

## Analisis Kinerja dan Ekonomi Sistem Pompa Air Tenaga Surya Skala Laboratorium

Usman<sup>1</sup>, Alang Sunding<sup>2</sup>, Akbar Naro Parawangsa<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Listrik, Politeknik Bosowa

<sup>2,3</sup> Program Studi Perawatan dan Perbaikan Mesin, Politeknik Bosowa

Jln. Kapasa Raya, No. 23, KIMA-Makassar 90245, Indonesia

E-mail : usman@politeknikbosowa.ac.id<sup>1</sup>, alang.sunding@bosowa.co.id<sup>2</sup>, akbar.naro@bosowa.co.id<sup>3</sup>

### Abstrak

Ketergantungan radiasi matahari dalam menghasilkan energi listrik oleh photovoltaic (PV) akan memberikan dampak pada kinerja Sistem Pompa Air Tenaga Surya (SPATS), selain karena SPATS ini terdiri dari berapa komponen dengan karakteristik yang berbeda pula. Dengan demikian dalam penelitian ini akan menguji kinerja serta melakukan analisis ekonomi dari SPATS. Untuk mencapai tujuan tersebut dilakukan pengukuran data yang dimulai pada pukul 09.00 sampai dengan pukul 16.00. Data tersebut adalah radiasi matahari, tegangan dan arus PV/pompa dan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi wadah dengan volume tertentu. Analisis data dilakukan dengan menggunakan persamaan-persamaan yang telah ditentukan sebelumnya serta melakukan perbandingan dengan penelitian lainnya. Hasil yang didapatkan bahwa debit air yang dihasilkan oleh SPATS akan sebanding dengan radiasi matahari, sebagai akibat produksi energi listrik yang dihasilkan oleh PV. Efisiensi pompa dan sistem sebanding dengan radiasi matahari. Fenomena ini merupakan efek dari ketergantungan debit air terhadap radiasi matahari. Hasil analisis ekonomi yang dilakukan didapatkan bahwa harga energi listrik yang dibangkitkan oleh SPATS relatif murah dan biaya air untuk setiap m<sup>3</sup> berbanding terbalik dengan debit air yang dihasilkan oleh pompa.

**Kata Kunci:** pompa tenaga surya, photovoltaic, analisis ekonomi

### Abstract

*The dependence of solar radiation in generating electricity by photovoltaic (PV) will have an impact on the Photovoltaic Water Pump System (PVWPS) performance, besides The PVWPS consists many components with different characteristics. Thus this research will investigation the performance conduct economic analysis of PVWPS. To achieve that objective measurement of data starting at 09.00 until 16.00. The data are solar radiation, voltage and current of PV/pump and the time required to fill the container with a certain volume. Analysis data is using the equations that have been predetermined and comparison other research. The results obtained that the water discharge generated by PVWPS will be proportional to solar radiation, as a result the production of electricity generated by PV. The pump efficiency and system is proportional to solar radiation. This phenomenon is the effect of water debit dependence on solar radiation. The result of economic analysis is the price of electricity generated by SPATS is relatively cheap and the water cost for every m<sup>3</sup> is inversely proportional to the water discharge generated by the pump.*

**Keywords:** Photovoltaic Water Pump, photovoltaic, economic analysis.

## I. PENDAHULUAN

Pemanfaatan *photovoltaic* (PV) pada saat ini sebagai sumber energi listrik untuk pompa air masih tergolong sebagai teknologi baru. Penggunaan teknologi PV sebagai penyedia listrik untuk Sistem Pompa Air Tenaga Surya (SPATS) dapat meminimalkan ketergantungan pada listrik berbasis diesel, gas dan batu bara serta dapat memberikan keuntungan dari segi lingkungan untuk mengoperasikan pompa air konvensional [1]–[3]. Selain SPATS daerah terpencil cocok digunakan untuk penyediaan air bersih, irigasi dan peternakan, dapat mengurangi penggunaan bahan bakar fosil yang terus meningkatnya harganya [4],[5].

SPATS yang menggunakan PV merupakan sistem yang terdiri dari komponen yang berbeda-beda, yang dapat dikelompokkan sebagai komponen mekanik, listrik dan elektronik. Komponen-komponen ini memiliki konstruksi, cara kerja dan karakteristik kinerja yang berbeda pula. Sehingga integrasi komponen tersebut untuk membentuk SPATS bisa menyebabkan kinerja yang rendah secara keseluruhan [1].

