

PERANCANGAN SOLAR IRRIGATION PUMP DENGAN SISTEM SOLAR TRACKER DI SUBAK MALIKODA

A.A. G. Guna Windradharama W.¹, I Nyoman Satya Kumara², I Nyoman Setiawan²

¹Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

²Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana

Jl. Raya Kampus Unud Jimbaran, Kec. Kuta Sel, Kabupaten Badung, Bali 80361

Email: gunawindra28@gmail.com

ABSTRAK

Air merupakan kebutuhan pokok bagi suatu lahan pertanian dan bisa diperoleh dari berbagai sumber tergantung pada lokasi geografisnya. Kelompok Tani Desa Keliki di Subak Malikoda menghadapi tantangan kekeringan yang mengakibatkan kurangnya pasokan air saat musim kemarau. Dalam penelitian ini, *Solar Irrigation Pump* (SIP) dirancang dengan sistem *solar tracker* untuk memompa air bawah tanah dengan tujuan meningkatkan pasokan air irigasi bagi Subak Malikoda selama musim kemarau. Rancangan sistem pompa irigasi tenaga surya terdiri dari pompa *submersible* 18,5 kW yang dicatu dengan PLTS 23,1 kWp dengan menggunakan 60 modul surya monokristalin dilengkapi dengan sistem *solar tracker* dan menggunakan inverter 30kW. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan menunjukkan hasil PVSyst SIP tanpa *solar tracker* pompa dapat beroperasi selama 6,067 jam dengan debit air rata-rata sebesar 274,9 m³/hari, berdasarkan *global effective irradiation* yang diterima sebanyak 1765,1 kWh/m² dalam satu tahun. Namun, dengan penggunaan sistem *solar tracker* pompa dapat beroperasi selama 6,933 jam dengan debit air sebesar 305,2 m³/hari dan *global effective irradiation* sebanyak 1963,8 kWh/m² dalam satu tahun. Hasil analisis tersebut menyimpulkan bahwa SIP dengan sistem *solar tracker* mampu beroperasi optimal serta memenuhi kebutuhan debit air Subak Malikoda. Hal ini menjadikan sistem *solar tracker* sebagai solusi efektif dalam meningkatkan pasokan air Subak Malikoda selama musim kemarau.

Kata kunci : Energi Terbarukan, Pelacak Surya, Pompa Irigasi Tenaga Surya, PVSyst

ABSTRACT

Water is a fundamental necessity for agricultural land and can be obtained from various sources depending on its geographical location. The Keliki Village Farmers Group in Subak Malikoda faces the challenge of drought, leading to a shortage of water supply during the dry season. In this research, the Solar Irrigation Pump (SIP) is designed with a solar tracker system to pump groundwater with the aim of enhancing irrigation water supply for Subak Malikoda during the dry season. The design of the solar-powered irrigation pump system consists of an 18.5 kW submersible pump coupled with a 23.1 kWp PV system using 60 monocrystalline solar modules equipped with a solar tracker and utilizing a 30 kW inverter. Based on the conducted analysis, the PVSyst results show that the SIP without a solar tracker can operate for 6,067 hours with an average water discharge of 274.9 m³/day, based on the received global effective irradiation of 1765.1 kWh/m² in one year. However, with the use of the solar tracker system, the pump can operate for 6,933 hours with a water discharge of 305.2 m³/day and global effective irradiation of 1963.8 kWh/m² in one year. The results of the analysis conclude that the SIP with a solar tracker system is capable of operating optimally and meeting the water discharge requirements of Subak Malikoda. This positions the solar tracker system as an effective solution in enhancing the water supply for Subak Malikoda during the dry season.

Key Words : Renewable Energy, Solar Tracker, Solar Irrigation Pump, PVSyst

1. PENDAHULUAN

Air merupakan kebutuhan pokok bagi suatu lahan pertanian. Desa Keliki yang

terletak di Kabupaten Gianyar, Bali mengalami kekurangan air untuk mengairi sawah [1]. Subak Malikoda yang terletak di

Desa Keliki yang merupakan dataran rendah dengan iklim atau suhu udara yang sejuk antara 26°C hingga 28°C [2]. Subak Malikoda menggunakan sistem terasering yang memiliki kendala sering terjadi kekeringan setiap musim kemarau yang terjadi pada bulan Maret hingga Juni.

Permasalahan kekurangan pasokan air yang dihadapi oleh petani di Subak Malikoda dapat diatasi dengan pengembangan sumber air bawah tanah. Air bawah tanah (ABT) terbukti memberikan manfaat ekonomi dan sosial, seperti untuk penyediaan air minum dan dengan menggunakan pompa *submersible* untuk irigasi pertanian dapat mendukung pertumbuhan tanaman hingga mendapatkan hasil panen.

