

## Rancang Bangun *Blade* Turbin Angin 3 Sudu Tipe Horizontal dan Panel Surya Tipe *Monocrystalline* dan *Polycrystalline* sebagai Dasar Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH)

Isra' Nuur Darmawan<sup>1</sup>, Kholistianingsih<sup>1</sup>, Asroful Abidin<sup>2\*</sup>, Ilham Pangestu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Prodi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Wijayakusuma Purwokerto

<sup>2</sup>Prodi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

e-mail : [asrofulabidin@unmuhjember.ac.id](mailto:asrofulabidin@unmuhjember.ac.id)

Received 6 Juni 2024 | Revised 15 July 2024 | Accepted 4 Agustus 2024

### ABSTRAK

Pemanfaatan energi terbarukan sangat diperlukan untuk menghasilkan listrik dari sumber daya alam. Salah satu cara adalah menggunakan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) yang memanfaatkan angin dan sinar matahari. Penelitian ini mendesain blade turbin angin dengan Airfoil NACA 4212, terdiri dari 3 sudu tipe horizontal pada aplikasi QBlade. Parameter awal menunjukkan daya 55 Watt pada kecepatan angin maksimal 6 m/s. Blade dibuat dari resin, serat WR 600, cluth, mate, dan WR 200, menghasilkan blade sepanjang 69 cm dengan berat 460 gram yang berputar pada kecepatan angin minimal 3,7 m/s. Analisis panel surya dilakukan pada dua tipe, monocrystalline 30 WP dan polycrystalline 30 WP merk INSCOM. Pengujian selama 3 hari menunjukkan daya rata-rata tertinggi 54,41 Watt dan efisiensi 29,3% untuk monocrystalline, serta 55,17 Watt dan efisiensi 29,6% untuk polycrystalline. Hasil ini menunjukkan bahwa panel surya polycrystalline lebih unggul dalam menghasilkan listrik. Desain blade turbin angin 3 sudu tipe horizontal dapat digabungkan dengan panel surya polycrystalline sebagai dasar perancangan PLTH.

**Kata kunci:** energi terbarukan; PLTH; airfoil; blade; panel surya; monocrystalline; polycrystalline

### ABSTRACT

*The utilization of renewable energy is essential for generating electricity from natural resources. One approach is through the use of a Hybrid Power Plant (PLTH) that harnesses wind and sunlight. This study involves the design of wind turbine blades with Airfoil NACA 4212, consisting of 3 horizontal type blades using the QBlade application. Initial parameters showed a power output of 55 Watts at a maximum wind speed of 6 m/s. The blades were made from resin, WR 600 fiber, cluth, mate, and WR 200, producing a blade with a length of 69 cm and a weight of 460 grams, capable of rotating at a minimum wind speed of 3.7 m/s. The analysis of solar panels was conducted on two types, monocrystalline 30 WP and polycrystalline 30 WP from the INSCOM brand. Testing over 3 days showed the highest average power output of 54.41 Watts and an efficiency of 29.3% for monocrystalline, and 55.17 Watts with an efficiency of 29.6% for polycrystalline. These results indicated that polycrystalline solar panels are superior in generating electricity. The design of a hybrid power plant (PLTH) can be based on the three-blade horizontal wind turbine paired with polycrystalline solar panels.*

**Key words:** renewable energy; PLTH; airfoil; blade; solar panel; monocrystalline; polycrystalline

## 1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) merupakan pembangkit listrik yang menggabungkan beberapa jenis energi yang diperoleh dari sumber daya alam yang ada. Contoh sumber daya alam yang dapat menghasilkan energi listrik antara lain energi angin dan energi matahari. Namun, pemanfaatan kedua energi terbarukan ini masih terbatas di Indonesia karena kurangnya pengetahuan mengenai pemanfaatan energi terbarukan. Bagian turbin angin yang dikenal sebagai *blade* atau sudu-sudu dapat memanfaatkan energi kinetik angin untuk menghasilkan gaya dorong yang kemudian memutar poros penggerak generator dan mengubah energi kinetik tersebut menjadi energi listrik.

Penelitian terkait desain dan pemanfaatan turbin angin telah banyak dilakukan untuk meningkatkan efisiensi dalam konversi energi angin menjadi energi listrik. Misalnya, penelitian yang mempelajari karakteristik aerodinamis turbin angin sumbu horizontal (HAWT) tiga *blade* yang dirancang baru menggunakan metode *Computational Fluid Dynamic* (CFD). Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa bentuk dan ukuran sudu sangat berpengaruh terhadap kecepatan rotasi dan daya listrik yang dihasilkan [1]. Desain sudu yang menyerupai profil aerofoil memberikan hasil yang lebih optimal dalam menangkap energi angin dan mengubahnya menjadi tenaga mekanik untuk memutar generator [2].