Kinerja SPATS sangat bergantung kepada sinar matahari sehingga tidak dapat beroperasi selama 24 jam. Salah satu cara untuk mengatasi keterbatasan sinar matahari atau kondisi cuaca pada SPATS digunakan baterai sebagai penyimpan energi akan tetapi secara ekonomi dapat menimbulkan peningkatan biaya. Kinerja dari SPATS di antaranya adalah efisiensi pompa dan

efisiensi sistem yang merupakan variabel dari radiasi matahari. Hal ini memberikan tantangan tersendiri untuk melihat kinerja pompa tersebut maupun secara ekonomi, sehingga dapat memberikan gambaran yang komprehensif mengenai

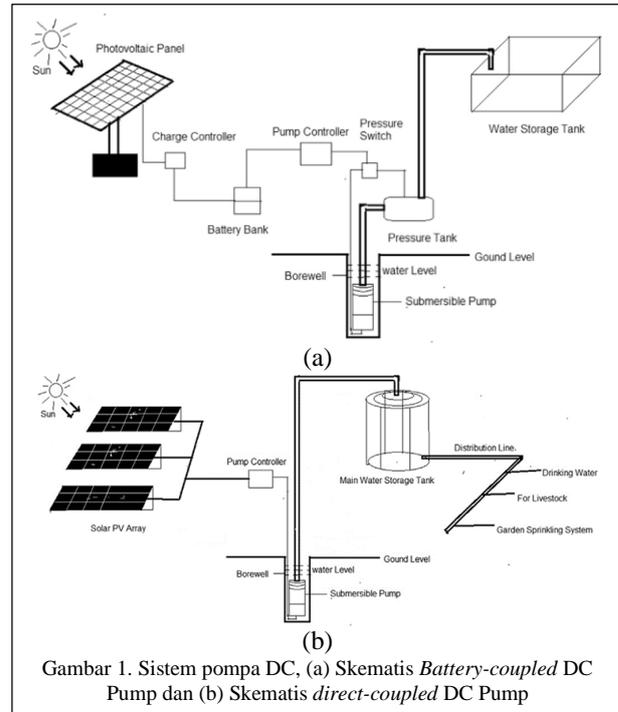
Tujuan dari penelitian ini adalah mendapatkan parameter kinerja dari SPATS berupa debit air, efisiensi pompa dan efisiensi sistem pada sistem dengan head pompa dan konfigurasi panel surya yang tetap. Setelah itu akan dilakukan analisis ekonominya untuk mendapatkan harga energi yang dibutuhkan dalam setiap m<sup>3</sup> air yang dihasilkan.

Penelitian-penelitian sebelumnya yang membahas masalah ini beberapa di antaranya [6] mengemukakan bahwa SPATS dengan jenis pompa Lorentz PS 1800 C-SJ5-12. Daya yang dibutuhkan pompa untuk memompa air dengan debit 3,8 m<sup>3</sup>/jam dengan head 40 m adalah 800 Wp. Untuk harga air, harga yang diterapkan lebih rendah dibandingkan dengan pompa AC konvensional. Penelitian oleh [7] mendapatkan bahwa efisiensi pompa dipengaruhi oleh daya masukan pada pompa semakin besar daya pompa maka semakin rendah efisiensi pompa sedangkan efisiensi SPATS semakin besar daya masukan maka semakin tinggi pula efisiensinya pada kondisi head yang tetap. Selanjutnya oleh [8] menguji efisiensi terbaik dari SPATS dengan konfigurasi head 1 – 7 m dan didapatkan efisiensi terbaik adalah pada head 3 m. Penelitian lain oleh [9] mendapatkan efisiensi sistem secara keseluruhan yang terbaik dari sebuah SPPV pada head 2 meter dengan melakukan pengujian total head 1-4 m.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

SPATS merupakan suatu sistem pompa air/fluida yang menggunakan motor *Direct Current* (DC) untuk menggerakkan pompa. Pompa secara umum merupakan suatu alat yang difungsikan untuk memindahkan zat cair dari tempat yang rendah ke tempat yang lebih tinggi dengan cara menaikkan tekanan cairan tersebut [8]. Menurut [1] pompa diklasifikasikan menjadi 2 (dua) berdasarkan lokasi pemasangan dan tingkat air yaitu pompa permukaan (*surface mounted*) dan pompa dalam (*deep well*). *Surface pump* mempunyai kemampuan daya hisap 10 ft – 20 ft dan *submersible pump* dirancang, secara khusus untuk PV memiliki efisiensi keseluruhan 30-70%. Berdasarkan sudu-sudu pompa dibagi menjadi 3 (tiga) yaitu pompa *diaphragm*, *helical* dan *sentrifugal*. Pompa *sentrifugal* paling cocok untuk head rendah dan debit harian tinggi, pompa *helical* sangat stabil untuk head yang tinggi [10]. Pada penelitian ini digunakan pompa jenis *submersible pump*

Sistem pompa DC secara garis besar diklasifikasikan menjadi 2 (dua) yaitu *battery-coupled DC Pump* dan *direct-coupled DC Pump*. [1] Kedua jenis di tunjukan oleh [1]. Dalam penelitian ini akan menggunakan sistem *direct-coupled DC Pump*. Jenis motor DC yang digunakan dalam SPATS adalah jenis *Permanent Magnet Brushless DC* (PMBDC). Penggunaan motor DC sebagai penggerak pompa memberikan banyak keuntungan, seperti efisiensi sistem yang tinggi, dapat mereduksi biaya dan kinerja motor baik dengan variasi radiasi matahari [11]–[13].