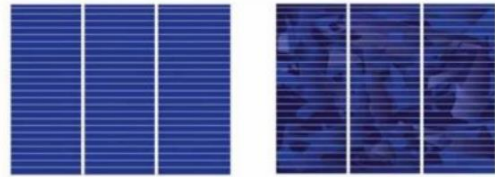
Pompa *submersible* yang berfungsi untuk mengambil air bawah tanah yang akan ditenagai oleh salah satu energi terbarukan yaitu energi surya dengan bantuan *solar tracker* yang berfungsi meningkatkan efisiensi penyerapan sinar matahari oleh modul surya. Modul surya yang menggunakan *solar tracker* dapat bergerak secara otomatis mengikuti pergerakan matahari memastikan modul surya bekerja secara optimal. Penggunaan pompa irigasi tenaga surya juga memiliki potensi untuk mempercepat pencapaian target Rencana Umum Energi Daerah Bali (RUED) tahun 2050, yang mengharapkan kontribusi energi terbarukan sebesar 20,1% [3]. Selain itu, dengan pompa irigasi tenaga surya dapat mendukung Nangun Sat Kerthi Loka Bali, yang didukung oleh Peraturan Gubernur Bali Nomor 45 Tahun 2019 tentang penerapan energi bersih di Provinsi Bali [4].

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Modul Surya

Modul surya terdiri dari beberapa bagian *solar cell* yang terhubung secara seri dan paralel. Tiap sel umumnya menghasilkan tegangan keluaran sebesar 0,5 Volt sampai 0,6 Volt. Modul surya merubah energi matahari menjadi energi listrik dengan keluaran arus listrik searah / DC (*Direct Current*) [5]. Secara umum

terdapat dua jenis modul surya yang paling sering digunakan di Indonesia yaitu *monocrystalline* dan *polycrystalline*.



Gambar 1. *Monocrystalline* (kiri) dan *Polycrystalline* (kanan) [6].

Gambar 1 menunjukkan modul surya *monocrystalline* dibuat dari satu kristal silikon tunggal yang memberikan efisiensi tinggi dalam mengubah sinar matahari menjadi listrik sedangkan, modul surya *polycrystalline* terbuat dari banyak kristal yang terbentuk bersama, serta memiliki efisiensi yang lebih kecil dibandingkan *monocrystalline*, tapi modul ini lebih terjangkau.

2.2 Orientasi dan Inklinasi Modul Surya

Modul surya akan bekerja secara optimal jika mendapatkan sinar matahari dengan arah tegak lurus terhadap permukaan modul surya. Jika sudut modul surya semakin miring maka sebagian besar sinar matahari akan memantul dari permukaan sel surya dan hanya bisa sedikit menyerap foton [7]. Untuk menentukan orientasi dan kemiringan modul surya yang optimal dapat menggunakan persamaan 1 dan 2.

$$\alpha = 90^\circ - \text{lat} - \delta; \alpha = 90 + \text{lat} - \delta \dots \dots \dots (1)$$

$$\beta = 90^\circ - \alpha \dots \dots \dots (2)$$

Keterangan :

Lat = Garis lintang lokasi terpasang modul surya.

δ = Sudut deklinasi matahari (23,45°).

α = Sudut penyimpangan jatuhnya sinar matahari terhadap permukaan bumi.

β = Kemiringan dari modul surya.

2.3 Definisi dan Tipologi Lahan Sawah

Sawah adalah lahan pertanian yang berpetak-petak yang dibatasi oleh pematangan (galengan, saluran untuk menahan, dan menyalurkan air biasanya

ditanami oleh padi) [8]. Secara garis besar tanaman padi membutuhkan air sebanyak 1,5 liter/detik/ha untuk mengolah tanah, persemaian, masa pertumbuhan, dan masa berbunga [9]. Untuk mengetahui rata-rata kebutuhan air dari sawah dapat menggunakan persamaan 3 [10]:
 Kebutuhan air = 1,5 liter/detik/ha x Luas Lahan(ha).....(3)

Keterangan :
 Luas lahan = Luas dari sawah (hektar).

2.4 Pompa Air

Pompa air dibagi menjadi 2 jenis yaitu, pompa turbin vertikal dan pompa benam. Pompa turbin vertikal memiliki motor penggerak yang berada di bagian atas sumur. Pompa dihubungkan satu sama lain oleh pipa tegak yang sekaligus melindungi poros pompa dan menjadi pipa tekan fluida yang keluar. Sedangkan, pompa benam atau biasa disebut *submersible pump* merupakan pompa yang melekat ke motor listrik dan beroperasi terendam dalam air. Motor listrik dipasang satu poros dengan *impeller*. Pompa *submersible* memiliki prinsip kerja mengubah energi kinetis (kecepatan) cairan menjadi energi potensial (dinamis) melalui suatu *impeller* yang berputar dalam *casing*.