Perancangan *blade* turbin angin tipe horizontal 3 sudu dilakukan dengan mendesain menggunakan aplikasi *QBlade* untuk memperkirakan bentuk dan ukuran *blade* yang akan dibuat. Desain *blade* yang menyerupai sayap pesawat terbang mempermudah penerimaan dorongan dari angin sehingga lebih efektif dalam memutar rotor pada generator dan mengubahnya menjadi energi listrik. Pemilihan bahan baku yang akan digunakan dalam pembuatan juga perlu dilakukan untuk menjamin kualitas dari *blade* tersebut agar tidak mempengaruhi kinerja pada saat pengujian dilakukan [3].

Dua jenis sel surya dapat digunakan untuk mengubah sinar matahari menjadi energi listrik yaitu *monocrystalline* dan *polycrystalline*. Setiap jenis *solar cell* mempunyai efisiensi yang berbeda-beda dalam menghasilkan energi listrik. Panel surya *monocrystalline* terdiri dari sel tunggal berbentuk piramida dan memiliki luas permukaan yang besar untuk mengumpulkan lebih banyak energi matahari. Tipe ini lebih optimal efisiensinya dan yang membedakan dengan tipe lainnya adalah warnanya yang gelap sehingga sering digunakan pada iklim panas.

Penelitian tentang pengujian panel surya *monocrystalline* dan *polycrystalline* menunjukkan bahwa panel surya *monocrystalline* memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *polycrystalline*, terutama pada saat intensitas cahaya matahari tinggi. Namun, panel *polycrystalline* lebih efisien dalam kondisi cuaca mendung atau intensitas cahaya rendah yang menjadikannya pilihan yang baik untuk daerah dengan kondisi cuaca bervariasi [4], [5].

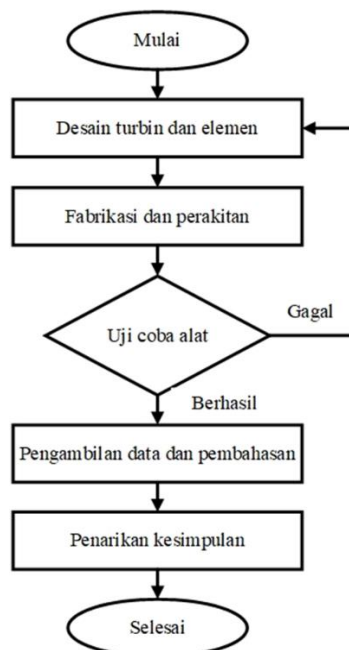
Proses pembuatan silikon *polycrystalline* lebih sederhana dibandingkan yang lain sehingga lebih terjangkau. Tidak konsistennya tampilan warna mengurangi daya tarik modul surya jenis ini. Efisiensi energi yang dihasilkan terlihat meski dalam cuaca panas dan mendung. Penggunaan energi terbarukan dalam bentuk *hybrid power plant* juga telah dikaji dalam beberapa studi. Misalnya, penelitian yang mempelajari potensi kombinasi energi angin dan energi surya di daerah pesisir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggabungan kedua sumber energi ini dalam satu sistem hibrid dapat meningkatkan stabilitas suplai listrik, terutama di daerah yang terpencil dan belum terjangkau oleh jaringan listrik konvensional [6]–[8].

Oleh karena itu, tujuan dari penelitian ini adalah merancang sudu turbin angin (3 sudu) horizontal dan pembuatan sudu turbin angin yang menyesuaikan dengan kecepatan angin yang ada di kawasan pantai baru Pandansimo sehingga dapat digunakan untuk menangkap energi kinetik dan mengubahnya menjadi energi listrik. Pengujian panel surya tipe *monocrystalline* dan *polycrystalline* dilakukan untuk mengetahui efektivitas kedua tipe tersebut dalam menghasilkan

energi listrik agar dapat menjadi bahan pertimbangan dalam perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH).

