

# Experimental Study on the Performance of a Wind-Solar Hybrid Power Plant for Electric Motorcycle Charging Station Applications

Yoga Arob Wicaksono<sup>1\*</sup>, Ahmad Arbi Trihatmojo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Pemeliharaan Kendaraan Ringan, Akademi Komunitas Negeri Pacitan  
Jl Walanda Maramis No 4A, Pacitan, Indonesia

\*Corresponding author: [yoga.arob@aknpacitan.ac.id](mailto:yoga.arob@aknpacitan.ac.id)

## Abstract

The development of electric vehicle charging station infrastructure in Indonesia is still slow, resulting in difficulties for electric vehicle users due to limited driving range. On the other hand, Indonesia has a target of net zero emissions by 2050, while most of the energy sources for electric vehicle charging stations still rely on fossil fuels. To address this issue, innovative solutions such as electric vehicle charging stations powered by renewable energy are needed. Wind turbines and solar panels are technologies that can be utilized as energy sources. Power plants with a single energy source like solar panels have limitations in their energy production time. While wind turbines can operate 24 hours, they depend on wind speed. To overcome this problem, the solution is to implement a hybrid system by combining both wind and solar energy sources and converting them into electrical energy. This research aims to investigate the performance of a wind-solar hybrid power plant for electric vehicle charging station applications. The wind-solar hybrid power plant in this study is designed to provide electrical energy for one unit of an electric motorcycle with a battery capacity of 72 Volts 20 Ah. This research uses an experimental method in a real environment. The wind turbine used in this study is a cross-flow type, while the solar panel used is monocrystalline. To find the optimal point of the hybrid power plant system in converting energy, the influence of the number of turbine blades and the tilt angle of the solar panel on efficiency is investigated. The results show that a turbine with 6 blades can produce higher efficiency compared to turbines with 4 and 5 blades. Meanwhile, a tilt angle of 15° can produce higher efficiency compared to tilt angles of 0° and 30°.

**Keywords:** charging stations, hybrid power plants, wind-solar energy, electric motorcycles

## Abstrak

Perkembangan jumlah infrastruktur stasiun pengisian daya kendaraan listrik di Indonesia masih lambat. Sehingga mengakibatkan kesulitan bagi pengguna kendaraan listrik karena jarak tempuh menjadi terbatas. Disisi lain, Indonesia memiliki target net zero emission di tahun 2050, sedangkan selama ini mayoritas sumber energi stasiun pengisian kendaraan listrik masih memanfaatkan energi fosil. Untuk mengatasi masalah tersebut diperlukan solusi inovatif seperti stasiun pengisian daya kendaraan listrik dengan energi terbarukan. Turbin angin dan panel surya adalah teknologi yang bisa dimanfaatkan sebagai sumber energi. Pembangkit listrik dengan sumber daya tunggal seperti panel surya memiliki keterbatasan dalam waktu produksi energi listrik. Sedangkan turbin angin mampu beroperasi 24 jam, namun bergantung pada kecepatan angin. Untuk mengatasi masalah tersebut, solusinya adalah menerapkan sistem *hybrid* dengan menggabungkan dua sumber energi angin dan surya dan dikonversi menjadi energi listrik. Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki kinerja pembangkit energi listrik *hybrid* angin-surya untuk aplikasi stasiun pengisian daya kendaraan listrik. Pembangkit listrik *hybrid* angin-surya dalam penelitian ini dirancang mampu memberikan energi listrik untuk satu unit sepeda motor listrik dengan kapasitas baterai 72 Volt 20 Ah. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen di lingkungan nyata. Turbin angin yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe *cross-flow*. Sedangkan panel surya yang digunakan adalah tipe *monocrystalline*. Untuk mencari titik optimal sistem pembangkit hybrid dalam mengonversi energi, maka diselidiki pengaruh jumlah sudu turbin dan sudut kemiringan panel surya terhadap efisiensi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa, jumlah sudu turbin 6 mampu menghasilkan efisiensi lebih tinggi dibanding jumlah sudu 4 dan 5. Sedangkan sudut kemiringan 15° mampu menghasilkan efisiensi lebih tinggi dibanding sudut kemiringan 0° dan 30°.

**Kata kunci:** Stasiun pengisian daya, pembangkit *hybrid*, energi angin-surya, sepeda motor listrik.

## 1. Pendahuluan

Sejak tahun 2021 sektor transportasi di Indonesia menduduki peringkat kedua penghasil emisi tertinggi. Dengan proyeksi

pertumbuhan ekonomi dan rencana pembangunan, diperkirakan emisi dari sektor transportasi Indonesia akan terus meningkat. Sebagai upaya memperkuat aksi

DOI: <http://dx.doi.org/10.24127/trb.v14i1.3764>

Received November 09, 2024; Received in revised form June 25, 2025; Accepted June 26, 2025

Available online June 30, 2025



mitigasi perubahan iklim, dekarbonisasi sektor transportasi menjadi penting [1]. Seiring dengan diterbitkannya Peraturan Presiden No 55 Tahun 2019 tentang Percepatan Program Kendaraan Bermotor Listrik Berbasis Baterai (*Battery Electric Vehicle*) untuk Transportasi Jalan dan dilanjutkan dengan terbitnya Peraturan Menteri Perhubungan No 65 Tahun 2020 tentang Konversi Sepeda Motor dengan Penggerak Motor Bakar Menjadi Sepeda Motor Listrik Berbasis Baterai, maka pertumbuhan industri sepeda motor listrik semakin cepat. Asosiasi Industri Sepeda Motor Listrik Indonesia (Aismoli) mengumumkan jumlah sepeda motor listrik di Indonesia dari tahun 2019 sampai dengan 2022 tercatat 30.837 unit [2].