2.5 Perancangan Sistem PLTS

Langkah-langkah untuk perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya [11]:

1. Mencari total beban per hari menggunakan persamaan 4.

$$\text{Beban (Wh)} = \text{Daya} \times \text{Lama} \dots\dots\dots(4)$$

2. Menentukan kapasitas modul surya (Wp) menggunakan persamaan 5.

$$\text{Kapasitas Modul Surya} = \frac{\text{Total beban harian}}{\text{Insolasi surya harian}} \dots\dots\dots(5)$$

3. Menentukan jumlah modul surya menggunakan persamaan 6.

$$\text{Jumlah Modul Surya} = \frac{\text{Daya total PLTS}}{\text{Daya modul surya}} \dots\dots(6)$$

4. Mencari energi yang dapat dibangkitkan PLTS menggunakan persamaan 7.

$$EI = PV_{\text{Area}} \times G_{\text{av}} \times TCF \times \eta_{\text{PV}} \times \eta_{\text{Invt}} \times \eta_{\text{out}}(7)$$

Keterangan :

PV_{Area} = Luas permukaan panel surya (m^2).

G_{av} = Intensitas matahari harian ($kW/m^2/hari$).

TCF = *Temperature Coefficient Factor* (%).

η_{PV} = Efisiensi modul surya (%).

η_{Invt} = Efisiensi inverter (%).

η_{Out} = Efisiensi peralatan lain dan kabel (%).

5. Menentukan total luas panel surya menggunakan persamaan 8.

$$\text{Total luas panel surya} = \text{luas 1 unit modul surya} \times \text{jumlah modul surya} \dots\dots\dots(8)$$

6. Menentukan konfigurasi rangkaian seri dan paralel modul surya menggunakan persamaan 9, 10 dan 11.

- a. Rangkaian Seri Minimal

$$\text{Rangkaian Minimal Modul Seri} = \frac{V_{\text{min inverter}}}{V_{\text{oc modul}}} \dots\dots\dots(9)$$

- b. Rangkaian Seri Maksimal

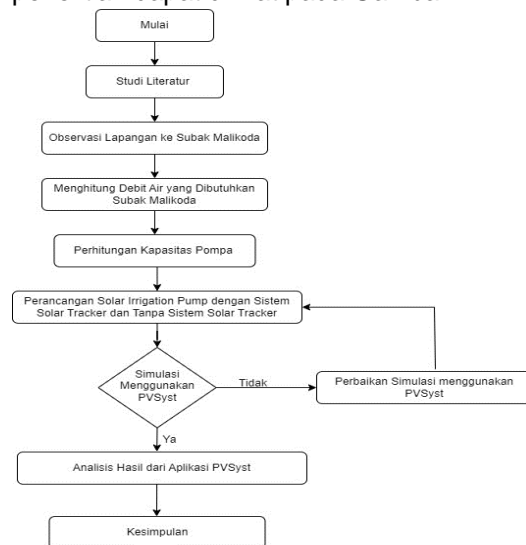
$$\text{Rangkaian Maksimal Modul Seri} = \frac{V_{\text{max inverter}}}{V_{\text{mpp modul}}} \dots\dots\dots(10)$$

- c. Rangkaian Paralel

$$\text{Rangkaian Paralel} = \frac{I_{\text{max inverter}}}{I_{\text{mpp modul}}} \dots\dots\dots(11)$$

3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Subak Malikoda, Desa Keliki, Kecamatan Tegallalang, Kabupaten Gianyar, Provinsi Bali. Waktu pelaksanaan dimulai dari bulan Januari sampai Februari 2023. Alur penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 :



Gambar 2. Diagram Alur Penelitian

Berikut penjelasan pada Gambar 2 :

Langkah 1. Studi Literatur

Pada Penelitian ini diawali dengan studi literatur yang didapatkan dari buku, jurnal ilmiah, artikel, tesis, disertasi dan sumber informasi lainnya yang berkaitan dengan topik penelitian.

Langkah 2. Observasi Lapangan

Observasi lapangan Subak Malikoda berfungsi untuk pengumpulan data yang dibutuhkan seperti luas sawah, faktor yang menyebabkan kekeringan, letak geografis, yang berfungsi untuk agar bisa menentukan kebutuhan debit air saat musim kemarau.

Langkah 3. Menghitung Debit Air

Menghitung debit air di Subak Malikoda menyesuaikan dengan luas lahan yang mengalami kekeringan dilanjutkan *peak sun hours* yaitu sebesar 5 jam.

