



EKSERGI Jurnal Teknik Energi Vol.17 No.1 Januari 2021; 1-14

DISAIN MODUL POMPA AIR LAUT TENAGA SURYA UNTUK PRODUKSI GARAM

Kristianto Adi W*

Balai Teknologi Bahan Bakar dan Rekayasa Disain, BPPT,
Kawasan PUSPIPTEK

Gedung 480, Tangerang Selatan, 15314

*E-mail: kristianto.adi@bppt.go.id

Abstrak

Kelangkaan garam perlu dengan cepat diatasi. Penggunaan modul pompa air laut diharapkan menjadi alternatif dalam mengatasi permasalahan kelangkaan garam. Desain modul pompa air laut tergantung dari potensi energi Matahari di Indonesia. Kemampuan panel surya mengekstrak energi Matahari dan hubungannya dengan pemilihan kapasitas pemompaan di analisa dalam makalah ini. Keekonomian penggunaan modul pompa air laut dan pompa degan mesin berbahan bakar minyak dibandingkan untuk diketahui nilai keekonomisan modul pompa air laut sebagai pengganti mesin pompa.

Kata Kunci: *energi baru terbarukan, energi surya, modul pompa, produksi garam.*

PENDAHULUAN

Kelangkaan garam menjadi permasalahan yang dihadapi oleh negara Indonesia. Permasalahan ini diakibatkan oleh kurangnya produksi garam nasional. Menurut data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan produksi garam nasional pada tahun 2014 adalah sebesar 2,19 juta ton sedangkan konsumsi garam sebesar 3,61 juta ton sehingga harus mengimpor garam sebesar 2,25 juta ton. Luas tambak garam di Indonesia sebesar 25,8 ribu hektar. Propinsi di Indonesia dengan tambak garam ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Peta Sentra Usaha Pemberdayaan Garam Rakyat

Sumber : Kelautan dan Perikanan Dalam Angka - 2018

Penggunaan pompa air untuk memompa air laut ke dalam tambak garam dapat menjadi alternatif dalam meningkatkan produksi garam. Namun ketersediaan energi listrik di lokasi tambak garam yang biasanya jauh dari pemukiman penduduk menjadi permasalahan utama dalam penggunaan pompa air ini.

Teknologi panel surya telah berkembang dengan pesat dalam hal efisiensi dan harga. Dengan nilai efisiensi yang tinggi serta harga yang ekonomis, penggunaan panel surya dapat mengatasi ketersediaan energi listrik untuk sistem pemompaan air laut ini. Energi yang dapat dihasilkan oleh panel surya sangat tergantung dari iradiasi sinar Matahari. Pada musim penghujan, panel surya tidak dapat menghasilkan energi sebanyak pada saat musim kemarau sehingga teknologi panel surya ini kurang efektif untuk dipergunakan pada saat musim penghujan. Namun kondisi ini bukan menjadi permasalahan pada modul pemompaan air laut untuk produksi garam karena pada musim penghujan produksi garam tidak dapat dilakukan.

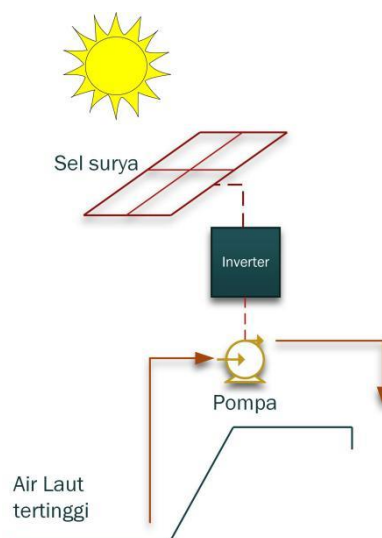
Telah banyak penelitian yang dilakukan dalam pengembangan penggunaan panel surya untuk pemompaan. Penelitian-penelitian tersebut membahas mengenai ukuran sistem, pemodelan sistem, performa ekonomi dan dampak pada lingkungan. Penelitian mengenai pemodelan kebutuhan energi Matahari untuk kebutuhan sistem pemompaan telah dilakukan. Selain itu, penelitian mengenai aspek keekonomian penggunaan panel surya

sebagai sumber energi menggantikan mesin diesel pada sistem pemompaan juga telah dilakukan.