Penggunaan kendaraan listrik di seluruh dunia meningkat dalam beberapa tahun terakhir, menyebabkan peningkatan jumlah stasiun pengisian untuk menyuplai kebutuhan energi listrik [3]. Pada saat ini Indonesia telah memiliki sejumlah 600 stasiun pengisian daya di Pulau Jawa. Lima tahun mendatang PT PLN berencana untuk membangun lebih dari 5000 stasiun pengisian untuk sepeda motor dan kendaraan listrik di seluruh wilayah Indonesia [4].

Negara Indonesia memiliki potensi besar sumber energi terbarukan yang bisa menyuplai energi sepanjang tahun, seperti: samudera, panas bumi, bioenergi, bayu, hidro, dan surya. Dalam kebijakan energi nasional disebutkan bahwa energi primer EBT dalam bauran energi primer pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan pada tahun 2050 paling sedikit 31%. Pemanfaatan energi terbarukan dapat diimplementasikan melalui pemanfaatan EBT untuk pembangkit listrik dan pemanfaatan EBT langsung ke sektor transportasi, industri, rumah tangga dan sektor lainnya [5].

Teknologi turbin angin dan panel surya bisa digunakan dengan mudah oleh masyarakat untuk menyediakan energi terbarukan. Untuk menggunakan kedua teknologi tersebut memerlukan beberapa persyaratan penting. Pertama adalah ketersediaan peta potensi energi angin yang

akurat di seluruh Indonesia sangat diperlukan sebagai langkah awal dalam identifikasi dan pemilihan lokasi proyek energi angin. Peta tersebut memberikan informasi mengenai karakteristik angin di berbagai wilayah seperti kecepatan angin rata-rata, kecepatan maksimum dan minimum yang dapat dikonversi menjadi peta rapat daya dan peta energi tahunan (dalam kWh). Informasi tersebut sangat berguna sebagai dasar penentuan lokasi dan pemilihan teknologi turbin yang tepat [6]. Kedua adalah data iradiasi matahari di Indonesia. Dengan rata-rata iradiasi horizontal global sebesar 3,45-5,74 kWh/m<sup>2</sup>, tenaga surya memiliki potensi tertinggi di antara energi terbarukan lainnya. Indonesia mempunyai potensi teknis hingga 7.714,6 GW dari tenaga surya dengan mencakup seluruh wilayah berupa semak belukar, sabana, lahan gundul, kawasan pemukiman, pertambangan, kawasan transmigrasi, bendungan dan hingga 6.749,3 GW dengan pembatasan *rooftop* hanya 27% dan 5% luas permukaan bendungan yang boleh ditutupi panel surya. Jika Indonesia mampu memanfaatkan potensi tersebut secara optimal, maka zero emisi di sektor ketenagalistrikan dapat dicapai pada tahun 2050 [7]. Selain peta potensi energi angin dan iradiasi matahari, beberapa parameter yang berpengaruh dalam kinerja pembangkit listrik turbin angin dan panel surya adalah jumlah sudu turbin dan sudut kemiringan panel surya [8], [9], [10].

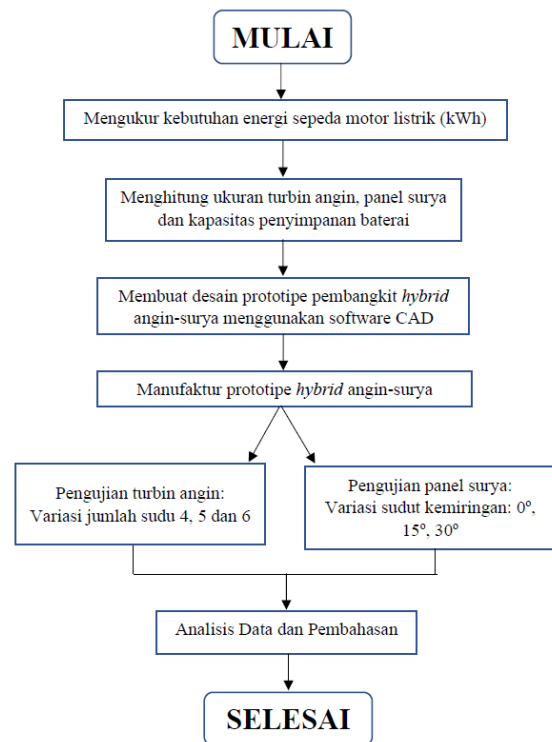
Rumusan permasalahan yang akan diinvestigasi dalam penelitian ini yaitu mengenai pengaruh jumlah sudu turbin dan sudut kemiringan panel surya terhadap kinerja pembangkit *hybrid* angin-surya. Pemanfaatan energi terbarukan untuk stasiun pengisian listrik akan menekan penggunaan energi listrik dari pembangkit listrik yang menggunakan energi fosil sebagai sumber energi. Sehingga teknologi yang dikembangkan pada penelitian ini mendukung program pemerintah yakni pengembangan ekonomi hijau dengan cara meningkatkan penerapan efisiensi

energi yang mengarah pada sistem dekarbonasi energi Indonesia.