Langkah 4. Perhitungan Kapasitas Pompa

Kapasitas pompa ditentukan berdasarkan debit air yang dibutuhkan per jam serta, jenis sumur produksi yang akan dibuat agar mendapatkan spesifikasi pompa yang optimal.

Langkah 5. Perancangan *Solar Irrigation Pump* dengan *Solar Tracker* dan tanpa *Solar Tracker*

Dimulai dari menentukan kapasitas PLTS, jumlah modul surya, luas lahan yang diperlukan, orientasi dan kemiringan modul surya, inverter, konfigurasi seri-paralel modul surya, dan *layout* dari *solar irrigation pump*

Langkah 6. Simulasi Menggunakan PVSyst

Aplikasi PVSyst berfungsi untuk membandingkan antara *solar irrigation pump* dengan *solar tracker* dan *solar irrigation pump* tanpa *solar tracker* dan melakukan perbaikan jika terjadi kesalahan. Lalu di aplikasi PVSyst akan mendapatkan hasil *reference incident energy in collector plane, normalized production and loss factor, performance ratio, pump running duration, output solar irrigation pump.*

Langkah 7. Analisis Hasil dari Aplikasi PVSyst

Dari hasil simulasi PVSyst yang telah diperoleh akan dianalisis terlebih dahulu sekaligus membandingkan hasil

solar irrigation pump dengan *solar tracker* dan *solar irrigation pump* tanpa *solar tracker*.

Langkah 8. Kesimpulan

Penarikan kesimpulan berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Kebutuhan Air Subak Malikoda

Air irigasi Subak Malikoda digunakan untuk mengolah tanah, persemaian, masa pertumbuhan, serta masa berbunga untuk tanaman padi rata-rata membutuhkan air sebanyak 1,5 l/dt [12], Oleh karena itu kebutuhan debit air di saat musim kemarau : Rata-rata kebutuhan air = 1,5 l/dt x Luas Lahan (ha)

$$\begin{aligned} &= 1,5 \frac{l}{dt} \times 2,85 \text{ ha} \\ &= 4,275 \frac{l}{dt} \text{ atau } 0,00428 \frac{m^3}{dt} \\ &= 369,36 \frac{m^3}{\text{hari}} \end{aligned}$$

Dengan *Peak Sun Hours* selama 5,06 jam :

$$Q = \frac{\text{Kebutuhan Air}}{PSH}$$

$$Q = \frac{369,36}{5}$$

$$Q = 73,872 \frac{m^3}{\text{jam}}$$

Dengan menggunakan pola pengairan basah kering dapat menghemat air irigasi pertanian sebesar 20% sampai 30% [13] [14], oleh karena itu :

Kebutuhan Air Irigasi Berselang =

Kebutuhan Air Harian – 20%

$$= 369,36 \text{ m}^3 - (369,36 \text{ m}^3 \times 20\%)$$

$$= 369,36 \text{ m}^3 - 73,872 \text{ m}^3$$

$$= 295,488 \frac{m^3}{\text{hari}}$$



Gambar 3. Batas Wilayah Subak Malikoda

Pompa yang digunakan adalah pompa *submersible* Grundfos SP95-4 dengan spesifikasi seperti tabel 1 [15].

Tabel 1. Spesifikasi Grundfos SP95-4

Model	SP95-4
Motor Type	MS6000
Power required by pump (kW)	18,5
Rated voltage (v)	3 x 380-400-415
Rated flow (m ³ /h)	95
Rated head (m)	48
Mains frequency (Hz)	50
Start method	Star/Delta
Net weight (kg)	95,7 kg
Minimum Borehole diameter	196 mm

4.2 Perencanaan Solar Irrigation Pump

Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan modul surya yang digunakan. Penelitian ini menggunakan modul surya monokristaline-silikon karena memiliki efisiensi yang baik 15-20% [16] selanjutnya losses sebesar 24,7% [17] [18]. Langkah-langkah perencanaan PLTS [19] :

1. Menghitung Kapasitas PLTS
 = Daya pompa + rugi-rugi sistem PLTS
 = 18,5 kW + (18,5 kW x 24,7%)
 = 23,1 kW
2. Jumlah Modul Surya

$$= \frac{\text{Daya total PLTS}}{\text{Daya Modul Surya}}$$

$$= \frac{23.100\text{Wp}}{385\text{Wp}}$$
 = 60 Unit
3. Total Luas Modul Surya
 = (p x l) x total unit modul surya
 = (1.765 mm x 1.048 mm) x 60 unit
 = 111 m²
4. Menentukan Orientasi dan Kemiringan Modul Surya tanpa Solar Tracker

$$\alpha = 90^\circ + \text{lat} - \delta$$

$$= 90^\circ + 8,47^\circ - 23,45^\circ$$

$$= 75,05^\circ$$

$$(\beta) = 90^\circ - \alpha$$

$$= 90^\circ - 75,05^\circ$$

$$= 14,98^\circ$$

Dan untuk sistem solar tracker kemiringan modul surya dimulai 45°-135° dengan azimuth menghadap ke utara karena Bali berada di selatan garis khatulistiwa.