Penelitian sebelumnya mengenai sistem pemompaan dengan menggunakan energi Matahari banyak dilakukan untuk keperluan pertanian dan kebutuhan air baku. Dalam makalah ini akan dibahas mengenai pemanfaatan panel surya sebagai sumber energi listrik untuk memompa air laut sebagai bahan baku produksi garam. Luasan area panel surya menjadi perhatian di makalah ini. Modul dengan ukuran yang tersusun rapat diharapkan dapat dipasang di tambak garam tanpa mengurangi produktifitas tambak tersebut.

DISKRIPSI SISTEM

Modul pompa air laut ini terdiri dari rangkaian panel surya, inverter yang dipergunakan untuk merubah tegangan dc menjadi ac, serta set pompa dengan motor listrik induksi sangkar tupai. Diagram skematis cara kerja dari modul pompa air laut ini dapat dilihat pada Gambar 2. Rangkaian panel surya disusun secara seri dan paralel sesuai dengan kebutuhan tegangan dan daya. Pada makalah ini rangkaian panel surya dipasang tetap tanpa menggunakan peralatan penjejak Matahari. Di dalam Inverter dilengkapi dengan *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) untuk memaksimalkan ekstraksi daya dari rangkaian panel surya. Pompa yang dipergunakan dalam makalah ini adalah pompa sentrifugal *single stage* dengan mengutamakan kapasitas pompa dibandingkan *head* pompa.



Gambar 2. Skema Kerja Modul Pompa Air Laut

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dibagi menjadi dua bagian. Bagian pertama adalah perancangan modul pompa air laut dengan panel surya. Bagian kedua dari penelitian ini adalah kajian ekonomis modul ini dibandingkan dengan pompa berbahan bakar minyak.

Perancangan modul pompa air laut ini tergantung pada potensi energi sinar Matahari di suatu wilayah. Karakteristik sinar Matahari seperti *global irradiance* (GHI), *beam irradiance* (BHI) serta *diffuse irradiance* (DHI) perlu diperhatikan dalam proses disain. Basis data mengenai data klimatologi pada penelitian ini diambil dari *System Advisor Model* (SAM). Hasil kalkulasi potensi energi Matahari dipergunakan untuk menentukan jenis, topologi, luasan rangkaian panel surya yang akan dipergunakan. Kapasitas inverter dan spesifikasinya ditentukan dari hasil kalkulasi rangkaian panel surya dengan memperhatikan tegangan kerja dari motor listrik. Kalkulasi daya keluaran inverter dipergunakan sebagai dasar pemilihan kapasitas dan *head* dari pompa. Perhitungan luasan lahan yang dapat dicukupi diperlukan untuk mengevaluasi kemampuan modul pompa air laut.

Kajian keekonomian akan membandingkan biaya-biaya yang diperlukan dalam investasi dan pengoperasian modul pompa air laut dengan mesin pompa berbahan bakar minyak sehingga diketahui biaya energi untuk setiap kWh. Komponen-komponen biaya yang dipergunakan sebagai bahan perbandingan adalah biaya investasi, biaya operasional, dan biaya perawatan.

A. Data iklim

Daerah yang dipergunakan untuk studi kasus adalah di pesisir timur provinsi Aceh (*Latitude: 4,7; Longitude: 97,8*). Namun karena tidak adanya stasiun klimatologi di daerah tersebut, maka data iklim diambil dari data pengukuran stasiun terdekat. Data pengukuran klimatologi tersebut disediakan oleh SAM. Daerah ini beriklim tropis dengan memiliki potensi energi Matahari yang tinggi. Suhu rata-rata bulanan bervariasi mulai dari 20,9 °C di bulan April dan sampai 35,8 °C di bulan Juli. Presipitasi per kelembaban rata-rata sebesar 2,88 kPa. Kecepatan angin rata-rata per tahun sebesar 1,56 m/s². Nilai GHI tahunan adalah sebesar 51,37 kWh/m². Data klimatologi yang terukur termasuk didalamnya temperatur, kelembaban relatif, presipitasi, kecepatan angin, radiasi global di sumbu horisontal, radiasi langsung serta radiasi difusi ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1 Data Iklim Setara Pesisir Timur Provinsi Aceh