## 2. Metodologi

Penelitian ini dilaksanakan di pantai baru Pandansimo, Bantul Yogyakarta yang merupakan kawasan terpadu energi baru dan terbarukan dengan memanfaatkan tenaga matahari dan tenaga angin yang terdapat pada PLTH Bayu Baru. Tempat tersebut memiliki intensitas cahaya matahari dan angin yang cukup untuk menghasilkan energi listrik, menjadikannya sumber energi terbarukan. Dalam penelitian ini, komponen penyusun serta perangkat yang diperlukan untuk menunjang proses penelitian meliputi: Laptop Asus X445L, aplikasi *Qblade* v0.096, cetakan molding baling-baling, serat fiber mate, woven roving 200 dan 600, cluth, resin, katalis, kuas, bor, timbangan, gunting, cutter, kain percak, semen, pasir, papan, paku, gayung, tachometer digital untuk mengukur putaran turbin, panel surya *polycrystalline*, dan panel surya *monocrystalline*. Penelitian dilakukan untuk mengetahui performa turbin angin berjumlah tiga sudu datar dengan berbagai macam sudu *blade*. Guna mendapatkan efisiensi dari nilai terbaik maka kecepatan angin dan posisi sebuah sudu menjadi pertimbangan. Langkah selanjutnya adalah membuat alat utama dan pendukung, merancang alat tersebut, dan menguji turbin angin. Data pengujian yang diperlukan adalah kecepatan angin, luas sapuan, putaran sumbu, tegangan, dan arus [9]. Diagram alir/*flowchart* yang digunakan penulis dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1.



**Gambar 1.** Diagram Alir *Blade*

Perancangan *blade* yang akan dilakukan memiliki tahap awal yang harus dilakukan yaitu menentukan parameter awal perancangan. Tahapan awal ini dilakukan untuk mendapatkan nilai parameter awal yang diperlukan dalam melakukan perancangan *blade* turbin angin.

### 1. Output daya listrik (P)

Merupakan asumsi daya yang akan dihasilkan pada saat perancangan *blade* turbin angin. Nilai yang ditentukan yaitu 70 watt.

### 2. Efisiensi Sistem ( $\eta_{sistem}$ )

Sistem turbin angin yang dibuat perlu efisiensi dari setiap komponen bahan di dalamnya, yaitu efisiensi *blade*, efisiensi generator dan efisiensi *controller*. Nilai efisiensi *blade* sebesar 0,3

efisiensi transmisi sebesar 1 dan efisiensi dari *controller* sebesar 0,9. Efisiensi sistem ditentukan dengan Persamaan 1.

$$\eta_{sistem} = \eta_{bilah} \times \eta_{generator} \times \eta_{controller} \quad (1)$$

Keterangan:

- K = Efisiensi sistem untuk turbin angin
- $\eta_{bilah}$  = Efisiensi *blade* yang digunakan turbin angin
- $\eta_{generator}$  = Efisiensi generator yang digunakan turbin angin
- $\eta_{controller}$  = Efisiensi *controller* yang digunakan turbin angin

### 3. Daya Angin ( $P_{udara}$ )

Nilai daya listrik dapat ditentukan menggunakan Persamaan 2.

$$P_{udara} = \frac{\text{Output Daya Listrik}}{\eta_{sistem}} \quad (2)$$

### 4. Kecepatan Angin ( $v_{udara}$ )

Kecepatan angin yaitu hasil dari pengamatan yang sudah dilakukan.

### 5. Masa Jenis Udara ( $p_{udara}$ )

Nilai massa jenis udara yang diperoleh dari hasil pengamatan.

### 6. Luas Sapuan Udara ( $p_{udara}$ )

Nilai jenis udara yang diperoleh dari *blade* untuk menghasilkan daya listrik yang sudah ditentukan saat penelitian dengan menggunakan Persamaan 3.

$$A = \frac{2 \times p_{udara}}{p_{udara} \times v^3} \quad (3)$$

### 7. Jari-jari

Hasil perhitungan jari-jari ideal untuk perancangan *blade* turbin angin. Jari-jari dapat digunakan untuk mengetahui luas sapuan pada *blade*, masa udara, daya angin yang diperoleh serta kecepatan angin maksimal. Dapat ditentukan dengan Persamaan 4.

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (4)$$

Keterangan:

- R = Jari-jari *blade* (m)
- A = Luas sapuan *blade* ( $m^2$ )

## 2.1. Menentukan parameter kedua

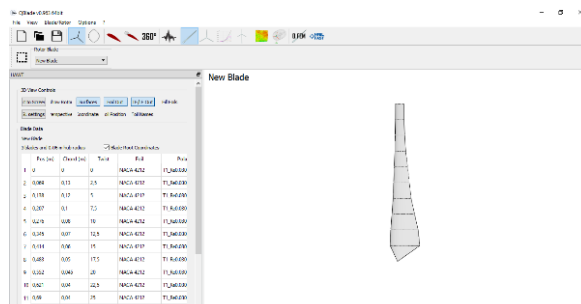
Parameter kedua ini akan menentukan jenis *airfoil*, jenis *Blade*, dan jumlah *blade* yang nantinya akan dilakukan penelitian tersebut. Nilai CI/CD diperoleh dari kurva hasil analisis menggunakan aplikasi *Qblade*. Banyaknya *blade* yang akan digunakan yaitu berjumlah 3. Nilai TSR pada penelitian ini sebesar 3,8. Tabel 1. menyajikan parameter kedua.