5. Inverter

Disesuaikan dengan arus pada pompa Grundfos SP95-4 yaitu sebesar 28,1 A dan diketahui datasheet pompa bahwa starting current meningkat sebanyak 5,1 x dari arus bintang maka arus starting nya menjadi 143,31 A. Dengan menggunakan inverter yang menggunakan Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM) inverter mampu menekan arus mula sebesar 59,1% [20]. Arus starting menjadi :

$$143,31 \text{ A} - (143,31 \text{ A} \times 59,1\%) = 58,6 \text{ A}$$

Didapatkan INVT GD100-30G-4-PV yang dapat memenuhi yaitu tegangan 3 fasa sebesar 380-440 V, frekuensi 50 Hz / 60 Hz, rated input current 70 A, dan arus output 60 A dengan kapasitas maksimal 30 kW.

6. Konfigurasi Seri Paralel Modul Surya

1. Rangkaian Minimal Modul Seri

$$= \frac{V_{\text{min Inverter}}}{V_{\text{oc Modul}}}$$

$$= \frac{250}{41,4}$$

$$= 6,03 = 6 \text{ Unit}$$

2. Rangkaian Seri Maksimal

$$= \frac{V_{\text{max inverter}}}{V_{\text{mpp modul}}}$$

$$= \frac{800}{34,7}$$

$$= 23,05 = 23 \text{ Unit}$$

3. Rangkaian Paralel

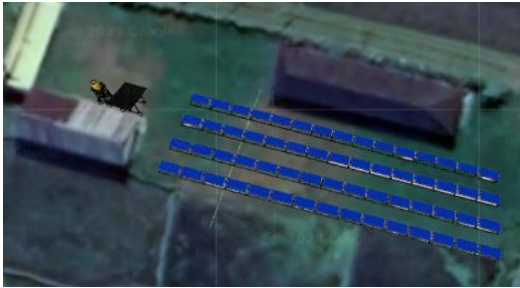
$$= \frac{I_{\text{max Inverter}}}{I_{\text{max Modul}}}$$

$$= \frac{70}{11,1}$$

$$= 6,3 = 6 \text{ Unit}$$

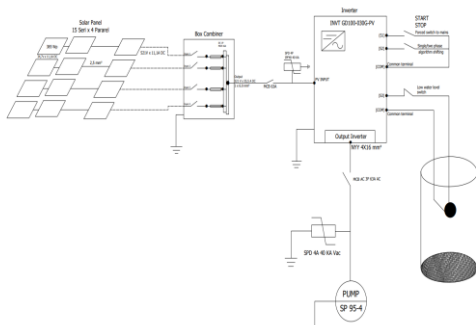
7. Layout Solar Irrigation Pump 23,1 kWp

Luas lahan berdasarkan citra satelit adalah 12,8652 are. Dibutuhkan lahan seluas 111 m² oleh karena itu menjadi 35 m dengan lebar 4 m didapatkan total 140 m².



Gambar 4. Layout Pemasangan Panel Surya di Subak Malikoda

Gambar 5 merupakan *Single Line Diagram Solar Irrigation Pump* 23,1 kWp berdasarkan sub bab 4.2 *perencanaan solar irrigation pump*.

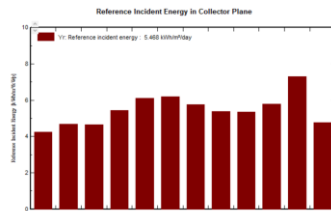


Gambar 5. Single Line Diagram Solar Irrigation Pump 23.1 kWp

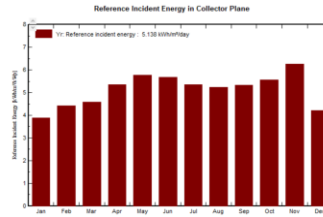
4.3 Hasil Simulasi Solar Irrigation Pump dengan Software PVSyst

Berdasarkan data yang telah didapatkan variabel-variabel akan dimasukkan di aplikasi PVSyst.

