

Perencanaan Sistem Pembangkit Tenaga Listrik Hibrid (Energi Angin-Surya-Diesel) untuk Unit Desalinasi Air Laut di Wilayah Pesisir Kota Langsa

Syamsul Bahri W¹, T. Kamaruzzaman², Razali Thaib³

^{1,2)} Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Samudra, Meurandeh, Langsa, Aceh, 24416

³⁾ Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh, 23111

INFORMASI ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Dikirim tgl Bulan Tahun

Direvisi dari tgl Bulan Tahun

Diterima 00 February 00

Kata Kunci:

Desalinasi air laut,

Kebutuhan energi,

Optimasi pembangkit tenaga hibrid,

Biaya Energi,

Tarif air bersih.

ABSTRAK

Kota Langsa memiliki luas 262,4 km² dengan jumlah penduduk 157.011 jiwa. Penyediaan air bersih bagi penduduk Kota Langsa dilakukan oleh PDAM Tirta Keumuneng dengan jumlah air 3,1 juta m³/tahun, jumlah penduduk terlayani hanya 40%. Salah satu daerah yang belum terlayani adalah wilayah pesisir Kota Langsa yang berjarak ± 17 km dari sumber air bersih. Seiring dengan pertambahan penduduk dan berkurangnya sumber air mengakibatkan masyarakat wilayah pesisir sangat sulit memperoleh pelayanan air bersih dari PDAM Tirta Keumuneng. Salah satu cara untuk menyediakan sumber air bersih untuk wilayah tersebut adalah dengan memasang unit desalinasi air laut. Wilayah pesisir Kota Langsa memiliki potensi energi angin dan energi surya yang cukup baik yang ditunjukkan oleh kecepatan angina rata-rata tahunan berkisar 5-6,2 m/dtk, dan radiasi surya berkisar 3,6-4,5 kWh/m²/hari. Pada kajian ini telah dilakukan perancangan sistem pembangkit listrik dengan memanfaatkan energi terbarukan untuk menggerakkan unit desalinasi air laut. Hasil analisa diperoleh kebutuhan air untuk wilayah pesisir dengan 220 KK adalah sebesar 70 m³/hari. Hasil analisa kebutuhan energi spesifik sistem desalinasi menggunakan software ROSA 9.0 adalah sekitar 5,75 kWh/m³. Dan hasil analisa optimasi sistem pembangkit listrik tenaga hibrid (energi angin, surya, diesel) dengan software HOMER diperoleh kondisi optimal adalah pada porsi pembangkitan energi masing-masing, yaitu energi surya (PV) sebesar 13%, energi angin (turbin angin) sebesar 63%, dan generator diesel sebesar 24%. Paper ini akan membahas secara detail simulasi sistem desalinasi air laut, daya keluaran pembangkit listrik tenaga hibrid dan biaya energi.

© 2014 Jurnal Ilmiah JURUTERA. Di kelola oleh Fakultas Teknik. Hak Cipta Dilindungi.

1. Pendahuluan

Kota Langsa memiliki luas 262,4 km² dengan jumlah penduduk 157.011 jiwa. Penyediaan air bersih bagi penduduk Kota Langsa dilakukan oleh PDAM Tirta Keumuneng dengan jumlah air 3,1 juta m³/tahun. PDAM Tirta Keumuneng Kota Langsa adalah badan usaha milik pemerintah Kota Langsa. Sarana air bersih ini dibangun pada tahun 1928 dengan memanfaatkan air Waduk Alur Gampu kapasitas terpasang 20-40 liter per detik dengan sistem pengolahan *Slow Sand Filter* (SSF). Pada tahun 1980 dibangun WTP Konvensional kapasitas 60 liter per detik memanfaatkan air baku Sungai Krueng

Langsa yang dipompakan dari *intake* ke prasedimentasi kapasitas 450 m³ serta *Water Treatment Plant* kapasitas 60 liter per detik.