Sistem pembangkit *hybrid* angin-surya ini didesain khusus untuk menyuplai stasiun pengisian daya pada unit sepeda motor listrik. Turbin angin yang digunakan pada penelitian ini adalah turbin angin sumbu vertikal. Turbin jenis ini memiliki poros atau sumbu utama yang disusun tegak lurus terhadap sudu turbin. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak perlu diarahkan ke arah datangnya angin. Dengan kelebihan ini maka sangat berguna jika ditempatkan di lokasi yang arah anginnya bervariasi [8]. Jika menggunakan energi angin atau matahari saja untuk menyuplai energi, maka baterai lama terisi. Hal ini disebabkan karena kecepatan angin berfluktuasi atau tidak stabil dan panel surya hanya bekerja pada saat siang hari. Untuk mengatasi masalah tersebut solusinya adalah menggunakan teknologi *hybrid*. Energi surya melalui teknologi *photovoltaic* dalam panel surya, mampu mengubah sinar matahari menjadi listrik. Namun memiliki kekurangan yaitu efisiensi rendah, penggunaannya yang statis, dan tidak dapat menangkap sinar matahari secara optimal sepanjang hari [11]. Oleh karena itu, dengan menggabungkan dua sumber energi menjadi satu dalam sistem *hybrid*, diharapkan saling menutupi kekurangannya masing-masing.

## 2. Metode Penelitian

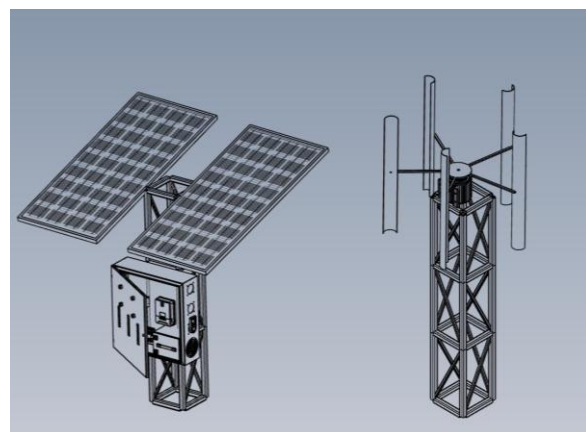
Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen di lapangan dengan mencari efisiensi paling optimal pembangkit listrik *hybrid* angin-surya lewat variasi jumlah sudu turbin dan sudut kemiringan panel surya. Waktu pengambilan data dilakukan pada bulan Oktober 2024. Pengambilan data turbin angin dilaksanakan mulai pukul 08.00 sampai dengan 16.30, sedangkan panel surya pukul 06.00-16.30. Lokasi pengambilan data dilaksanakan di halaman parkir kampus Akademi Komunitas Negeri Pacitan dengan lokasi koordinat garis lintang -8.202, dan bujur 111.087.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

### 2.1 Desain dan Spesifikasi Pembangkit Listrik Hybrid Angin-Surya

Gambar 2 dibawah ini adalah hasil desain pembangkit listrik *hybrid* angin-surya untuk aplikasi stasiun pengisian sepeda motor listrik yang didesain menggunakan perangkat lunak CAD (*Computer Aided Design*).



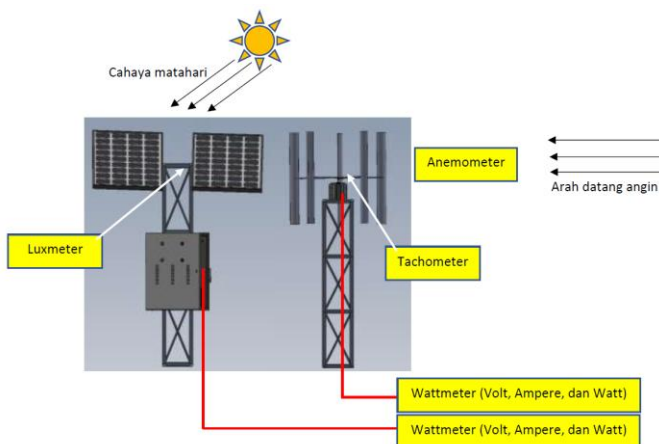
Gambar 2. Desain prototipe pembangkit hybrid angin-surya

Tabel 1 di bawah ini adalah tabel spesifikasi pembangkit *hybrid* angin-surya yang diteliti.