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
Temperatur (°C)	33,3	33,5	34,8	34,7	34,0	35,0	35,8	33,3	34,0	34,0	33,0	33,0
Kelembapan (%)	81	80	84	80	82	79	82	80	80	84	84	83
Presipitasi kelembaban (kPa)	per 2,8	2,8	3,0	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	2,8	2,9	2,9	2,9
Kecepatan angin (m/s ²)	1,1	1,8	1,3	1,8	1,6	1,4	1,6	1,6	1,5	1,5	1,3	1,9
GHI (Wh/m ²)	4250	4474	4631	4463	4170	4235	4231	4372	4220	4220	4082	3907
BHI (Wh/m ²)	1163	1175	1332	1036	847	1173	1066	980	854	854	881	729
DHI (Wh/m ²)	3397	3551	3574	3647	3519	3375	3433	3585	3534	3534	3420	3392

Sumber: Database klimatologi perangkat lunak SAM, Tahun 2019

B. Disain modul pompa air laut

Modul pompa air laut terdiri dari rangkaian panel surya, inverter, motor induksi, pompa sentrifugal dan pemipaan. Berikut ini adalah model matematis untuk peralatan-peralatan penyusun modul pompa air laut.

1) Panel surya

Daya keluaran panel surya bervariasi sesuai dengan kondisi radiasi sinar Matahari dan suhu. Pemodelan panel surya tergantung dari estimasi energi yang dikeluarkan oleh panel surya. Energi yang dihasilkan oleh panel surya dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 1.

$$E_{pv} = \eta_{pv} \cdot I_{GHI} \cdot A \tag{1}$$

η_{pv} adalah efisiensi dari panel surya, I_{GHI} adalah rata-rata global iradiasi pada bidang horisontal dan A adalah luas area dari panel surya. Untuk efisiensi dari panel surya dapat dihitung dengan persamaan 2.

$$\eta_{pv} = F_m \cdot [1 - \gamma \cdot (T_c - T_r)] \cdot \eta_{pt} \tag{2}$$

Dimana F_m adalah faktor penggabungan, γ adalah koefisien suhu dari sel panel surya, T_c adalah suhu rata-rata lingkungan, T_r adalah suhu referensi panel surya, dan η_{pt} adalah koefisien daya dan suhu. Untuk dapat menghitung daya maksimal yang dihasilkan oleh panel surya, persamaan 3 dapat dipergunakan.

$$P_{pv} = \frac{G_{ce}}{F_m \cdot [1 - \gamma \cdot (T_c - T_r)] \cdot G_d(\beta)} \tag{3}$$

G_{ce} adalah nilai dari iluminasi dan $G_a(\beta)$ adalah rata-rata iradiasi harian pada sudut kemiringan β .

2) Inverter

Energi yang dapat dikonversi oleh inverter dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan sederhana seperti pada persamaan 4.

$$E_{inv} = \eta_{inv} \cdot E_{pv} \quad (4)$$

Secara umum efisiensi dari inverter bervariasi mulai dari 80% sampai dengan 95% tergantung dari kondisi kerja. Kondisi kerja yang paling berpengaruh adalah temperatur dan ketersediaan daya.

3) Pompa dan Motor Listrik

Karakteristik dari *head* dan kapasitas pompa sentrifugal dapat dicari dengan menggunakan model Pfleider-Peterman sesuai dengan persamaan 5.

$$H = a_0 \cdot \omega^2 + a_1 \cdot \omega Q + a_2 \cdot Q^2 \quad (5)$$

Dimana H adalah *head*, a_0, a_1, a_2 adalah konstanta tergantung dari ukuran pompa, ω adalah kecepatan putaran pompa dan Q adalah kapasitas pompa. Sedangkan energi hidraulik pompa dapat diestimasi dengan menggunakan persamaan 6.

$$E_p = \rho \cdot Q \cdot H \quad (6)$$

ρ adalah kerapatan jenis air laut yaitu 23,34 kg/m³ untuk kadar garam 35% pada suhu 25 °C. Karakteristik dari pompa ditampilkan dengan grafik hubungan antara H dan Q .

Kebutuhan daya pada motor listrik dapat dikalkulasi melalui persamaan 7 sebagai berikut:

$$P_m = \frac{E_p \cdot g}{\eta_p \cdot \eta_m} \quad (7)$$

g adalah percepatan gravitasi (10 m/s²), η_p adalah efisiensi pompa, sedangkan η_m adalah efisiensi motor induksi.