Gambar 1. Sistem pompa DC, (a) Skematis *Battery-coupled DC Pump* dan (b) Skematis *direct-coupled DC Pump*

Kinerja SPATS bergantung pada parameter seperti radiasi matahari pada setiap lokasi, efisiensi PV, head, aliran air, kebutuhan air, dan daya hidrolik [14]. Efisiensi *array PV* ditentukan oleh persamaan berikut :

$$\xi_{pv}(\%) = \frac{E_{pv}}{A_{pv} \cdot E} \times 100 \quad (1)$$

Efisiensi pompa merupakan perbandingan energi hidrolik pada satuan waktu dengan konsumsi energi yang dibutuhkan pompa dalam waktu yang sama, diberikan oleh :

$$\xi_{pv}(\%) = \frac{C_h \cdot H \cdot V_d}{E_p} \times 100 \quad (2)$$

Sedangkan efisiensi SPATS diberikan oleh

$$\xi_{sys}(\%) = \xi_{pv} \cdot \xi_p \quad (3)$$

Debit air merupakan volume air yang keluar dari pompa setiap satuan waktu yang diberikan oleh :

$$Q = \frac{V}{t} \quad (4)$$

Di mana:  $E_{pv}$ ; energi listrik yang dibangkitkan oleh PV dalam satuan waktu (Wh),  $A_{pv}$  ; luas permukaan PV (m<sup>2</sup>),  $E$  ; radiasi matahari (W/m<sup>2</sup>),  $C_h$ ; konstanta hidrolik (2.725),  $H$ ; head pompa (m),  $V_d$ ; Volume pada satuan waktu tertentu (m<sup>3</sup>),  $E_p$ ; energi yang dibutuhkan pompa pada satuan waktu (Wh),  $\xi_{pv}$ ; efisiensi PV (%),  $\xi_p$  ; efisiensi pompa (%),  $\xi_{sys}$ ; efisiensi SPATS (%),  $Q$  ; debit air (m<sup>3</sup>/s),  $V$  ; volume air (m<sup>3</sup>) dan  $t$  ; waktu (s)

Selain kinerja yang telah disebutkan di atas hal lain yang perlu diperhatikan adalah mengenai analisis ekonomi suatu SPATS. Analisis ekonomi yang dimaksudkan di sini dibatasi pada 2 aspek yaitu harga energi yang dibangkitkan oleh PV untuk menyuplai SPATS dan harga yang diperlukan untuk menaikkan air setiap m<sup>3</sup>. Biaya energi ini menggambarkan biaya yang dibutuhkan untuk membangkitkan 1 kWh energi listrik, sedangkan harga air memberikan gambaran berapa besar biaya yang

dibutuhkan oleh air dalam setiap m<sup>3</sup> yang diangkat oleh SPATS.

Menurut [3] Biaya energi (*Cost Of Energy*) terutama ditentukan oleh biaya pemasangan dan produksi energi tahunan. Untuk sistem SPATS, biaya tersebut ditentukan terutama oleh PV dan pompa DC kemudian biaya pengontrol. Untuk COE PV sendiri tergantung pada radiasi matahari sekitar \$ 0,22- \$ 0,35 / kWh. COE dari PV biasanya diratakan selama umur sistem (diasumsikan 20-30 tahun), yang dihitung dengan:

$$COE = \frac{IC \times FCR + AOM}{AkWh} \quad (5)$$

dengan

$$FCR = \frac{(1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (6)$$

$$AkWh = EF \times Wp \times \overline{PSH} \times 365 \quad (7)$$

Di mana *IC* ; biaya awal (biaya komponen), *FCR* ; faktor pengembalian modal, *AOM* ; biaya operasi dan pemeliharaan, *AkWh* ; energi yang dihasilkan dalam setahun (kWh/tahun), *i* ; faktor diskon, *n* ; umur sistem (tahun), *EF* ; efisiensi PV (%), *Wp* ; daya maksimal yang dihasilkan oleh PV dan  $\overline{PSH}$  ; waktu rata-rata radiasi matahari dalam sehari (jam).

Untuk menghitung harga air untuk setiap m<sup>3</sup> bergantung pada daya yang dibutuhkan oleh pompa serta waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh air dalam jumlah 1 m<sup>3</sup>. Harga ini dapat dihitung dengan:

$$COW = \frac{P \times t}{1m^3} \quad (8)$$

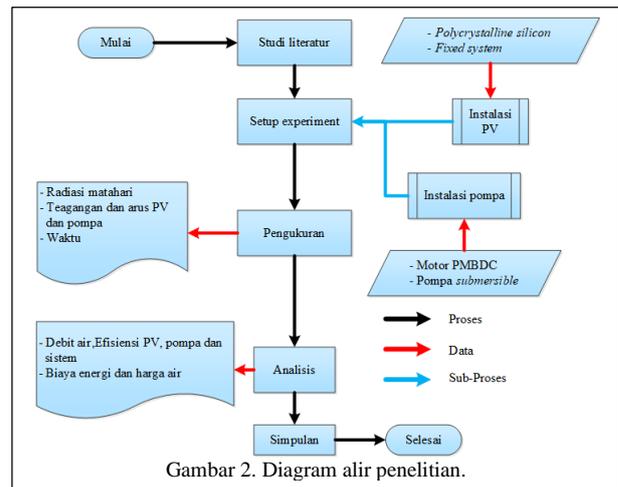
Di mana: *COW*; harga air (Rp/m<sup>3</sup>), *P* ; daya pompa (W) ,dan *t* ; waktu (jam).