Kebutuhan akan penyediaan dan pelayanan air bersih dari waktu ke waktu semakin meningkat yang cenderung tidak dapat diimbangi oleh kemampuan pelayanan. Peningkatan kebutuhan ini disebabkan oleh peningkatan jumlah penduduk. Peningkatan kebutuhan air tersebut jika tidak diimbangi dengan peningkatan kapasitas produksi air bersih akan menimbulkan masalah dimana air bersih yang tersedia tidak akan cukup untuk memenuhi kebutuhan masyarakat pada wilayah tersebut.

PDAM Tirta Keumueneng Kota Langsa telah mengupayakan memberikan pelayanan untuk memenuhi kebutuhan akan air bersih namun pada kenyataannya PDAM ini sering mendapatkan keluhan dari masyarakat atau pelanggan. Keluhan masyarakat tentang semakin sulitnya untuk mendapatkan air bersih tampaknya masih menjadi kendala yang belum dapat diatasi sepenuhnya oleh pemerintah kota dalam hal ini PDAM Tirta Keumueneng Kota Langsa.

Kecamatan Langsa Barat adalah kecamatan yang terletak didaerah pesisir Kota Langsa terdiri dari 11 desa. Dari desa tersebut ada 6 desa dengan jumlah penduduk 11.600 jiwa merupakan desa yang sangat susah mendapatkan pelayanan air bersih dari PDAM Tirta Keumueneng Kota Langsa. Salah satu usaha yang dapat ditempuh dalam menanggulangi kondisi tersebut adalah dengan memanfaatkan teknologi desalinasi air laut menjadi air tawar layak minum.

Menurut Carta, et al (2003). Desalinasi air laut adalah proses energi-intensif. Sebagian besar tersedia instalasi desalinasi air laut skala besar di seluruh dunia menggunakan bahan bakar minyak sebagai sumber penyedia energi. Disisi lain pemakaian bahan bakar fosil selain membutuhkan biaya bahan bakar yang terus meningkat, juga mempunyai pengaruh terhadap pemanasan global.

Kondisi ini mendorong Badan Energi Atom Internasional (IAEA) untuk mengusulkan penggunaan pembangkit tenaga nuklir pada instalasi desalinasi skala besar, dan penggunaan sumber energi terbarukan untuk instalasi desalinasi skala kecil (Carta et. al. 2003).

Pemanfaatan potensi energi angin untuk penyedia energi listrik instalasi desalinasi air laut metode *Reverse Osmosis* (RO) telah mulai dipelajari sebagaimana dilaporkan oleh (Feron 1985; Marcos et.al. 2003). Namun, pemanfaatan energi terbarukan untuk desalinasi air laut sapaai saat ini belum diterapkan secara luas. Selain itu, sebagian besar desain yang diusulkan masih terhubung ke jaringan listrik yang tersedia (Carta et. al. 2003).

Bertitik total dari uraian diatas, pada penelitian ini telah dilakukan perencanaan sistem pembangkit tenaga listrik hibrid (Energi Angin-Surya-Diesel) untuk unit desalinasi air laut di wilayah pesisir Kota Langsa.

2. Metode Penelitian

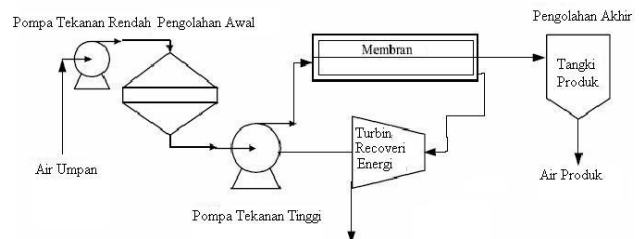
Penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahap, dimulai dengan perhitungan kebutuhan air untuk 6 desa di wilayah Kecaatan Langsa Barat dengan jumlah penduduk 11.600 jiwa yang tergabung dala 220 KK. Pada tahap kedua merancang sistem desalinasi air laut menggunakan teknologi *Reverse Osmosis* (RO). Perhitungan kebutuhan energi unit desalinasi air laut dilakukan menggunakan software ROSA 9.0. Kemudian dilanjutkan dengan optimasi penyediaan energi hibrid (energi angin-surya-

diesel) untuk unit desalinasi air laut menggunakan software HOMER.