4) Keekonomian

Untuk dapat mengetahui biaya optimum antaran penggunaan modul pompa air laut dengan mesin pompa harus menggunakan analisa keekonomian. Pada makalah ini *Life Cycle Cost (LCC)* dan *Levelized Cost of Energy (LCOE)* dipergunakan untuk menganalisa sistem. LCC adalah jumlah biaya investasi, biaya operasional dan perawatan untuk periode waktu tertentu. LCC dapat dihitung menggunakan persamaan 8.

$$LCC = I_{pv} + I_{inverter} + I_{pompa} + I_{instalasi} + C_{o\&m_8tahun} + C_{salvage} \quad (8)$$

Dimana I_{pv} adalah biaya investasi panel surya, $I_{inverter}$ adalah biaya investasi inverter, I_{pompa} adalah biaya investasi pompa, $I_{instalasi}$ adalah biaya instalasi, $C_{o\&m_8tahun}$ adalah biaya operasi dan perawatan selama 8 tahun, sedangkan $C_{salvage}$ adalah nilai *salvage*. Nilai $C_{o\&m_8tahun}$ dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 9.

$$C_{o\&m_Ntahun} = C_{o\&m} \cdot \left[\frac{(1+i)^N - 1}{i \cdot (1+i)^N} \right] \quad (9)$$

Dimana N adalah umur komponen (8 tahun) dan i adalah suku bunga.

$$LCOE = \frac{LCC_{1tahun}}{\text{Energi}} \quad (10)$$

LCOE (Rp/kWh) didefinisikan sebagai biaya rata-rata per kWh. LCOE dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 10.

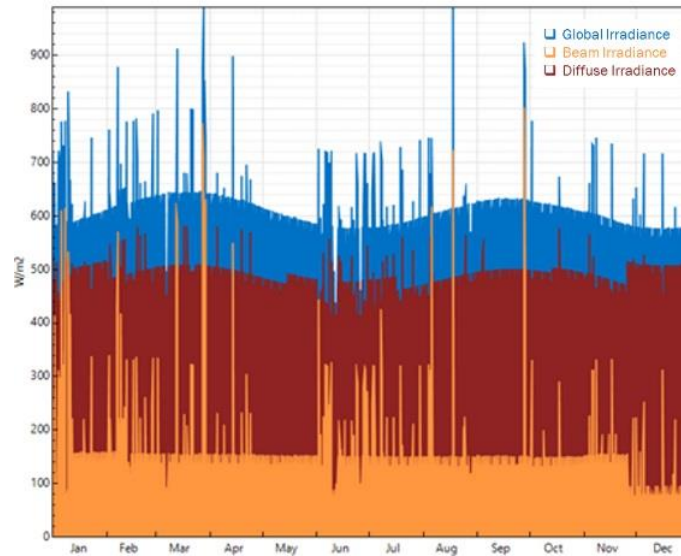
HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas hasil berdasarkan penilaian terhadap energi Matahari, ukuran dan pemodelan modul pompa air laut, dan analisa keekonomian antara penggunaan modul pompa air laut dengan penggunaan mesin pompa berbahan bakar minyak. Perhitungan simulasi panel surya menggunakan perangkat lunak SAM yang dibuat oleh *National Renewable Energy Laboratory* (NREL).

A. Kajian Potensi Energi Surya

Potensi energi surya di wilayah pesisir timur Aceh sangat dipengaruhi oleh kondisi musim. Pada saat musim kemarau, energi surya mencapai maksimal karena sedikit terhalang oleh awan. Berbeda dengan kondisi musim penghujan, energi surya menjadi minimal karena banyak terhalang oleh awan.

Potensi energi surya dapat dilihat dari Gambar 3. Pada grafik tersebut ditampilkan nilai maksimal GHI, BHI, dan DHI harian. Nilai GHI rata-rata setiap bulannya berfluktuasi dari 568-658 Wh/m². Sedangkan temperatur rata-rata untuk setiap bulannya di daerah tersebut relatif tetap.