4.3.1 Reference Incident Energy in Collector Plane (RIEICP)



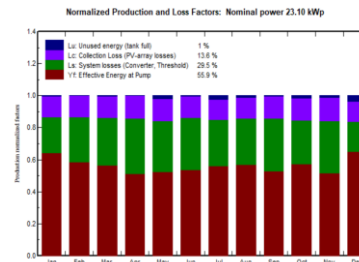
Gambar 6. Grafik RIEICP Solar Irrigation Pump Menggunakan Solar Tracker



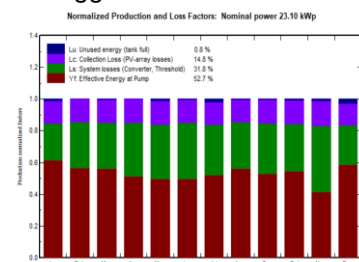
Gambar 7. Grafik RIEICP Solar Irrigation Pump Tanpa Solar Tracker

Hasil yang didapatkan *reference incident energy in collector plane* dengan sistem *solar tracker* lebih besar didapatkan 5,468 kWh/m²/hari hal ini dipengaruhi oleh lokasi geografis, waktu, sudut kemiringan, dan orientasi panel surya, keberadaan awan, debu, dan polusi udara. Sistem tanpa *solar tracker* memiliki nilai lebih rendah karena memiliki kemiringan yang tetap di 15°.

4.3.2 Normalized Production and Loss Factor : Nominal Power 23,1 kWp



Gambar 8. Grafik Normalized Production and Loss Factor Solar Irrigation Pump Menggunakan Solar Tracker

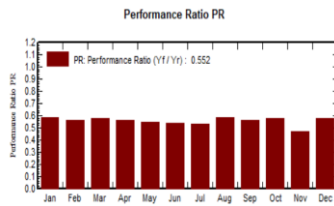


Gambar 9. Grafik Normalized Production and Loss Factor Solar Irrigation Pump Tanpa Solar Tracker

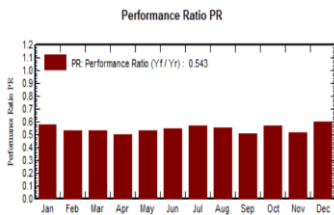
Normalized Production Factor digunakan untuk menentukan energi yang harus dihasilkan oleh sistem pompa tenaga surya dalam kondisi operasional yang normal. Pada sistem *solar tracker* didapatkan 1% *unsued energy* yang artinya pompa menghasilkan 1% melebihi kapasitas

kebutuhan air dengan periode 1 tahun, dengan *collection loss* (PV-array losses) sebesar 13,6% serta *system losses* (converter, threshold) sebesar 29,5% lebih kecil dibandingkan sistem tanpa solar tracker. *Effective energy at pump* dengan sistem solar tracker juga lebih besar yaitu 55,9% hal ini dikarenakan dengan sistem solar tracker mendapatkan sinar matahari yang lebih optimal dibandingkan sistem tanpa solar tracker.

4.3.3 Performance Ratio



Gambar 10. Grafik PR Solar Irrigation Pump Menggunakan Solar Tracker



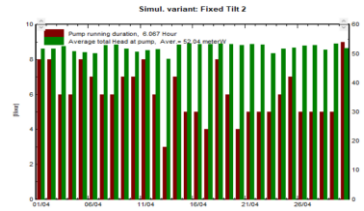
Gambar 11. Grafik PR Solar Irrigation Pump Tanpa Solar Tracker

Performance ratio (PR) dengan sistem solar tracker didapatkan 0,552 sedangkan tanpa solar tracker 0,543. Performance ratio menunjukkan efisiensi dalam mengubah energi listrik yang digunakan untuk memompa air dalam kerja solar irrigation pump.

4.3.4 Pump Running Duration & Average Total Head at Pump



Gambar 12. Grafik Pump Running Duration & Average Total Head at Pump Solar Irrigation Pump Menggunakan Solar Tracker



Gambar 13. Grafik Pump Running Duration & Average Total Head at Pump Solar Irrigation Pump Tanpa Solar Tracker

Pump running duration adalah waktu dimana pompa bekerja selama periode waktu tertentu pada Gambar 12 dan Gambar 13. Didapatkan pompa bekerja lebih lama dengan menggunakan sistem solar tracker yaitu selama 6,93 jam dengan average total head at pump 51,83 m sedangkan tanpa solar tracker pompa bekerja selama 6,06 jam dengan average total head at pump 52,04 m hasil ini dipengaruhi dengan ketersediaan energi yang didapatkan oleh modul surya.