Tabel 1. Spesifikasi pembangkit *hybrid* angin-surya

Sistem	Spesifikasi
Tipe turbin angin	Poros vertikal
Tipe rotor	<i>Cross-flow</i>
Luas area sapuan turbin	1 m <sup>2</sup>
Material turbin	
Jumlah sudu	PLA, besi dan PVC
Kapasitas generator	4-6 sudu
Tipe panel surya	500W
Kapasitas	<i>Monocrystalline</i>
Jumlah panel	100 Wp
Rangkaian panel surya	2
Tipe baterai	Seri
Kapasitas baterai	
Jenis inverter	LiFePo4
	12V 100Ah
Kapasitas inverter	<i>Pure Sine Wave inverter</i>
	1000W

## 2.2 Skema Eksperimen



Gambar 3. Skema eksperimen

Gambar 3 diatas adalah skema eksperimen pengujian kinerja pembangkit listrik *hybrid* angin-surya. Alat ukur yang digunakan antara lain: anemometer untuk mengukur kecepatan angin dalam satuan m/s, luxmeter untuk mengukur iradiasi cahaya matahari dalam satuan Lux dan dikonversi ke W/m<sup>2</sup>, tachometer untuk mengukur putaran turbin dalam satuan RPM, dan wattmeter untuk mengukur tegangan dalam satuan volt, arus dalam satuan ampere dan daya dalam satuan watt.

## 2.3 Skema Pengujian Performa Turbin Angin dan Panel Surya

Sistem pembangkit listrik *hybrid* terdiri dari 2 komponen, yaitu turbin angin vertikal tipe *cross-flow* dan panel surya tipe *monocrystalline*. Untuk mendapatkan kinerja pembangkit yang optimal maka akan dilakukan pengujian dengan membuat variasi jumlah sudu turbin dan sudut kemiringan panel surya. Berikut ini adalah tabel variabel bebas untuk turbin angin dan panel surya:

Tabel 2. Variasi jumlah sudu turbin angin

Tipe turbin	Variasi jumlah sudu
<i>Cross-flow</i>	4
	5
	6

Tabel 3. Variasi sudut kemiringan panel surya

Tipe panel surya	Variasi sudut kemiringan panel surya
<i>Monocrystalline</i>	10°
	15°
	30°

## 3. Hasil dan Pembahasan

Berikut ini adalah hasil dan pembahasan penelitian yang telah dilaksanakan.



Gambar 4. Hasil manufaktur prototipe pembangkit listrik *hybrid* angin-surya

Gambar 4 adalah hasil manufaktur dan perakitan dari prototipe pembangkit listrik *hybrid* angin-surya. Prototipe tersebut ditempatkan di lahan parkir kampus Akademi Komunitas Negeri Pacitan untuk mendapatkan paparan sinar matahari dan hembusan angin. Langkah selanjutnya adalah melakukan pengujian pengambilan data dari pembangkit *hybrid* angin-surya.

Pengujian kinerja pembangkit listrik *hybrid* angin-surya ini terdiri dari beberapa tahap. Tahapan pertama adalah melakukan analisis kebutuhan energi baterai sepeda motor listrik. Tahap kedua adalah melakukan pengujian eksperimen dengan variabel sesuai tabel 2 dan 3. Untuk turbin angin *cross-flow*, variabel bebas yang dipilih adalah variasi jumlah sudu (4, 5 dan 6 sudu) kemudian dilihat pengaruhnya terhadap variabel tetap yaitu: putaran turbin, tegangan, arus, daya, *tip speed ratio* dan efisiensi. Sedangkan untuk panel surya variabel bebas yang dianalisis adalah variasi sudut kemiringan panel surya (0°, 15°, 30°), kemudian akan dianalisis pengaruhnya terhadap variabel tetap, yaitu iradiasi matahari pada panel surya, tegangan, arus, daya dan efisiensi. Pengujian turbin angin dimulai pada pukul 08.00 sampai dengan 16.30, sedangkan pengujian panel surya dilakukan mulai dari pukul 6.00 WIB sampai dengan pukul 16.30 WIB dengan rentang waktu pengambilan data tiap 30 menit.

### 3.1 Perhitungan kebutuhan daya charging baterai dan pemilihan kapasitas baterai *charging station*

Spesifikasi baterai sepeda motor listrik yang digunakan pada penelitian ini adalah 72 Volt 19,4 Ah. Dengan demikian daya listrik total yang dibutuhkan adalah:

$$\text{Energi beban} = 72 \text{ Volt} \times 19,4 \text{ Ah} = 1396,8 \text{ Wh}$$

Kemudian, dengan asumsi beban total sebesar 70% dari energi beban maka:

$$70\% \times 1396,8 \text{ Wh} = 977,76 \text{ Wh}$$

Pemilihan baterai berdasarkan beban yang telah dihitung, maka:

Kapasitas baterai charging station = Energi beban :  $V_{dc}$

$$\text{Kapasitas baterai} = 977,76 \text{ Wh} : 12 \text{ V} = 81,48 \text{ Ah} \text{ dibulatkan menjadi } 100 \text{ Ah}$$

Jadi, kapasitas baterai pembangkit listrik *hybrid* yang dipilih adalah 12 V 100 Ah.

### 3.2 Perhitungan Daya Input Panel Surya

Daya input ( $P_{in}$ ) dari panel surya dihitung berdasarkan intensitas iradiasi matahari yang diterima dikalikan luas permukaan panel surya yang digunakan.