Gambar 3. Potensi Energi Surya

Sumber: Perangkat Lunak SAM

B. Kajian Disain Modul Pompa Air Laut

Daya yang dipilih untuk modul pompa air laut dibatasi oleh luasan panel surya yang optimal dipergunakan di tambak garam. Luasan panel surya yang besar mempunyai keuntungan dapat menghasilkan daya yang besar. Namun mempunyai kerugian dapat mengurangi luasan lahan yang dipergunakan untuk tambak garam karena dalam proses pembuatan garam, diperlukan sinar Matahari untuk menguapkan air laut. Dengan adanya batasan ini maka ukuran panel surya ditentukan sebesar $\pm 10 \text{ m}^2$. Spesifikasi panel surya yang dipergunakan dalam studi ini ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2 Spesifikasi Panel Surya

Komponen	Spesifikasi	Koefisien Suhu
Efisiensi	16,78%	
Daya maksimal	325,62 Wdc	-0,41 %/oC -1,34 W/oC
Tegangan maksimal	37,6 Vdc	
Arus maksimal	8,7 Adc	
Voc	46,1 Vdc	-0,311 %/oC -0,143 V/oC
Isc	9,1 Vdc	0,05% /oC 0,05 A/oC
Ukuran	1984x998 mm	

Sumber : Data sekunder yang diolah, Tahun 2019

Selain luasan panel surya yang menjadi batasan, tegangan keluaran panel surya juga harus diperhatikan. Karena tegangan kerja dari motor listrik yang ada di pasaran adalah sebesar 220 Vac. Untuk dapat dikonversi ke tegangan 220 Vac, maka disain topologi panel surya harus memenuhi nilai tegangan tersebut. Topologi yang paling memungkinkan adalah dengan menyusun 5 panel surya secara seri. Dengan topologi tersebut dihasilkan tegangan keluaran sebesar 230,5 Vdc. Luasan panel surya dengan susunan topologi seperti diatas menjadi $4.990 \times 1.984 \text{ mm}^2 \pm 10 \text{ m}^2$.

Disain inverter disesuaikan dengan topologi panel surya. Spesifikasi inverter yang dipergunakan didalam studi ini ditampilkan pada tabel 3.

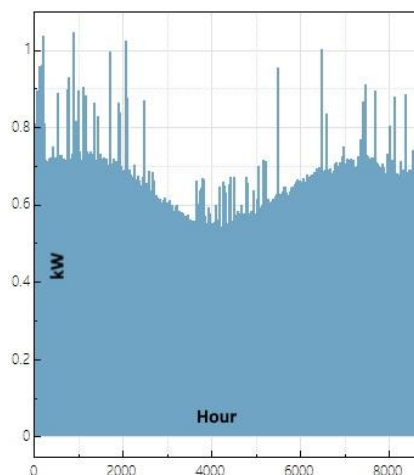
Tabel 3 Spesifikasi Inverter

Komponen	Spesifikasi
Efisiensi	91,269%
Daya maksimal (ac)	1100 Wac
Daya maksimal (dc)	1214,68 Wdc
Konsumsi daya	0,13 Wdc
Tegangan nominal (ac)	270 Vac
Tegangan maksimal (dc)	0 Vdc
Arus maksimal (dc)	0 Adc
Tegangan minimal MPPT (dc)	125 Vdc
Tegangan nominal (dc)	199,33 Vdc
Tegangan maksimal MPPT (dc)	325 Vdc

Sumber : Data sekunder yang diolah, Tahun 2019

Hasil simulasi dengan menggunakan SAM untuk data klimatologi serta topologi panel surya dan inverter ditampilkan pada Gambar 4.

Grafik pada Gambar 4, adalah daya keluaran inverter dalam rentang waktu satu tahun. Daya yang dihasilkan oleh PV dan inverter berfluktuasi. Daya maksimal yang dihasilkan adalah sebesar 0,72 kW sedangkan daya minimal yang dihasilkan sebesar 0,58 kW. Daya terendah terjadi pada sekitar jam ke 4.000, atau pada bulan Mei sampai Juni.



Gambar 4. Hasil Simulasi Daya Keluaran Inverter

Tingkat daya yang dipilih untuk dipergunakan didasarkan pada daya pompa yang ada di pasaran. Secara umum kisaran daya pompa yang ada di pasaran yang mendekati daya

keluaran inverter adalah 0.5 kW, 0,6 kW dan 0,75 kW. Dengan menggunakan faktor keamanan 10%, maka daya yang dipilih adalah sebesar 0,6 kW.