4.3.5 Output Solar Irrigation Pump

Tabel 2. Output Solar Irrigation Pump Menggunakan Solar Tracker

Solar Tracker Customised table							
	GlobalEff kWh/m ²	E_PmpOp kWh	Pump_ON Hour	P_Effic %	WPumped m ³ /day	W_Used m ³ /day	W_Miss m ³ /day
January	128.9	1902	210	6391	270.7	269.4	99.64
February	128.5	1791	207	6218	278.9	285.0	84.02
March	141.1	1941	216	6420	281.1	281.1	87.90
April	160.1	2010	208	6700	311.6	305.2	64.20
May	186.6	2178	209	6959	336.6	335.7	33.25
June	183.8	2158	204	6970	344.3	345.8	23.21
July	176.2	2181	215	6790	326.1	326.7	42.32
August	184.2	2171	205	6965	336.8	333.4	35.58
September	157.6	1973	200	6749	306.8	315.3	53.73
October	175.9	2283	224	6872	348.9	345.6	33.37
November	215.0	2111	192	7124	343.9	342.5	26.52
December	145.2	2038	224	6457	296.1	301.0	68.01
Year	1963.0	24687	2514	6736	315.2	315.7	53.36

Tabel 3. Output Solar Irrigation Pump Tanpa Solar Tracker

Fixed Tilt 2 Customised table							
	GlobalEff kWh/m ²	E_PmpOp kWh	Pump_ON Hour	P_Effic %	WPumped m ³ /day	W_Used m ³ /day	W_Miss m ³ /day
January	114.0	1609	184	5862	213.9	211.4	157.6
February	117.5	1527	170	6003	229.9	239.3	129.7
March	135.4	1737	195	5970	234.9	234.9	134.1
April	163.3	1862	181	6362	274.9	271.0	98.3
May	179.0	2192	203	6722	326.9	325.3	43.7
June	162.5	2138	200	6722	329.8	334.6	34.4
July	158.8	2195	209	6662	325.5	327.2	41.8
August	155.3	2087	199	6678	310.9	305.1	83.9
September	152.6	1964	190	6260	274.1	282.4	86.6
October	163.6	2258	217	6595	331.3	330.3	36.7
November	178.3	2243	212	6647	341.7	334.6	34.4
December	123.4	1814	204	5931	243.4	251.4	117.6
Year	1766.1	23526	2375	6419	287.0	287.5	81.5

Global Effective Irradiation (GEI) adalah ukuran dari radiasi matahari efektif yang diterima oleh modul surya dengan kemiringan dan orientasi tertentu. GEI dengan sistem solar tracker dapat dilihat di tabel 2 pada bulan April didapatkan 160,1 kWh/m² dan sistem tanpa solar tracker dapat dilihat di tabel 3 sebesar 153,3

kWh/m². Sistem *solar tracker* menggunakan aktuator linear sebagai penggerak modul surya yang memiliki tegangan 12 V serta arus sebesar 4,6 A daya yang dibutuhkan adalah 55,2 W, dengan menggunakan 15 *solar tracker* didapatkan daya sebesar 828 Watt. Sehingga GEI dikurangi dengan beban daya *solar tracker* masih lebih besar dibandingkan dengan sistem tanpa *solar tracker*. *Pump operating energy* pada sistem *solar tracker* pada tabel 2 bekerja lebih lama 208 jam dengan total energi dari pompa 2010 kWh dan sistem tanpa *solar tracker* pada tabel 3 bekerja selama 191 jam dengan energi dari pompa 1862 kWh. Tabel 2 menunjukkan efisiensi dengan sistem *solar tracker* juga lebih besar yaitu 67% lalu, sistem tanpa *solar tracker* tabel 3 63,63%. Dengan debit air yang dihasilkan tanpa *solar tracker* di bulan April sebesar 274,9 m³/hari dan dengan sistem *solar tracker* 311,6 m³/hari.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan analisa perhitungan serta dari hasil simulasi menggunakan PVSyst sistem *solar irrigation pump* dapat disimpulkan :

1. Rancangan *solar irrigation pump* sebagai solusi penyelesaian masalah kekeringan di Subak Malikoda pada musim kemarau menggunakan pompa *submersible* Grundfos SP95-4 18,5 kW dengan kapasitas PLTS sebesar 23,1 kWp menggunakan 60 modul surya berjenis monokristaline-silikon dengan inverter berkapasitas 30 kW ber merk INVT GD100-030G-4-PV.
2. *Solar irrigation pump* dilengkapi *solar tracker single axis* bekerja dari kemiringan 45 derajat sampai 135 derajat menghasilkan debit air sebesar 311,6 m³/hari dan pompa bekerja selama 6,933 jam. Dibandingkan dengan *solar irrigation pump* tanpa *solar tracker* yang memiliki kemiringan tetap 15 derajat dan menghasilkan debit air 274,9 m³/hari lalu, pompa bekerja selama 6,067 jam. Sehingga sistem *solar tracker* dapat

