar listrik (TDL) rumah tangga sebesar US \$ 0,019/kWh yang disubsidi, harga jual listrik sistem PLH ini 23,6 kali lebih tinggi. Namun, jika dibanding dengan harga jual listrik sistem yang hanya menggunakan generator diesel saja sebesar US\$0.595/kWh⁴, yang merupakan pilihan populer di pedesaan, harga jual listrik sistem PLH ini kompetitif, yaitu lebih murah 25%. Sayangnya, biaya awal sistem PLH ini jauh di atas biaya sistem dengan generator diesel saja, yaitu 17 kali lipat.



Gambar. 13. Lifecycle costs sistem PLH.

4.8. Analisa kelistrikan

Tabel 7 menunjukkan kinerja kelistrikan sistem PLH ini. Produksi listrik terbesar berasal dari photovoltaic dan DHT. Sistem ini mampu memenuhi 100% beban sepanjang tahun dan bahkan menyediakan kelebihan suplai sistem sekitar 21% untuk mengantisipasi pertumbuhan beban di masa datang. Ini adalah kelebihan utama dibanding sistem yang hanya terdiri dari generator diesel saja yang biasanya hanya beroperasi pada malam hari.

Table 7. Kinerja kelistrikan sistem PLH.

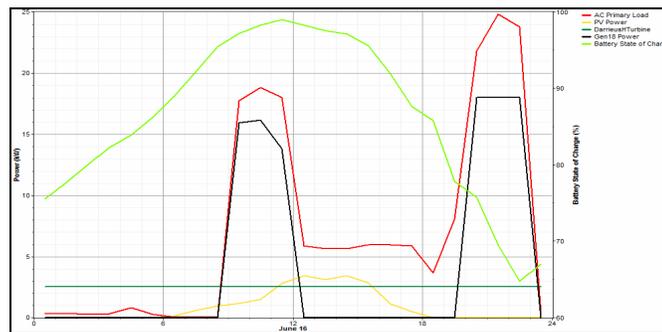
Parameter	kWh/tahun	%
Produksi		
Photovoltaic	7.694	9
Turbin air (DHT)	48.391	55
Generator diesel	32.387	37
Kelebihan produksi	18.303	21
Minus produksi	0	0
Kontribusi generator energi terbarukan		64

4.9. Analisa emisi gas rumah kaca

Sistem PLH ini menghasilkan emisi karbon dioksida (CO₂) 19,7 ton per tahun dari generator diesel, jauh lebih rendah dari emisi CO₂ jika dibanding emisi sistem yang hanya terdiri dari generator diesel sebesar 114 ton per tahun atau 580% lebih tinggi.

4.10. Output sistem terintegrasi

Gambar 14 menunjukkan contoh hasil simulasi gabungan komponen per jam pada Juni 16. Hari ini dipilih karena output dari DHT pada hari ini adalah yang terendah. Seperti ditunjukkan, sebagian besar beban disuplai oleh baterai yang di-charge oleh photovoltaic dan DHT. Peran utama dari generator diesel adalah sebagai *back-up* saat beban puncak.



Gambar. 14. Integrated system power output.

⁴ Harga jual listrik sistem generator diesel saja didapat dengan melakukan simulasi HOMER terpisah.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Penelitian ini diharap memberi kontribusi untuk mengisi kurangnya studi dalam memperkenalkan teknologi energi terbarukan di Riau khususnya dan Indonesia umumnya. Dengan adanya suplai listrik di kawasan terpencil di Indonesia diharapkan dapat membantu memerangi kemiskinan, meningkatkan layanan kesehatan, meningkatkan mutu pendidikan, kesetaraan gender, dan kelestarian lingkungan hidup.

5.1. Kesimpulan

1. Propinsi Riau memiliki sumber energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan untuk menyediakan listrik bagi desa-desa terpencil yang tidak terjangkau jaringan listrik PLN.
2. Untuk Desa Saik, sistem optimal yang dihasilkan simulasi HOMER adalah sistem PLH yang terdiri dari photovoltaic, turbin hidrokinetik, generator diesel, bank baterai, dan inverter.
3. Sistem PLH yang diusulkan mampu memenuhi 100% beban dengan 21% kapasitas lebih. Porsi generator energi terbarukan adalah 63% di mana 55% berasal dari turbin hidrokinetik.
4. Porsi terbesar biaya sistem PLH adalah biaya awal sebesar 72%. Jika turbin hidrokinetik menggunakan produk lokal, pengurangan biaya awal signifikan dapat dicapai.
5. Harga jual listrik lebih besar dari TDL rumah tangga, namun lebih murah 25% dibanding sistem yang hanya terdiri dari generator diesel yang banyak digunakan di desa-desa terpencil Indonesia.
6. Walaupun perancangan dilakukan di Desa Saik, prosedur yang digunakan dapat diaplikasikan untuk desa-desa lain di Indonesia.