### III. METODE

Penelitian ini dilakukan di Kampus Politeknik Bosowa. Diagram alir dari penelitian ini di tunjukan oleh Gambar 2 Pengumpulan data didapat dari studi literatur dan observasi/pengukuran secara langsung. Pengukuran dilakukan untuk mengukur besaran-besaran yang di perlukan. Pengambilan data dilakukan pada jam 09.00 sampai dengan 16.00 dengan rentang pengambilan data dilakukan setiap jamnya. Alat dan bahan yang digunakan di sajikan pada Tabel 1

Prosedur pengambilan data yang dilakukan pada penelitian ini dengan *layout* seperti Gambar 3 adalah sebagai berikut:

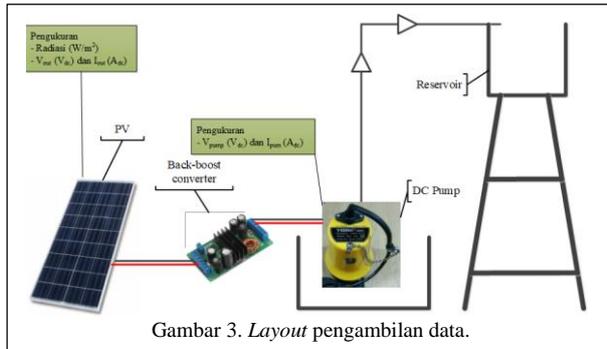
1. Merangkai alat seperti pada Gambar 3.
2. Pada jam 08.00 motor dihidupkan kemudian mengukur radiasi besaran-besaran meliputi radiasi matahari, tegangan dan arus keluaran pada PV, tegangan dan arus masukan pada pompa, dan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi wadah yang volumenya 250 l dengan *head* pompa 2 m. Pemilihan *head* ini didasarkan pada hasil penelitian sebelumnya.
3. Setelah wadah terisi penuh maka pompa dimatikan.
4. Mengulangi langkah 2 untuk setiap jamnya sampai dengan pukul 16.00



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Tabel 1. Alat dan bahan yang digunakan

No.	Alat/bahan	Spesifikasi
1.	Pompa DC	Voltage : DC 12V, Current : 5,4A, Temperature max. : 60°C, Daya max. : 60 Watt, RPM : 5.800, Ketinggian max. : 4 meter, Kapasitas air max. : 70 liter/menit, Output : selang 1"
2.	Panel Surya	Modul type: SP-50-M36, type; Mono cristal silicon, Pmax: 50W, Vmp: 17.6 V, Imax: 2.85 A, Isc: 1.04 A, Voc: 22.5 V, dimension: 700x510 x30 mm, number of cell: 36, temperature range: -45-80 °C
3.	DC-DC converter	Tipe : Step Down, Tegangan Input : 5-40 Volt, Tegangan Output : 1.2-35 Volt (Adjustable), Arus Output : 0.2 - 9A (Adjustable), Max. Power Output : 300W, Suhu operasi : -40 – 85 °C,
4.	Reservoir	Bahan: plastik, Volume 250 l
5.	Solar Power Meter	Measuring range : 0.1~399.9,1 ~3999W/m2 ,0.1~399.9,1~3999 Btu /(f2t-h), Resolution : 0.1W/m,0.1 Btu /(ft-h), Accuracy : +/- 10W/m2/+/-3Btu/( f2t-h) or +/-5% of reading (25C), Temperature error : +/-0.38W/m2/C, +/-0.12Btu/(f2t-h)/C, Response time : 0.25sec,
6	Clamp meter	3/4 Digit, MAX Display: 3999, Over Load Protection, Auto Range, DH : MAX expand of the pincers: 30mm, DCV: 400m/4/40/400/600 V1%3 • ACV: 4/40/400V/6001.5% 5%, DCA:400/600A2% 5 i. ACA: 400/600A2%.



Gambar 3. Layout pengambilan data.

Data yang diperoleh dari hasil studi literatur dan pengukuran akan dilakukan analisis untuk memperoleh hasil yang akan dicapai. Tahapan analisis data yang akan digunakan adalah dengan menggunakan persamaan 1 – 8 dengan beberapa asumsi apabila ada besaran yang tidak didapatkan pada pengukuran. Asumsi tersebut akan didasarkan pada ketentuan-ketentuan yang berlaku atau dari hasil penelitian lainnya. Setelah mendapatkan hasil yang diinginkan akan dibandingkan dengan penelitian lain dengan tujuan untuk melakukan proses validasi dari hasil penelitian ini.