memenuhi kebutuhan debit air Subak Malikoda sebesar 295,488 m³/hari.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Desa Keliki, Tegallalang, Gianyar. (2022). Retrieved July 5, 2023, from <https://keliki.desa.id/artikel/2022/11/25/sejarah-desa-keliki>
- [2] Sejarah Desa Keliki. (2022). Retrived July 5, 2023, from https://p2k.stekom.ac.id/ensiklopedia/Keliki_Tegallalang_Gianyar.
- [3] IESR. (2021). Besarnya Potensi Teknis dan Potensi Pasar PLTS, Modal Bali Untuk Mewujudkan Provinsi Energi Bersih. Retrived July 6, 2023 from <https://iesr.or.id/besarnya-potensi-teknis-dan-potensi-pasar-plts-modal-bali-untuk-wujudkan-provinsi-energi-bersih>.
- [4] Gubernur Bali. (2019). Peraturan Gubernur Bali Nomor 45 Tahun 2019 Tentang Bali Energi Bersih.
- [5] Thamrin, T., & Susanty, W. (2018). Implementasi Rumah Listrik Berbasis Solar Cell. Jurnal Sistem Informasi dan Telematika, Vol. 9 : No 2.
- [6] Renac, G. (2019). Buku Pegangan : Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya. Retrieved July 5, 2023, from energytransition.id : <http://energytransition.id/detail/5f291ad3850c2d58b440863d>.
- [7] Windarta, J., Wista Sinuraya, E., Zaenal Abidin, A., Era Setyawan, A. dan Angghika. (2019). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) Berbasis Homer Di SMA Negeri 6 Surakarta Sebagai Sekolah Hemat Energi Dan Ramah Lingkungan, Prosiding Seminar Nasional MIPA 2019 Universitas Tidar, pp. 21-36.
- [8] Litbang Pertanian, B. (2017). Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) Padi Sawah Irigasi, Kementerian Pertanian Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Edited by A. Suharna. Jakarta : Kementerian Pertanian Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- [9] Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Sumber Daya Air Direktorat Irigasi dan Rawa. (2018). Standar Perencanaan Irigasi.
- [10] Pusdiklat SDA dan Konstruksi. (2017). Modul Pengetahuan Umum Irigasi Pelatihan Operasi dan Pemeliharaan

- Irigasi Tingkat Juru. 3rd edn, Bandung : Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia
- [11] Wicaksana, M. R. Kumara, I., N., S., Giriantari, I., A., D. (2019). Studi Unjuk Kerja Pembangkit Listrik Tenaga Listrik (PLTS) 158 kWp Pada Kantor Gubernur Bali. *Jurnal Spektrum*, Vol 6. : No 3
- [12] Pusdiklat SDA dan Konstruksi. (2017). Modul Pengetahuan Umum Irigasi Pelatihan Operasi dan Pemeliharaan Irigasi Tingkat Juru. 3rd edn, Bandung : Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Badan Pengembangan Sumber Daya Manusia
- [13] Litbang Pertanian, B. (2017). Pengelolaan Tanaman Terpadu (PTT) Padi Sawah Irigasi, Kementrian Pertanian Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Edited by A. Suharna. Jakarta : Kementrian Pertanian Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- [14] Agus, S., Dwi Giriantari, I., A., Sukerayasa, I., W. (2020). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Surya Sebagai Penggerak Pompa Air Irigasi di Subak Babakan Yeh Kuning Kecamatan Jembrana. *Jurnal Spektrum* Vol. 6, No. 3.
- [15] Product Grundfos SP 95-4. (2023). Retrived July 10, 2023, from <https://product-selection.grundfos.com/products/sp-sp-g/sp/sp-95-4-19001904?tab=variant>
- [16] Hariyati, R., Qosim, M. N. dan Hasanah, A. W. (2019) Konsep Fotovoltaik Terintegrasi On Grid Dengan Gedung STT-PLN. *Energi dan Kelistrikan : Jurnal Ilmiah*, 11(1), pp. 17-26.
- [17] Woyte, A., Richter, M., Moser, D., and others. (2017). *Analytical Monitoring of Grid-Connected Photovoltaic System*. 13 Subtask, IEA PVPS. 13 Subtask. Brussels : IEA International Energy Agency. doi : 10.13140/2.1.1133.6481.
- [18] Woyte, A., Richter, M., Moser, D., Green, M., Mau, S., Beyer, H.G. dan Reich, N. (2017). *Analytical Monitoring of Grid-Connected Photovoltaic System*. 13 Subtask, IEA PVPS. 13 Subtask. Brussel : IEA International Energy Agency. Doi :10.13140/2.1.1133.6481.
- [19] Iman, O., S., Dwi Giriantari, I., A., Satya Kumara, I., N. Perancangan Sistem Pompa Irigasi Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) untuk Pertanian Subak Semaagung. *Jurnal Spektrum* Vol 6. No 3.
- [20] Nugroho, E. A. (2016). Implementasi Inverter Sebagai Pengendali Motor Induksi Tiga Fasa Dengan Metode Space Vector Pulse Width Modulation (SVPWM). *Simetris : Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer* 7(2), p. 597. Doi : 10.24176/simet.v7i2.772.