5.2. Saran

1. Perlu dilakukan studi validasi sehubungan menggunakan modul angin HOMER untuk mensimulasikan sistem hidrokinetik.
2. Gunakan turbin hidrokinetik untuk memangkas biaya awal sistem PLH, dan selanjutnya memangkas harga jual listrik kepada masyarakat desa.
3. Perlu dilakukan studi dengan mengganti bahan bakar diesel dengan biodiesel pada generator diesel untuk mengurangi biaya bahan bakar dan emisi CO₂.
4. Pengukuran kecepatan arus sungai sebaiknya dilakukan selama satu tahun penuh untuk mendapatkan data yang lebih baik.
5. Program listrik desa tidak hanya menyangkut persoalan teknis yang relatif mudah diatasi. Peneliti selanjutnya hendaknya juga melakukan studi sosial dari program listrik desa untuk meyakinkan bahwa teknologi baru ini dapat diterima oleh masyarakat secara lebih baik, supaya listrik yang dihasilkan membuka peluang perbaikan ekonomi jangka panjang untuk masyarakat, dan yang juga penting adalah bagaimana sistem PLH yang dibangun berkelanjutan secara finansial.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada Suharsono (Curtin University, Australia) atas bantuannya menyediakan artikel-artikel terkini terkait sistem PLH), Dr Trevor Pryor (Murdoch University, Australia) atas masukannya terhadap beberapa bagian pada artikel ini, dan Tom Lambert (Mistaya Engineering Inc., Canada) sang perancang HOMER yang telah memberi masukan atas design simulasi yang digunakan pada artikel ini. Artikel ini tidak akan selesai tanpa bantuan mereka semua.

7. DAFTAR PUSTAKA

- Distamben Riau, 2009, *Lebih Satu Juta KK di Riau Tak Berlistrik*, <http://www.riapos.com/main/index.php?mib=berita.detail&id=517> (diakses 17 Februari 2009).
- Fraenkel, P., O. Paish, V. Bokalders, A. Harvey, A. Brown dan R. Edwards, 1991, *Micro-Hydro Power: A Guide for Development Workers*. London: Intermediate Technology Publications Ltd.
- Fung, C. C., W. Rattanongphisat dan C. Nayar, 2002, A Simulation Study on the Economic Aspects of Hybrid Energy Systems for Remote Islands in Thailand, *Proceedings of 2002 IEEE Region 10 Conference on Computers, Communications, Control and Power Engineering* 3(3):1966-1969.
- Kunaifi, 2009, *Options for the Electrification of Rural Villages in the Province of Riau - Indonesia*, Master Thesis in Renewable Energy, Perth: Murdoch University.
- Lambert, T., P. Gilman, dan P. Lilienthal, 2006, Micropower System Modelling With HOMER, dalam *Integration of Alternative Sources of Energy*, ed. Felix A. Farret dan M. Godoy Simoes, John Wiley & Sons, Inc.
- National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2010, *Surface Meteorology and Solar Energy*, NASA.

- Nayar, C. V., P. S. Jennings, W. L. James, T. L. Pryor dan D. Remmer, 1993, Novel Wind/Diesel/Battery Hybrid Energy System, *Solar Energy* 51(1): 65-78.
- Pryor, T. L., 2009, *Lecture material of the Unit PEC622 Renewable Energy Resources*. Perth: Murdoch University.
- Sandia National Laboratories, 2009, *Hybrid Power Systems - Issues & Answers*, Sandia Corporation, <http://photovoltaics.sandia.gov/docs/Hybook.html> (diakses 4 Mei 2010).
- Sheriff, F. dan Ross, M., 2003, Validation of PV Toolbox Against Monitored Data and Other Simulation Tools. *Hybridinfo* 6:2, Varennes: Canada.
- Sopian, K. dan Othman, M. Y., 2005, Performance of a Photovoltaic Diesel Hybrid System in Malaysia, *Iseco Science and Technology Vision* 96:37-39, <http://www.netl.doe.gov/publications/proceedings/01/hybrids/NREL-NETL%20Hybrids%20Wkshp.pdf> (diakses 4 Mei 2010).