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### Kinerja SPATS

Hasil pengukuran yang dilakukan di sajikan pada Tabel 2 di bawah ini. Berdasarkan tabel ini dapat dilihat bahwa waktu yang dibutuhkan oleh pompa untuk mengisi wadah akan lebih cepat dengan radiasi matahari yang tinggi. Fenomena ini sebelumnya telah disajikan dalam hasil penelitian oleh [8], [15]. Kedua hasil penelitian ini memberikan informasi bahwa debit air sebanding dengan kenaikan radiasi matahari. Kenaikan radiasi matahari ini akan menghasilkan energi listrik yang besar untuk digunakan oleh pompa DC seperti yang di tunjukan Gambar 4.

Tabel 2. Hasil pengukuran

No.	Jam	E (W/m <sup>2</sup> )	PV		Pompa		t (s)
			V (V)	I (A)	V (V)	I (A)	
1	09.00	887	13.3	3.3	11.7	3.3	426
2	10.00	994	15.2	4.3	11.9	3.5	359
3	11.00	1046	16.5	4.9	12	4.9	231
4	12.00	1082	16.7	5.0	12.2	5	192
5	13.00	1071	16.2	4.9	12.1	4.9	204
6	14.00	1024	16.0	4.8	12	4.8	245
7	15.00	924	14.8	3.2	11.8	3.3	398
8	16.00	864	12.6	2.6	11.7	2.6	529
Rata-rata		987	15.16	15.2	4.1	11.9	323

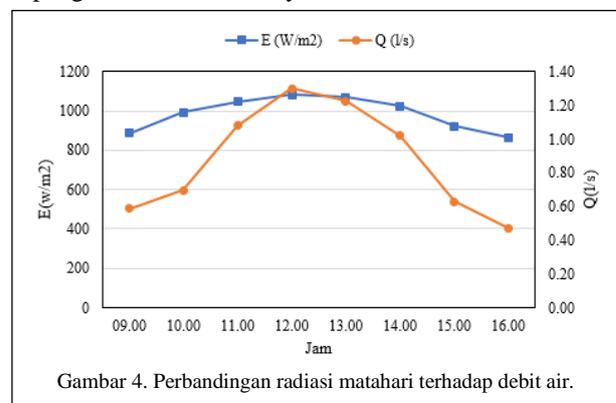
Tabel 3 merupakan parameter kinerja dari SPATS yang dihitung dengan menggunakan persamaan 1 – 4. Berdasarkan tabel ini dapat dilihat bahwa efisiensi dari PV ( $\xi_{pv}$ ) berkisar dari 5% - 11% tergantung pada jumlah radiasi matahari yang menimpa permukaan PV. Berdasarkan data sheet PV yang digunakan yaitu sebesar 12% pada kondisi standar pengujian dengan radiasi matahari 1000 W/m<sup>2</sup>. Hasil perhitungan yang didapatkan

berdasarkan Tabel 2 didapatkan perbedaan pada kondisi dengan radiasi matahari di atas 1000 W/m<sup>2</sup> adalah sebesar 3.42%.

Tabel 3. Efisiensi SPATS

No.	Jam	E (W/m <sup>2</sup> )	$\xi$ (%)		
			PV	P	Sistem
1	09.00	887	7.07	29.11	2.06
2	10.00	994	9.39	34.54	3.24
3	11.00	1046	11.04	53.51	5.91
4	12.00	1082	11.02	64.51	7.11
5	13.00	1071	10.59	60.72	6.43
6	14.00	1024	10.71	50.54	5.41
7	15.00	924	7.32	31.10	2.28
8	16.00	864	5.42	23.40	1.27
Rata-rata		986.5	9.07	41.76	3.99

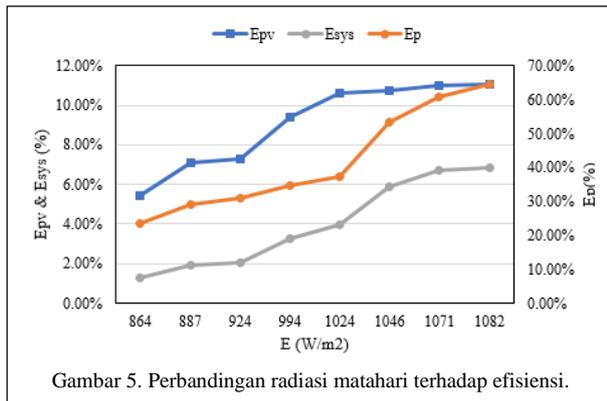
Efisiensi pompa ( $\xi_p$ ) berkisar antara 23% - 64% dengan rata-rata sebesar 41.13%. sama halnya dengan efisiensi PV ( $\xi_{pv}$ ), berdasarkan Tabel 3 di atas nilainya sangat dipengaruhi oleh radiasi matahari. Semakin tinggi radiasi matahari maka energi yang diterima oleh pompa semakin besar yang akan menyebabkan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi wadah semakin cepat seperti pada Tabel 2. Waktu yang cepat ini menandakan bahwa debit air itu sendiri menjadi besar. Berdasarkan literatur [1] bahwa efisiensi SPATS berkisar 30% - 70%. Sedangkan hasil dari [16] menggunakan tipe PV yang sama yaitu *mono crystal* efisiensinya mencapai 45.38 % lebih rendah 4.62 % dari hasil yang didapatkan. Kinerja dari SPATS ini telah memenuhi ketentuan tersebut. Sedangkan efisiensi sistem secara keseluruhan rata-rata sebesar 3.99% dengan kondisi tertinggi yaitu sebesar 6.82%. Dibandingkan dengan referensi [14] dengan menggunakan PV sebesar 1300 Wp dengan head pompa 10 m, 15 m, 20 m, 25 m dan 30 m didapatkan rata-rata efisiensi sistem sebesar 4.3%. Apabila dibandingkan dengan [16] efisiensi rata-rata SPATS ini lebih rendah 6.56 %. Rendahnya efisiensi sistem dari SPATS ini dipengaruhi oleh rendahnya efisiensi dari PV.