Diketahui:

Iradiasi matahari:

$$G = 731,54 \text{ W/m}^2$$

Luas panel surya 2 lembar:

$$A_{\text{solar panel}} = 2 \times (0,8 \times 0,67) = 1,072 \text{ m}^2$$

Tegangan terbuka panel surya:

$$V_{\text{panel}} = 14,44 \text{ Volt}$$

Tegangan masuk ke baterai:

$$V_{\text{input baterai}} = 13,04 \text{ Volt}$$

Arus masuk ke baterai:

$$I_{\text{input baterai}} = 0,4 \text{ A}$$

Penyelesaian:

Daya input ( $P_{in}$ )

$$P_{in} = G \times A \tag{1}$$

$$P_{in} = 731,54 \text{ W/m}^2 \times 1,072 \text{ m}^2 = 392,1 \text{ W}$$

### 3.4 Perhitungan daya dan efisiensi panel surya

Daya output ( $P_{out}$ ) dari panel surya dihitung dengan perkalian dari tegangan rangkaian terbuka  $V_{oc}$  dikalikan arus hubung singkat  $I_{sc}$  dikalikan *Fill Factor* dari panel surya

$$P_{out} = V \times I \times FF \quad (2)$$

Untuk menghitung *Fill Factor* dapat menggunakan persamaan berikut ini:

$$FF = \frac{V_{oc} - \ln(V_{oc} + 0,72)}{V_{oc} + 1} \quad (3)$$

$$= \frac{13,04 - \ln(13,04 + 0,72)}{13,04 + 1} = 0,74$$

$$P_{out} = 13,04 \text{ V} \times 0,4 \text{ A} \times 0,74 = 3,85 \text{ W}$$

Efisiensi sistem panel surya dihitung dengan persamaan berikut:

$$\eta_s = P_{out} / P_{in} \times 100\% \quad (4)$$

$$\eta_s = 3,85 \text{ W} / 392 \text{ W} \times 100\% = 0,98\%$$

### 3.5 Perhitungan daya dan efisiensi turbin angin *cross-flow*

Diketahui:

$$v = 1,2 \text{ m/s}$$

$$\rho = 1,225 \text{ Kg/m}^3$$

$$A = 1 \text{ m}^2$$

$$n_{generator} = 18 \text{ rpm}$$

$$V_{input \text{ baterai}} = 10 \text{ V}$$

$$I_{input \text{ baterai}} = 0,1 \text{ A}$$

Daya angin:

$$P_w = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \quad (5)$$

$$P_w = \frac{1}{2} \times 1,225 \times 1 \times 1,2^3 = 4,23 \text{ W}$$

Daya output:

$$P_{out} = V \times I \quad (6)$$

$$P_{out} = 10 \times 0,1 = 1 \text{ W}$$

*Tip Speed Ratio* (TSR):

$$\gamma = \frac{\pi \times D \times n}{60 \times v} \quad (7)$$

$$\gamma = \frac{3,14 \times 1 \times 18}{60 \times 1,2} = 0,78$$

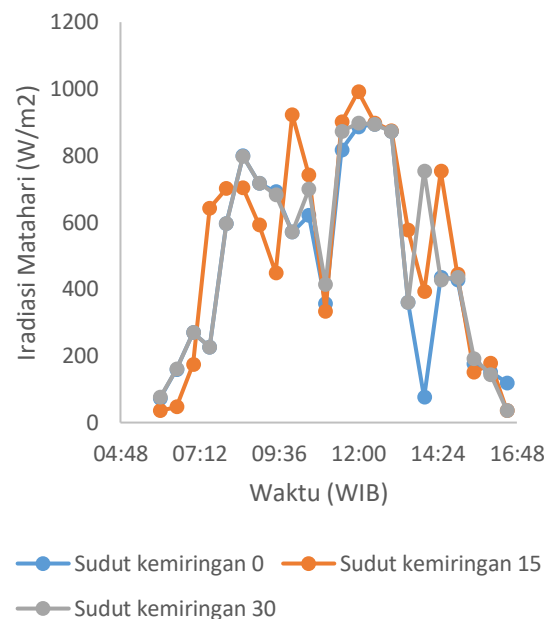
Efisiensi turbin angin:

$$\eta_s = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (8)$$

$$\eta_s = \frac{1}{4,23} \times 100\% = 20\%$$

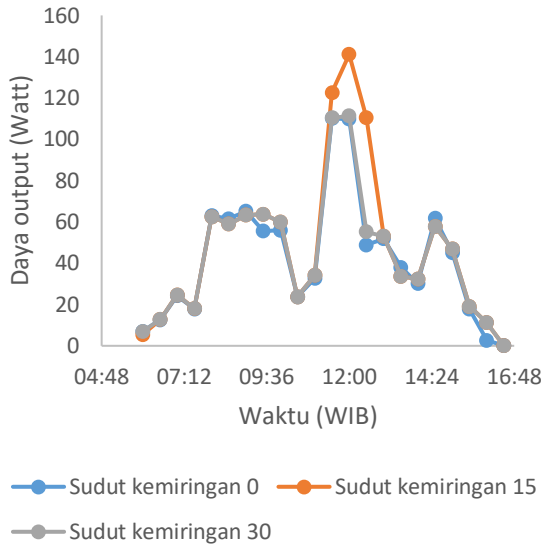
### 3.6 Analisis Data

Hasil perhitungan pada poin 3.1 sampai 3.5 disajikan dalam bentuk grafik. Gambar 5 menunjukkan pengaruh sudut kemiringan terhadap tingkat iradiasi matahari. Pada sudut kemiringan panel surya 15°, pukul 12.00 WIB menerima iradiasi sebesar 992,2 W/m<sup>2</sup>. Daya output yang dihasilkan sebesar 141,1 Watt dengan efisiensi sebesar 13,3%. Sedangkan panel dengan variasi sudut kemiringan 0° dan 30° menghasilkan daya keluaran rata-rata lebih kecil.