Menurut Marie dan Pedersen, (2001), permintaan air bersih rumah tangga untuk daerah adalah 116 m³/rumah tangga/tahun. Dengan demikian, untuk wilayah pesisir Kota Langsa dengan 220 KK, kebutuhan air bersih rata-rata adalah rumah tangga, kita mengasumsikan kebutuhan air rata-rata 70 m³/hari atau 25.520 m³/tahun.

Gambar 1. Memperlihatkan instalasi unit desalinasi RO yang digunakan pada penelitian ini, terdiri dari pengolahan awal, pompa tekanan tinggi, modul RO dan pengolahan akhir. Tujuan langkah pengolahan awal adalah untuk menghindari risiko penyumbatan, fouling dan scaling pada membran.. Setelah dilakukan pengolahan awal, air laut dipompa ke bejana tertutup dimana air laut ditekan ke membran sampai tekanan > 50 bar. Karena buangan brine tekanannya masih relatif tinggi, suatu turbin rekoveri energi digunakan untuk *recycle* energi dan untuk mengurangi daya yang diperlukan untuk proses. Air produk RO mempunyai TDS < 500 ppm. Stage ke dua diperlukan untuk memperoleh air dengan TDS 20-50 ppm.

Kompisisi kimia dan fisika air laut yang dijadikan umpan unit desalinasi adalah sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 1.



Gambar 1. Diagram Alir Rancangan Unit Desalinasi *Reverse Osmosis* (RO).

Tabel 1. Komposisi air laut sebagai umpan Unit Desalinasi

Nama Unsur	Komposisi (mg/l)	Umpan
Ammonium (NH ₄ ⁺ + NH ₃)	-	
Potassium (K)	390.00	
Sodium (Na)	10,900.00	
Magnesium (Mg)	1,310.00	
Calcium (Ca)	410.00	
Strontium (Sr)	13.00	
Barium (Ba)	0.05	
Carbonate (CO ₃)	24.88	
Bicarbonate (HCO ₃)	152.00	
Nitrate (NO ₃)	0.50	
Chloride (Cl)	19,700.00	
Fluoride (F)	1.40	

Nama Unsur	Komposisi (mg/l)	Umpan
Sulfate (SO4)	2,740.00	
Silica (SiO2)	0.05	
Boron (B)	3.44	
TDS	35,661.50	
pH = 8.10		

Sumber : Dinas Perikanan Kota Langsa

Optimasi sistem penyediaan listrik untuk unit desalinasi dimulai dengan pengumpulan data kecepatan angin dan intensitas radiasi matahari pada lokasi rencana pembangunan unit desalinasi air laut. Data radiasi surya dan kecepatan angin diperoleh dari sumber NASA Surface meteorology and Solar Energi (<https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>). Data dapat diperoleh dengan memberikan input data lokasi berupa lintang utara dan bujur timur. Unit desalinasi air laut pada penelitian ini direncanakan ditempatkan di lokasi dengan data Latitude : 4.53 dan Longitude : 98.01. Data intensitas radiasi dan kecepatan angin pada lokasi tersebut ditunjukkan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Data intensitas radiasi surya dan kecepatan angin pada lokasi pembangunan unit desalinasi (Latitude 4.53 / Longitude 98.01)

BULAN	Intensitas Radiasi (KWh/m2/d)	Kecepatan angin (m/s)
Januari	4.42	6.68
Pebruari	4.01	3.48
Maret	3.22	3.67
April	4.98	3.66
Mei	4.83	4.05
Juni	4.82	4.91
Juli	4.59	5.00
Agustus	4.50	5.62
September	4.30	4.79
Oktober	4.22	4.45
Nopember	3.87	5.03
Desember	3.82	6.68