Gambar 4. Perbandingan radiasi matahari terhadap debit air.

Gambar 5 menunjukkan efek radiasi matahari terhadap kinerja SPATS yaitu efisiensi. Ketiga efisiensi yaitu efisiensi PV ( $\xi_{pv}$ ), efisiensi pompa ( $\xi_p$ ), dan efisiensi sistem, ( $\xi_{sys}$ ), dipengaruhi oleh radiasi matahari (W/m<sup>2</sup>) sama halnya dengan penelitian [6]. Efisiensi pompa mengalami kenaikan yang signifikan dari efisiensi yang lainnya terhadap kenaikan radiasi matahari.

Efisiensi pompa mengalami rata-rata kenaikan sebesar 5.86%, sedangkan efisiensi PV dan efisiensi sistem masing-masing sebesar 0.80% dan 0.79%. Efisiensi pompa cenderung meningkat pada kondisi radiasi matahari lebih dari 1000 W/m<sup>2</sup>.



Gambar 5. Perbandingan radiasi matahari terhadap efisiensi.

Gambaran kinerja SPATS yang dijelaskan di atas sejalan dengan referensi [17] yang menyatakan bahwa SPATS bergantung pada beberapa faktor di antaranya ketersediaan radiasi matahari pada lokasi, *Total Dynamic Head* (TDH) dan energi hidrolik.

Beberapa keuntungan yang dapat diperoleh dari SPATS ini adalah biaya operasi dan pemeliharaan, pemeliharaan, dan pencemaran lingkungan yang rendah, pemasangan yang lebih cepat dan mudah dipindahkan. Akan tetapi yang menjadi kendalanya itu adalah biaya awal yang mahal dan ketergantungan pada radiasi matahari yang lebih tinggi [18]. Dengan kelebihan dan keuntungan tersebut SPATS sangat cocok diimplementasikan di daerah yang terpencil yang mempunyai potensi radiasi matahari dan tidak terjangkau oleh listrik, aplikasi untuk irigasi, peternakan atau untuk penyediaan air bersih.

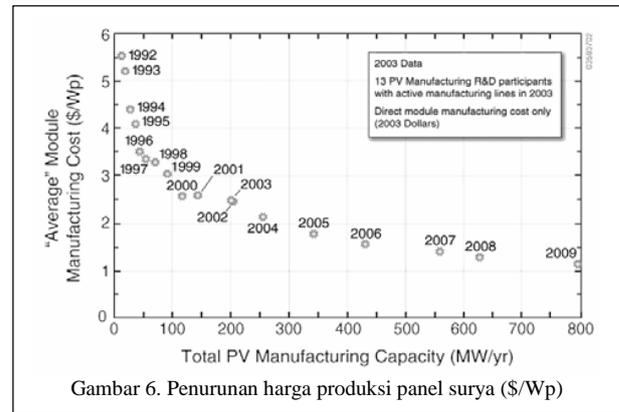
**Analisis Ekonomi**

Untuk melakukan analisis ekonomi dibutuhkan perkiraan energi listrik yang dibangkitkan oleh PV selama setahun. Dengan menggunakan persamaan 7, di mana lama penyinaran matahari yang efektif dalam sehari adalah 8 jam didasarkan pada [19], daya maksimal yang dapat dibangkitkan berdasarkan spesifikasi PV (Tabel 1) adalah 50 Wp, karena menggunakan 2 keping maka dayanya adalah 100 Wp dan efisiensi PV berdasarkan Tabel 3 adalah 8.48 %. Sehingga estimasi energi listrik yang dihasilkan dalam setahun adalah sebesar 2476.16 kWh.

Tabel 4. Parameter perhitungan harga energi

No.	Parameter	Nilai/Harga
1	PV	Rp. 1,075,000.-
	Pompa	Rp. 510,000.-
2	DC-DC converter	Rp. 365,000.-
3	Faktor diskon	4.25 [20]
4	Umur sistem	20 tahun [3]
5	OM	-

Perhitungan COE membutuhkan parameter-parameter seperti yang disajikan pada Tabel 4. Berdasarkan tabel tersebut didapatkan *FCR* sebesar 1.77 dengan menggunakan persamaan 6. sehingga COE didapatkan sebesar Rp 2162.17 atau \$ 0.17. apabila dibandingkan dengan [3] harga ini lebih murah 22.72 %. Perbedaan ini dipengaruhi oleh menurunnya harga PV seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 6 [21]