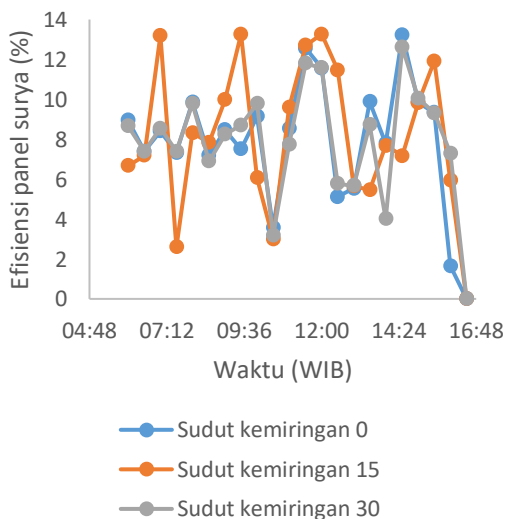
Gambar 5. Grafik pengaruh sudut kemiringan terhadap tingkat iradiasi panel surya

Panel surya mulai menerima iradiasi matahari pada pukul 6.00 WIB. Pada jam tersebut tingkat iradiasi matahari masih rendah. Kemudian semakin siang iradiasi matahari juga semakin meningkat sehingga tren grafik semakin naik. Namun terjadi penurunan pada pukul 9.00 sampai 9.30 dikarenakan matahari tertutup oleh awan. Namun iradiasi matahari naik kembali pada pukul 11.00. Sempat terjadi penurunan pada pukul 11.30 namun pada pukul 12.00 iradiasi mencapai puncak tertinggi sampai pukul 13.00 WIB. Setelah pukul 13.00 terjadi fluktuasi tingkat iradiasi dikarenakan matahari terhalang oleh awan. Namun tren grafik semakin menurun sampai mencapai titik terendah sampai pukul 16.30.



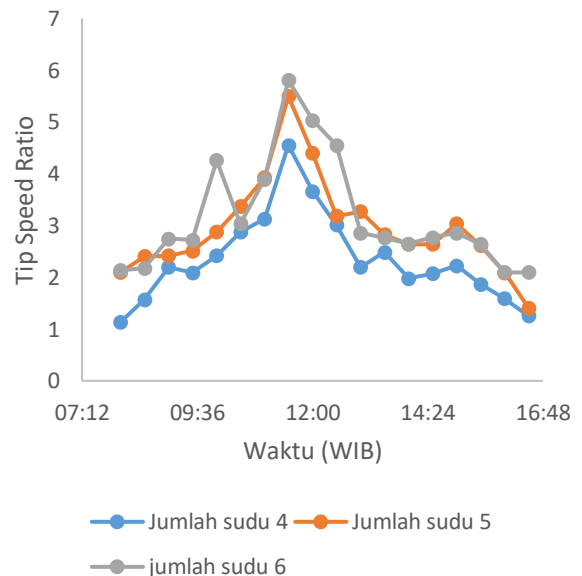
Gambar 6. Pengaruh sudut kemiringan terhadap daya output panel surya

Gambar 6. di atas menunjukkan grafik pengaruh sudut kemiringan terhadap daya *output* yang dihasilkan panel surya. Tren daya *output* hampir sama seperti tren grafik iradiasi matahari. Semakin meningkat iradiasi maka daya *output* juga semakin tinggi. Daya *output* tertinggi dicapai dengan sudut kemiringan panel surya sebesar 15°. Hasil data tersebut juga didukung dengan penelitian lain bahwa sudut 15° menghasilkan efisiensi terbaik [10].



Gambar 7. Pengaruh sudut kemiringan terhadap efisiensi panel surya

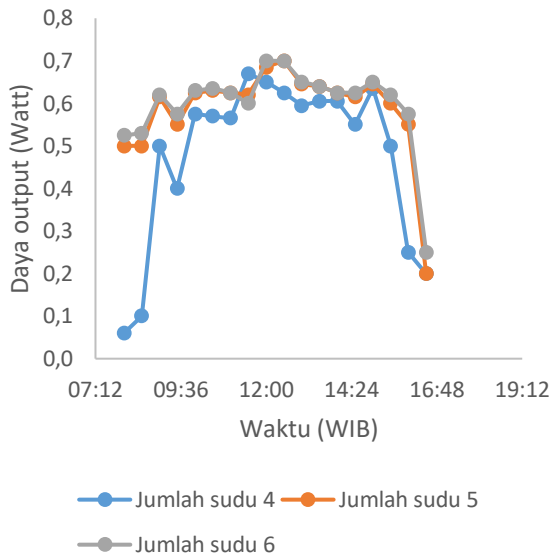
Gambar 7. menunjukkan grafik pengaruh sudut kemiringan terhadap efisiensi panel surya. Grafik efisiensi terlihat fluktuatif. Berdasarkan grafik diatas terlihat bahwa dengan sudut kemiringan panel 15° mampu mendapatkan efisiensi rata-rata lebih tinggi dibanding sudut kemiringan 0° dan 30°. Sudut kemiringan yang tidak optimal menyebabkan berkurangnya area permukaan yang terkena sinar matahari. Hal ini mengakibatkan penurunan efisiensi dan *output* energi. Pada sudut 0° (horizontal) atau 60° ke atas, panel menerima iradiasi yang jauh lebih sedikit dibandingkan dengan sudut optimal. Panel dengan sudut kemiringan yang efektif mampu menerima iradiasi matahari dengan baik. Sudut kemiringan pemasangan panel yang efektif akan menghasilkan daya keluaran panel yang besar dengan tegangan dan arus yang maksimal [12].