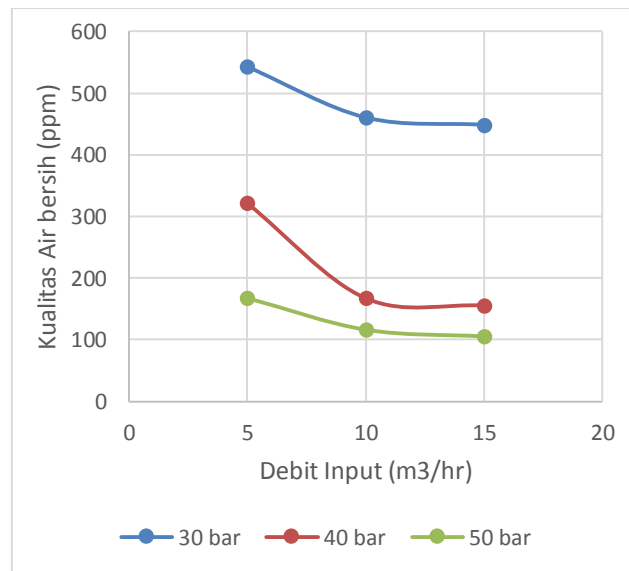
Sumber : NASA Surface meteorology and Solar Energi. <https://eosweb.larc.nasa.gov/sse/>

Pada perhitungan menggunakan software ROSA 9.0, sebagai output yang diharapkan adalah produksi air bersih sebesar 70 m³/hari. Untuk memperoleh tujuan tersebut dilakukan berbagai alternative perencanaan melalui pemilihan banyaknya tingkat desalinasi, jumlah elemen membran yang digunakan pada setiap tingkat, dan tipe membran yang dipilih. Semua pilihan tersebut dapat dilakukan menggunakan software ROSA 9.0 (Dow, 2005).

Berdasarkan hasil simulasi ROSA, berupa konsumsi energi spesifik yang dibutuhkan oleh unit desalinasi, kemudian diinputkan pada software HOMER untuk mensimulasikan dan mengoptimalkan sistem pembangkit hibrid turbin angin, fotovotaic, dan generator listrik berbahan bakar. Simulasi dilakukan dengan cara membuat perhitungan keseimbangan energi selama 8.760 jam dalam setahun. Untuk setiap jam, model membandingkan beban listrik dengan energi tersedia pada saat itu. Hasil akhir simulasi ditunjukkan dalam bentuk konfigurasi yang optimal berdasarkan nilai *Net Present Value (NPV)*. Berdasarkan data tersebut kemudian dilakukan pemilihan konfigurasi yang murah dan layak untuk diterapkan.