Gambar 6. Penurunan harga produksi panel surya (\$/Wp)

Tabel 5 menyajikan perhitungan biaya air pada setiap jamnya. Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa biaya air akan dipengaruhi oleh besar kecilnya debit air (l/s). Debit air yang tinggi akan menyebabkan permintaan energi listrik (kWh) akan menjadi rendah karena waktu yang dibutuhkan untuk proses pengisian wadah air sampai mencapai volume tertentu akan menjadi lebih singkat dibandingkan dengan kondisi dengan debit air yang rendah. Biaya yang dibutuhkan untuk mengangkat air setiap 1 m<sup>3</sup> rata-rata Rp. 34.40

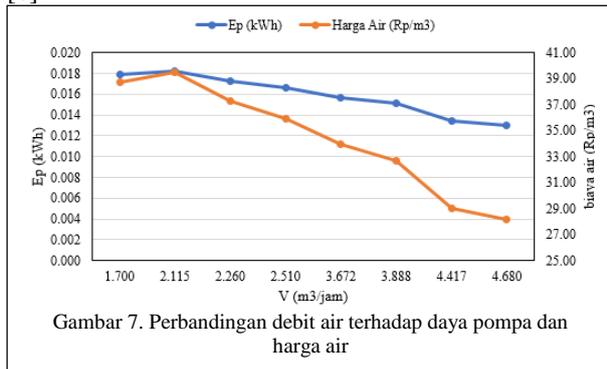
Tabel 5. Perhitungan biaya air.

No.	Jam	E (W/m2)	Q (m³/jam)	Ep (kWh)	Biaya air (Rp/m³)
1	09.00	887	2.115	0.018	39.47
2	10.00	994	2.510	0.017	35.88
3	11.00	1046	3.888	0.015	32.70
4	12.00	1082	4.680	0.013	28.18
5	13.00	1071	4.417	0.013	29.02
6	14.00	1024	3.672	0.016	33.92
7	15.00	924	2.260	0.017	37.25
8	16.00	864	1.700	0.018	38.69
Rata-rata		987	3.155	3.155	34.40

Gambar 7 menyajikan hubungan antara debit air yang dihasilkan oleh SPATS terhadap daya pompa yang dibutuhkan dan biaya yang dibutuhkan oleh air setiap m<sup>3</sup>. Gambar ini memberikan gambaran bahwa harga air sebanding dengan daya pompa yang dibutuhkan akan tetapi berbanding terbalik dengan debit air. Kenaikan rata-rata debit air 0.426 m<sup>3</sup>/jam akan menyebabkan penurunan biaya air rata-rata sebesar 1.5 Rp/m<sup>3</sup>, sedangkan energi listrik yang dibutuhkan oleh pompa akan mengalami penurunan rata-rata sebesar 0.001 kWh.

Melihat fakta yang disajikan di atas SPATS ini mempunyai prospek yang baik untuk dikembangkan dan dimanfaatkan. Hal ini didukung dengan radiasi matahari yang cukup memadai di Indonesia yang mencapai 4,8

kWh/m<sup>2</sup>/hari serta potensi energi matahari yang mencapai 1,2 x 10<sup>9</sup> MW [22]. Kemudian umur rata-rata SPATS berdasarkan umur pompanya bekisar 15-20 tahun [6].



Gambar 7. Perbandingan debit air terhadap daya pompa dan harga air

## V. PENUTUP

### Kesimpulan

Hasil pengujian kinerja SPATS memberikan hasil bahwa debit air yang dihasilkan dipengaruhi oleh radiasi matahari, sedangkan efisiensi pompa dan sistem sebanding dengan radiasi matahari. Hasil analisis ekonomi didapatkan bahwa harga energi listrik yang dihasilkan dari SPATS relatif murah dan biaya air untuk setiap m<sup>3</sup> memiliki perbandingan terbalik dengan debit air yang dihasilkan. Dengan demikian SPATS ini dapat dikembangkan pada daerah yang mempunyai potensi energi matahari, baik untuk kepentingan pertanian, peternakan atau bahkan untuk penyediaan air bersih. Selain karena kinerjanya yang cukup baik, SPATS ini ditunjang dengan harga air yang dihasilkan sangat murah.

### Saran

Penelitian ini masih bersifat/berskala laboratorium sehingga perlu dikembangkan ke sistem yang lebih besar lagi dengan pengukuran yang lebih detail dan *real time* menggunakan alat ukur yang memiliki sistem *data logger* sehingga semua besaran yang diukur dapat direkam secara langsung. Dengan menggunakan metode ini akan dihasilkan kajian yang lebih komprehensif.

### Ucapan Terima Kasih

Pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada Achmad Afandi dan Zulkarnain Agung yang telah membantu dalam proses pengambilan dan pencatatan data yang dibutuhkan.

## VI. DAFTAR PUSTAKA

[1] V. C. Sontake and V. R. Kalamkar, "Solar photovoltaic water pumping system - A comprehensive review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 59, no. Supplement C, pp. 1038–1067, 2016.