Pada saat musim penghujan, daya yang dapat dikonversi oleh panel surya dan inverter hanya sebesar 0,58 kW. Daya tersebut tidak dapat dipergunakan untuk menggerakkan pompa. Namun kondisi ini hanya terjadi pada saat musim penghujan dimana tambak garam sedang berhenti beroperasi. Dengan demikian modul pompa air laut ini tepat apabila dipergunakan pada saat musim produksi garam yaitu musim kemarau.

Spesifikasi pompa dengan daya 0,6 kW ditampilkan pada Tabel 4. Dengan kapasitas 300 liter/menit atau 18 m³/jam maka apabila modul bekerja selama 7 jam per hari dapat mengairi tambak garam sebesar 126 m³. Tambak garam hanya menampung air laut dengan tinggi 0,3 m, sehigga luasan tambak garam yang dapat terlingkupi dengan satu modul pompa air laut yang bekerja selama 1 hari (7 jam) adalah seluas 420 m².

Tabel 4 Spesifikasi Pompa Listrik

Komponen	Spesifikai
Daya	0,6 kW
Tegangan	230 Vac
Fase	1 fase
Frekuensi	50 Hz
<i>Head</i>	5,4 m
Kapasitas	300 l/menit

Sumber : Data sekunder yang diolah, Tahun 2019

C. Kajian Ekonomi

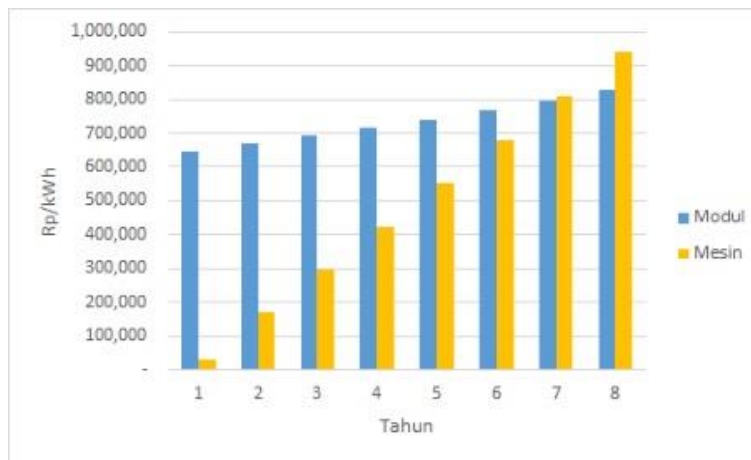
Spesifikasi mesin pompa yang dipergunakan sebagai perbandingan adalah spesifikasi mesin pompa yang sering dipergunakan sebagai pompa pengairan. Spesifikasi teknis mesin pompa tersebut dapat dilihat pada Tabel 5. Luasan tambak yang dialiri air sebesar 420 m². Nilai *salvage* setelah 8 tahun diasumsikan Rp 0,-, dan nilai bunga bank 6,5% (BI Rate).

Tabel 5 Spesifikasi Mesin Pompa

Komponen	Spesifikasi
Tipe pompa	<i>Self-feed</i> , pompa hisap
Kapasitas maksimum	670 L/min
Tipe mesin	4-tak, OHV silinder tunggal, 250
Daya	3,6 kW (4,8 HP), 3600 rpm
Bahan bakar	Bensin tanpa timbal
Konsumsi bahan bakar	1,4 L/jam

Sumber : Data sekunder yang diolah, Tahun 2019

Biaya operasional dan perawatan untuk modul pompa air laut setiap bulan adalah sebesar Rp 32.250,-. Biaya hanya terdiri dari biaya perawatan saja. Sedangkan biaya operasional dan perawatan untuk mesin pompa setiap bulan adalah sebesar Rp 1.138.750,-. Biaya ini terdiri dari biaya pembelian bahan bakar yang besarnya Rp 1.080.000,- dan sisanya adalah biaya perawatan. Komponen biaya modul pompa air laut dan mesin pompa dapat dilihat pada Tabel 6.