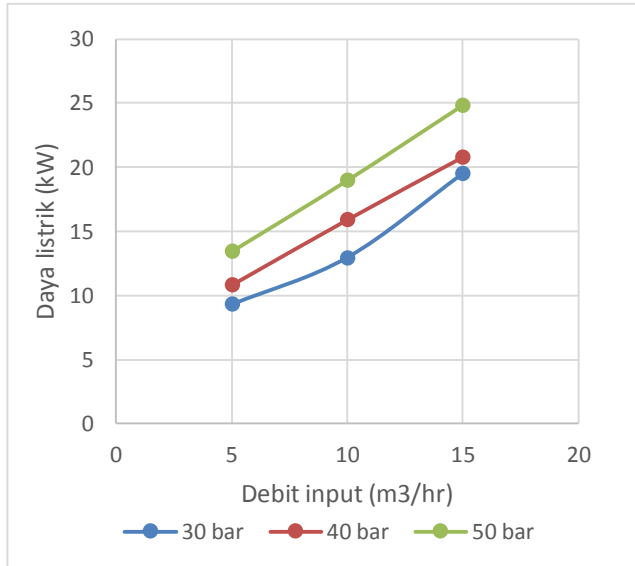
3. Hasil dan Pembahasan

Pada analisa ini, untuk desalinasi air laut menjadi air tawar digunakan teknologi RO dan membran yang digunakan adalah tipe SW30HRLE-370/34i, yang mampu bekerja pada tekanan maksimum 52 bar dan debit aliran maksimum 23,5 m³/hr. Untuk memperoleh kualitas air bersih yang sesuai dengan standar maka pada penelitian ini dipilih konfigurasi unit desalinasi dengan dua tingkat, dimana air bersih hasil desalinasi tingkat pertama kemudian dimasukkan kembali ke tingkat kedua. Gambar 2. Memperlihatkan kulaitas air tawar yag dapat dihasilkan pada tekanan input dan debit input yang berbeda. Dari grafik juga terlihat dengan meningkatnya tekanan dan debit input akan menurunkan ppm air bersih.



Gambar 2. Hubungan debit & tekanan input vs kualitas air bersih.

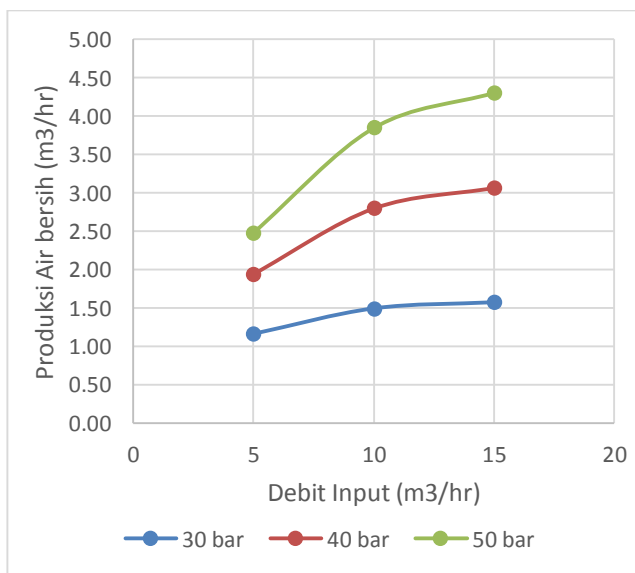
Besarnya daya listrik yang dibutuhkan untuk berbagai kondisi debit dan tekanan input diberikan dalam Gambar 3. Dari Gambar terlihat bahwa daya yang dibutuhkan akan meningkat dengan meningkatnya tekanan dan debit input.



Gambar 3. Hubungan debit & tekanan input vs daya listrik

Tujuan utama dari perencanaan unit desalinasi air ini adalah memperoleh air bersih yang mampu melayani kebutuhan penduduk pesisir Kota Langsa. Untuk itu pemilihan konfigurasi unit yang dipilih disesuaikan dengan produksi air bersih yang mampu dihasilkan.

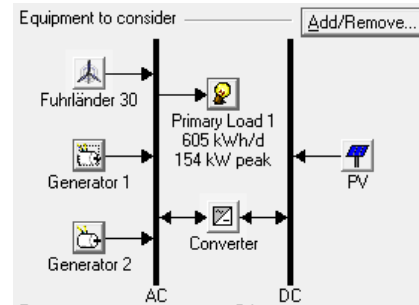
Gambar 4, memperlihatkan hubungan debit dan tekanan input terhadap produksi air bersih. Dari Gambar terlihat produksi air bersih yang mampu melayani kebutuhan air bersih masyarakat pesisir kota Langsa adalah pada debit input 15 m³/hr dan tekanan 50 bar. Untuk kondisi ini daya listrik yang dibutuhkan adalah sebesar 24,78 kW dan produksi air bersih 4,31 m³/hr. Dan energi spesifik untuk setiap m³ produksi air bersih adalah 5,57 KWh/m³.



Gambar 4. Hubungan debit & tekanan input vs produksi air bersih.

Dari hasil simulasi dengan software ROSA juga diperoleh bahwa unit ini mampu bekerja dengan daya minimum 9,29 kW, dan produksi air bersih 1,16 m³/hr. Kondisi ini yang memungkinkan unit desalinasi tersebut dapat menggunakan pembangkit listrik energi terbarukan khususnya energi surya dan energi angin.