Gambar 8. Grafik pengaruh jumlah sudu terhadap TSR

Gambar 8. menunjukkan pengaruh jumlah sudu turbin terhadap *Tip Speed Ratio* (TSR). Turbin *cross-flow* dengan jumlah sudu 6 bekerja lebih baik pada kecepatan angin rendah dibanding jumlah sudu 4 dan 5. Dengan lebih banyak sudu, turbin angin *cross-flow* menghasilkan momen yang lebih besar pada kecepatan angin yang lebih rendah, sehingga meningkatkan

kemampuan untuk mulai berputar [3]. Hasil analisa diatas didukung dengan penelitian lain yang menyatakan bahwa rotor turbin dengan jumlah bilah yang banyak memungkinkan turbin bekerja pada TSR yang lebih rendah [14].

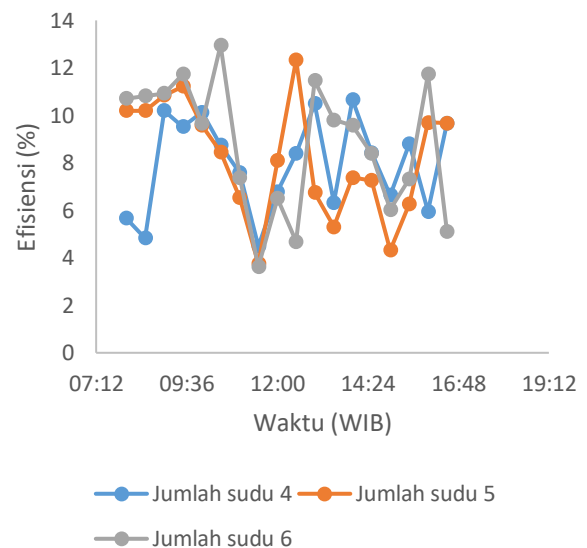


Gambar 9. Grafik pengaruh jumlah sudu terhadap daya output

Gambar 9 menunjukkan pengaruh jumlah sudu terhadap daya *output* yang dikeluarkan oleh turbin. Daya berhubungan dengan efisiensi turbin (gambar 10). Peningkatan jumlah sudu dari 4 sampai 6 meningkatkan *tip speed ratio* rata-rata dan meningkatkan daya output dari generator [15]. Turbin dengan jumlah sudu yang lebih sedikit lebih mudah mengalami *stall* (kehilangan daya angkat), sehingga kehilangan momentum dan akan menurunkan torsi. Hal ini terkait dengan efek rata-rata pada torsi poros yang disebabkan oleh jumlah bilah yang lebih banyak. Jika satu bilah bergerak ke posisi *stall*, jumlah bilah total yang lebih banyak akan mengatasi inersia rotor yang lebih besar dan menambah torsi yang dijumlahkan dari bilah lainnya. Ini adalah kelebihan dari turbin dengan soliditas tinggi/jumlah sudu lebih banyak [16].

Jumlah sudu merupakan salah satu parameter geometri kunci yang sangat memengaruhi kinerja turbin. Turbin dengan jumlah sudu yang sedikit mengalami *stall*

pada TSR rendah karena kecepatan putar yang lebih rendah dan diameter turbin lebih besar, sedangkan turbin dengan soliditas tinggi memiliki kinerja tertinggi. Soliditas memengaruhi kinerja turbin angin sumbu vertikal dengan memengaruhi bagaimana geometri rotor berinteraksi dengan aliran udara [17]. Soliditas yang lebih tinggi pada turbin *cross-flow* umumnya menghasilkan peningkatan efisiensi, karena memengaruhi karakteristik profil bilah, perilaku *stall* dinamis, dan koefisien torsi [18]. *Stall* dinamis yang lebih awal pada turbin angin vertikal dengan soliditas lebih rendah memiliki efek negatif pada kinerja [19].



Gambar 10. Grafik pengaruh jumlah sudu terhadap efisiensi turbin angin *cross-flow*

#### 4 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa turbin angin tipe *cross-flow* dengan jumlah sudu 6 menghasilkan efisiensi lebih tinggi dibanding jumlah sudu 4 dan 5. Hal ini disebabkan karena dengan jumlah sudu yang lebih banyak, maka turbin tidak mudah mengalami *stall* sehingga akan meningkatkan efisiensi turbin angin.