[2] G. Li, Y. Jin, M. W. Akram, and X. Chen, "Research and current status of the solar photovoltaic water pumping system – A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 79, no. Supplement C, pp. 440–458, 2017.

[3] R. Foster, M. Ghassemi, and A. Cota, "Solar Energy," in *Renewable Energy and The*

*Environment*, M. Ghassemi, Ed. CRC Press, 2009.

[4] M. Abu-Aligah, "Design of Photovoltaic Water Pumping System and Compare it with Diesel Powered Pump.," *Jordan J. Mech. Ind. Eng.*, vol. 5, no. 3, 2011.

[5] A. A. Ghoneim, "Design optimization of photovoltaic powered water pumping systems," *Energy Convers. Manag.*, vol. 47, no. 11–12, pp. 1449–1463, 2006.

[6] E. Kumolosari, A. A. Setiawan, and K. Suryopratomo, "Evaluasi Komparatif Sistem Suplai Air Bersih Tenaga Listrik dengan Tenaga Surya di Daerah Terpencil (Studi Kasus di Desa Mangunan, Kecamatan Dlingo, Kabupaten Bantul)," *Teknofisika*, vol. 2, no. 3, pp. 61–68.

[7] M. Benganem, K. O. Daffallah, S. N. Alamri, and A. A. Joraid, "Effect of pumping head on solar water pumping system," *Energy Convers. Manag.*, vol. 77, 2014.

[8] A. N. Parawangsa and S. Himran, "Analisis Efisiensi Terbaik Pada Instalasi Panel Surya Dengan Unit Motor-Pompa DC," in *Seminar Nasional Rekayasa Material, Sistem manufaktur dan Energi*, 2012, p. III-7-III-11.

[9] Usman, F. Azis, and A. Afandi, "Pengujian Kinerja Sistem Pompa Air Photovoltaic," in *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2017*, 2017, pp. 1–6.

[10] B. D. Vick and R. N. Clark, "Determining the optimum solar water pumping system for domestic use, livestock watering or irrigation."

[11] R. Parajuli, G. R. Pokharel, and P. A. Østergaard, "A comparison of diesel, biodiesel and solar PV-based water pumping systems in the context of rural Nepal." *Int. J. Sustain. Energy*, vol. 33, no. 3, pp. 536–553, 2014.

[12] N. Chandrasekaran and K. Thyagarajah, "Comparative study of photovoltaic pumping system using a DC motor and PMDC motor," in *Advances in Engineering, Science and Management (ICAESM), 2012 International Conference on*, 2012, pp. 129–132.

[13] M. Kolhe, J. C. Joshi, and D. P. Kothari, "Performance analysis of a directly coupled photovoltaic water-pumping system," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 19, no. 3, pp. 613–618, 2004.

[14] A. Boutelhig, S. Hanini, and A. Hadj Arab, "Performances' investigation of different photovoltaic water pumping system configurations for proper matching the optimal location, in desert area," *Energy Convers. Manag.*, vol. 151, no. Supplement C, pp. 439–456, 2017.

[15] Usman, F. Azis, and A. Afandi, "Pengujian Kinerja Sistem Pompa Air Photovoltaic," in *Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI) 2017*, 2017, pp. 1–6.

[16] C. E. C. Nogueira, J. Bedin, R. K. Niedzialkoski, S. N. M. de Souza, and J. C. M. das Neves, "Performance of monocrystalline and polycrystalline solar panels in a water pumping system in Brazil," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol.

- 51, pp. 1610–1616, Nov. 2015.
- [17] S. S. Chandel, M. Nagaraju Naik, and R. Chandel, “Review of solar photovoltaic water pumping system technology for irrigation and community drinking water supplies,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 49, no. Supplement C, pp. 1084–1099, 2015.
- [18] D. H. Muhsen, T. Khatib, and F. Nagi, “A review of photovoltaic water pumping system designing methods, control strategies and field performance,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 68, no. Part 1, pp. 70–86, 2017.
- [19] S. Hamdi, “Mengenai Lama Penyinaran Matahari Sebagai Salah Satu Parameter Klimatologi,” *Ber. Dirgant.*, vol. 15, no. 1, 2014.
- [20] TRADING ECONOMICS, “Economic Indicators,” *TRADING ECONOMICS*, 2018. [Online]. Available: <https://tradingeconomics.com/>. [Accessed: 02-Feb-2018].
- [21] D. J. Friedman, R. L. Mitchell, B. M. Keyes, W. I. Bower, R. King, and J. A. Mazer, “PV Manufacturing R&D Project Status and Accomplishments Under ‘in-Line Diagnostics and Intelligent Processing’ and ‘Yield, Durability and Reliability,’” in *2006 IEEE 4th World Conference on Photovoltaic Energy Conference*, 2006, vol. 2, pp. 2502–2505.
- [22] Administrator, “Matahari Untuk PLTS di Indonesia,” *Kementrian ESDM*, 2012. [Online]. Available: <http://www3.esdm.go.id/berita/56-artikel/5797-matahari-untuk-plts-di-indonesia-.html?tmpl=component&print=1&page=>. [Accessed: 24-Jun-2016].