Optimasi konfigurasi pembangkit energi listrik dilakukan dengan software HOMER. Konfigurasi yang direncanakan adalah sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 5. Pembangkit tenaga angin dipilih tipe Fuhlrländer 30, dan untuk generator digunakan dua unit untuk memudahkan dalam perawatan.



Gambar 5. Konfigurasi pembangkit listrik simulasi HOMER

Biaya investasi awal generator untuk setiap kW sebesar US\$ 1,521/kW dan replacement costs US\$ 1,475/kW. Biaya operasional dan perawatan sebesar US\$/hr 0.012. Umur operasional generator diesel diperkirakan 20.000 jam operasi. Harga bahan bakar diesel diprediksi US\$/ltr 1,12). Biaya investasi konverter US\$ 900/kW dan biaya replacement costs US\$ 850/kW. Tidak ada biaya operasional dan perawatan yang dibebankan. Umur operasional konverter 15 tahun. Biaya investasi awal panel surya sebesar US\$ 3,500/kW dan replacement costs US\$ 3,000/kW. Biaya operasional dan perawatan sebesar US\$/hr 25. Umur operasional surya panel diperkirakan hingga berakhirnya operasi yaitu sekitar 20 tahun. Biaya investasi awal turbin angin US\$ 30,000/kW dan replacement costs US\$ 29,500/kW. Biaya operasional dan perawatan sebesar US\$/hr 10. Umur operasional turbin angin 20 tahun.

Hasil simulasi dan pemodelan menunjukkan empat kombinasi sumber energi. Simulasi mencakup daya listrik keluaran masing-masing pembangkit, biaya konfigurasi sistem dan total NPC sebagaimana pada Gambar 6.

Sensitivity variables
 Global Solar (kWh/m²/d) 3.96 | Wind Speed (m/s) 3.5 | Diesel Price (\$/L) 1.7 | Min. Ren. Fraction (%) 0

Double click on a system below for simulation results.

System	PV (kW)	FL30 (kW)	Gen1 (kW)	Gen2 (kW)	Conv. (kW)	Initial Capital	Operating Cost (\$/yr)	Total NPC	COE (\$/kWh)	Ren. Frac.	Diesel (L)	Gen1 (hrs)	Gen2 (hrs)
1	15	110	35			\$670,545	107,532	\$2,045,167	0.725	0.80	51,246	1,076	4,436
2	55	10	110	30	40	\$741,440	111,142	\$2,162,210	0.766	0.76	51,554	1,302	4,411
3			110	40		\$228,150	195,453	\$2,726,702	0.966	0.00	95,612	1,864	7,383
4			120	35	40	\$488,755	176,573	\$2,745,945	0.973	0.27	83,998	1,639	6,895

Gambar 6. Hasil simulasi HOMER

Konfigurasi optimal sistem yang pertama menunjukkan kombinasi turbin angin dan genarator diesel. Konfigurasi optimal sistem yang kedua menunjukkan kombinasi PV, turbin angin, generator dan konverter. Konfigurasi optimasi sistem yang ketiga menunjukkan hanya menggunakan generator. Konfigurasi optimasi sistem yang keempat menunjukkan kombinasi PV, generator dan konverter.

Berdasarkan hasil kombinasi tersebut yang menunjukkan nilai investasi awal terendah adalah pada konfigurasi yang pertama, akan tetapi pada konfigurasi ini tidak membutuhkan energi surya, dan pada simulasi ini juga tidak diperhitungkan adanya kenaikan harga bahan bakar setiap tahunnya. Dengan mempertimbangkan adanya kontribusi energi angin dan energi surya, maka dipilih konfigurasi kedua dengan rincian sebagai berikut :