Sudut kemiringan panel surya 15° menghasilkan efisiensi lebih tinggi dibanding sudut kemiringan 0° dan 30°. Sudut panel surya kemiringan 15° layak diterapkan sebagai sistem pembangkit

hybrid khususnya di lokasi penempatan Kampus Akademi Komunitas Negeri Pacitan.

### Ucapan terimakasih

Ucapan terimakasih kepada Direktorat Akademik Pendidikan Tinggi Vokasi, Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi, Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset dan Teknologi yang telah mendanai penelitian ini lewat skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) berdasarkan SK Kontrak Nomor:  
411/SPK/D.D4/PPK.01.APTV/VIII/2024

### Referensi

- [1] Geny Jati, "The Modal Share of Indonesia's Transportation Requires Strong Push from the Government."
- [2] Anshary Madya Sukma, "Asosiasi Sebut Motor Listrik di Indonesia Capai 30.837 Unit," <https://otomotif.bisnis.com/read/20230223/273/1631208/asosiasi-sebut-motor-listrik-di-indonesia-capai-30837-unit>.
- [3] O. Ekren, C. Hakan Canbaz, and Ç. B. Güvel, "Sizing of a solar-wind hybrid electric vehicle charging station by using HOMER software," *J Clean Prod*, vol. 279, Jan. 2021, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.123615.
- [4] Hendro Situmorang, "PLN To Build Thousands of EV Charging Stations."
- [5] Dewan Energi Nasional, "Laporan Analisis Neraca Energi Nasional," 2022. Accessed: Dec. 21, 2023. [Online]. Available: <https://den.go.id/publikasi/neraca-energi>
- [6] ESDM, "Potensi Energi Angin Indonesia 2020."
- [7] H. D. Puspitarini, F. Tumiwa, M. Citraningrum, P. Simamora, and D. Arinaldo, "Beyond 443 GW Indonesia's renewables energy potentials."
- [8] U. Surya Dharma, "Pengaruh Desain Sudu Terhadap Unjuk Kerja Prototype Turbin Angin Vertical Axis Savonius".
- [9] F. Ayu, F. Sugiono, P. Diah Larasati, D. Eriko, and A. Karuniawan, "Pengaruh Sudut Kemiringan Panel Surya Terhadap Potensi Pemanfaatan Plts Rooftop Di Bengkel Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang," vol. 01, no. 01, pp. 1–8, 2022, [Online]. Available: <https://www.helioscope.com/>
- [10] D. Wahyu and Y. Rosa, "Pengaruh Sudut Kemiringan dan Orientasi Solar Cell Terhadap Luaran Energi Listrik Sebagai Kajian Power Charge Station untuk Kendaraan Alat Berat," 2023.
- [11] Y. Hurung Anoi, A. Yani, and Y. W, "Analisis sudut panel solar cell terhadap daya output dan efisiensi yang dihasilkan," *TURBO Jurnal Program Studi Teknik Mesin UM Metro*, vol. 8, pp. 177–182, 2019.
- [12] R. Rusda, Dihya Ahmad Rasyid Ridho, and Marson Ady Putra, "Analisis Pengaruh Sudut Kemiringan Terhadap Penerimaan Iradiasi Matahari Dan Daya Keluaran Yang Dihasilkan Panel Surya," *PoliGrid*, vol. 4, no. 1, Nov. 2023, doi: 10.46964/poligrd.v4i1.18.
- [13] I. Amin and I. Amin, "Effect of Number of Blades on the Performance of Vertical axis Marine Current Turbine under Unsteady Current Velocity." [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/343016802>
- [14] A. Eltayesh *et al.*, "Experimental and numerical investigation of the effect of blade number on the aerodynamic performance of a small-scale horizontal axis wind turbine," *Alexandria Engineering Journal*, vol. 60, no. 4, pp. 3931–3944, Aug.

- 2021, doi:  
10.1016/j.aej.2021.02.048.
- [15] A. Rezaeiha, H. Montazeri, and B. Blocken, “Towards optimal aerodynamic design of vertical axis wind turbines: Impact of solidity and number of blades,” *Energy*, vol. 165, pp. 1129–1148, Dec. 2018, doi: 10.1016/j.energy.2018.09.192.
- [16] M. A. Miller, S. Duvvuri, and M. Hultmark, “Solidity effects on the performance of vertical-axis wind turbines,” *Flow*, vol. 1, Sep. 2021, doi: 10.1017/flo.2021.9.
- [17] M. A. Miller, S. Duvvuri, and M. Hultmark, “Solidity effects on the performance of vertical-axis wind turbines,” *Flow*, vol. 1, Sep. 2021, doi: 10.1017/flo.2021.9.
- [18] P. Bachant and M. Wosnik, “Effects of reynolds number on the energy conversion and near-wake dynamics of a high solidity vertical-axis cross-flow turbine,” *Energies (Basel)*, vol. 9, no. 2, 2016, doi: 10.3390/en9020073.
- [19] O. Eboibi, L. A. M. Danao, and R. J. Howell, “Experimental investigation of the influence of solidity on the performance and flow field aerodynamics of vertical axis wind turbines at low Reynolds numbers,” *Renew Energy*, vol. 92, pp. 474–483, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.renene.2016.02.028.