Gambar 5. Hasil Simulasi Daya Keluaran Inverter

Analisa LCOE untuk modul pompa air laut dengan mesin pompa dapat dilihat pada grafik di Gambar 5. Biaya investasi awal untuk modul pompa air laut jauh lebih besar dari pada biaya investasi awal mesin pompa. Namun dengan biaya perawatan dan operasional mesin pompa yang lebih besar dari pada biaya perawatan dan operasional modul pompa air laut maka pada tahun ke-7 nilai LCOE dari mesin pompa akan lebih besar dari pada modul pompa air laut. Dengan demikian penggunaan modul pompa air laut

akan lebih ekonomis daripada penggunaan mesin pompa setelah pemakaian selama 7 tahun.

KESIMPULAN

Dalam studi ini kapasitas modul pompa air laut dengan melihat potensi energi Matahari dan luasan panel surya yang tepat dikembangkan untuk dapat meningkatkan produktifitas garam. Daya yang dapat dihasilkan oleh panel surya tergantung dari kondisi klimatologi di daerah pemasangan. Modul pompa air laut memiliki kapasitas optimal dengan daya sebesar 0,6 kW yang dapat dipergunakan untuk mengairi tambak garam dengan luasan 420 m². Modul pompa air laut ini akan lebih ekonomis daripada penggunaan mesin pompa air dengan bahan bakar minyak ketika dipergunakan lebih dari 7 tahun.

Penelitian kedepan dapat mengoptimalkan ukuran panel surya yang dipasang pada tambak garam dengan memperhatikan variabel daya yang dihasilkan serta luasan yang tidak mengurangi produksi garam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] [Adi et al., 2007] Adi, T. R., Supangat, A., Sulistiyo, B., S, B. M., Amarullah, H., Prihadi, T. H., Sudarto, Soentjahjo, E., and Rustam, A. (2007). *Buku Panduan Pengembangan usaha Terpadu Garam dan Artemia*. Pusat Riset Wilayah Laut dan Sumberdaya Non Hayati-DKP.
- [2] [Argaw et al., 2001] Argaw, N., Foster, R., and Ellis, A. (2001). Renewable energy for water pumping applications in rural areas. Technical report, NREL.
- [3] [Betka and Moussi, 2004] Betka, A. and Moussi, A. (2004). Performance optimization of a photovoltaic induction motor pumping system. *Renewable Energy*, 29(14):2167 – 2181.
- [4] [Bouzidi, 2013] Bouzidi, B. (2013). New sizing method of pv water pumping systems. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 4(Supplement C):1 – 10.
- [5] [Campana et al., 2013] Campana, P. E., Li, H., and Yan, J. (2013). Dynamic modelling of a pv pumping system with special consideration on water demand. *Applied Energy*, 112(Supplement C):635 – 645.
- [6] [Chaib et al., 2015] Chaib, A., Kesraoui, M., and Aklouche, M. (2015). Sizing a pv pumping system for an algerian remote site. In *IREC2015 The Sixth International Renewable Energy Congress*, pages 1–5.
- [7] [Jones et al., 2016] Jones, M., Odeh, I., Haddad, M., Mohammad, A., and Quinn, J. (2016). *Economic analysis of photovoltaic (pv) powered water pumping and desalination without energy storage for agriculture desalination*, 387(Supplement C):35 – 45.
- [8] [Nordin and Rahman, 2014] Nordin, N. D. and Rahman, H. A. (2014) Design and economic analysis in stand alone photovoltaic system. In *2014 IEEE Conference on Energy Conversion (CENCON)*, pages 152–157.

- [9] [Rahmantya et al., 2015] Rahmantya, K. F., Astianto, A. D., Wibowo, D., Wahyuni, T., and Somad, W. A. (2015). *Kelautan dan Perikanan Dalam Angka Tahun 2018*. Pusat Data, Statistik dan Informasi-KKP
- [10] [Said et al., 2017] Said, W., Gaber, H. A., and Mami, A. (2017). Sizing and simulation of an energy sufficient stand-alone pv pumping system. In *2017 International Conference on Promising Electronic Technologies (ICPET)*, pages 8–13.
- [11] [Yahyaoui et al., 2017] Yahyaoui, I., Atieh, A., Tadeo, F., and Tina, G. M. (2017). Energetic and economic sensitivity analysis for photovoltaic water pumping systems. *Solar Energy*, 144(Supplement C):376 – 391.