Deskripsi	Besaran Biaya
Biaya investasi awal	: \$ 741.440
Biaya operasional	: \$ 111.142 per tahun
Total NPC	: \$ 2.162.210
COE	: \$ 0,766 per kWh
Bahan Bakar Diesel	: 51.555 liter
Produksi panel surya	: 63.038 kWh/tahun
Produksi turbin angin	: 307.191 kWh/tahun
Produksi generator diesel 1	: 73.772 kWh/tahun
Produksi generator diesel 2	: 44.267 kWh/tahun
Total Produksi Listrik	: 488.268 kWh/tahun

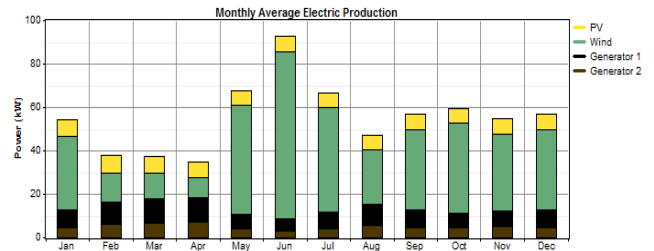
Prediksi produksi energi listrik dari masing-masing pembangkit diberikan dalam Gambar 7. Dari Gambar terlihat bahwa energi surya menyumbang 13 % dari keseluaha energi, generator 24 % dan energi angina memberikan konstrubusi terbesar yaitu 63 %.

Production		Consumption		Quantity	
	kWh/yr		kWh/yr		kWh/yr
PV array	63,038	AC primary load	220,810	Excess electricity	266,344
Wind turbines	307,191	Total	220,810	Unmet electric load	15,2
Generator 1	73,772			Capacity shortage	172
Generator 2	44,267				
Total	488,268			Quantity	Value
				Renewable fraction	0,758

Gambar 7. Produksi energi listrik masing-masing pembangkit

Untuk produksi bulanan selama setahun ditunjukkan dalam Gambar 8. Terlihat bahwa pada bulan Februari

sampai dengan April produksi energi sangat kecil sesuai dengan ketersediaan energi surya dan energi angin.



Gambar 8. Produksi energi listrik bulanan dalam satu tahun

4. Kesimpulan

Pada makalah ini telah dilakukan analisa pemanfaatan energi terbarukan (energi angin dan energi surya) untuk menggerakn unit desalinasi air laut, untuk kebutuhan air bersih bagi masyarakat pesisir Kota Langsa. Unit desalinasi yag dianalisa menggunakan teknologi *Reverse Osmosis* (RO) dengan tekanan maksimum 50 bar dan debit input maksimum 15 m³/hr. Dari hasil analisa diperoleh produksi air bersih maksimum 4,31 m³/hr. daya listrik yang dibutuhkan adalah sebesar 24,78 kW. Dengan biaya invertasi sebesar \$ 741.440 atau dengan biaya produksi listrik sebesar \$ 0,766 per kWh, sangat layak digunakan pembangkit listrik hybrid (energi surya-Angin-Diesel) untuk penyedia energi listrik pada unit desalinasi air laut.

REFERENSI

Carta, J. Gonzalez,J and Subiela, V., Operational Analysis of an innovative wind powered reverse osmosis system installed in the Canary Islands. *Solar Energi* 75(2003) 153-168.(2003).

DOW. ROSA 6.0.1 Software. <http://www.dow.com> (2014).

Feron, P., The Use of Wind power in Autonomous Reverse Osmosis sea Water Desalination. *Wind Energi Group, the Netherlands. Wind Engineering, Vol. 9. No.3. 1985*

Homer, Hybrid Optimisation Model for Electric Renewables., HOMER Software., [www.homerenergy.com.](http://www.homerenergy.com), (2014)

Marcos S. Miranda, Infield, D., A wind-powered seawater reverse-osmosis system without Batteries. *Desalination, Vol. 153,1–3, 9–16, (2003).*

Marie, A. and Pedersen,J., Urban Households and Urban Economy in Eritrea. Analytical Report from the Urban Eritrean Household Income and Expenditure Survey 1996/97. Statistics and Evaluation Office. (May 2001).

□TAR