**Tabel 1.** Parameter Kedua  
**Data Airfoil (Taper)**

<i>Airfoil</i>	CI/Cd	Alpha (°)	CI	Jumlah <i>blade</i> (unit)	Chord (m)
NACA 4212	8	12	1,015	3	0,07

## 2.2. Medesign 3D Blade

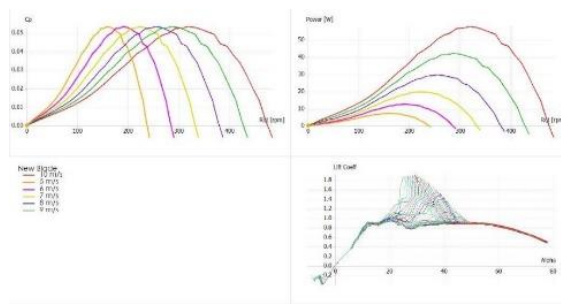
Desain *blade* yang akan dilakukan pada modul HAWT *Rotorblade design* dibagi menjadi 10 bagian dengan memasukkan nilai yang berbeda pada *pos*, *chord*, *twist*, *foil* untuk menghasilkan gambar *blade* yang ada pada Gambar 2. di bawah ini.



Gambar 2. HAWT Rotor Blade Simulation

## 2.3. Simulasi Daya Blade

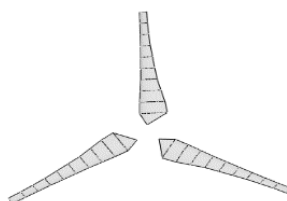
Simulasi daya dilakukan pada aplikasi *Qblade* di modul rotor BEM simulation yang akan menampilkan daya, rpm, torsi dan *thrust* yang dihasilkan dengan tampilan kurva pada kecepatan 5 m/s dengan 235,5 rpm, 6 m/s dengan 282,6 rpm, 7 m/s dengan 329,7 rpm, 8 m/s dengan 376,8 rpm, 9 m/s dengan 412,5 rpm dan 10 m/s dengan 458,3 rpm sehingga dapat terlihat performa dari *blade* yang akan digunakan. Gambar 3. menunjukkan hasil simulasi daya.



Gambar 3. Simulasi Daya Blade

## 2.4. Design Blade Turbin Angin

Hasil dari simulasi tersebut akan memperlihatkan design *blade* dengan panjang 69cm berjumlah 3 sudu dengan menggunakan aplikasi *Qblade* menggunakan tipe *horizontal* pada Gambar 4.



Gambar 4. Design Blade pada Qblade

### 2.5. Langkah-langkah Pengujian Blade Turbin Angin

Langkah penelitian ini dilakukan setelah mengumpulkan data pengukuran menggunakan anemometer di PLTH Pantai Baru Bantul dan mengolahnya untuk memastikan hasil kemampuan baling-baling dalam menghasilkan energi kinetik. Hasil pengukuran diberikan dalam m/s dan rpm. Masukkan waktu pengukuran pada kolom "Waktu". Selanjutnya kolom Kecepatan Angin menampilkan data kecepatan angin dalam satuan (m/s). Waktu pengukuran dilakukan dalam jangka waktu tertentu, yaitu setiap 30 menit, dan kolom berikutnya adalah kolom "rpm" yang berisi jumlah rpm yang dihasilkan.

### 2.6. Langkah-langkah Pemasangan Alat

Langkah-langkah merakit komponen menjadi PLTS adalah sebagai berikut:

1. Pasang tiang penyangga dudukan panel surya dan letakkan panel surya pada dudukan panel surya yang telah dirakit seperti pada Gambar 5.



**Gambar 5.** Pemasangan PV pada Rangka

2. Sebelum menjalankan pengujian, gunakan busur derajat dan aplikasi *protractor* untuk mengatur sudut kemiringan panel surya hingga  $10^\circ$ .



**Gambar 6.** Sudut Kemiringan

3. Pemasangan kabel pada panel surya secara paralel ke *solar charger controller* dan baterai secara paralel. Gambar 7. menunjukkan pemasangan kabel PV.



**Gambar 7.** Sudut Kemiringan

4. Pemasangan alat pengukur temperatur pada box panel surya untuk mengetahui temperatur yang ada pada panel surya *monocrystalline* dan *polycrystalline*. Gambar 8. menunjukkan pemasangan sensor temperatur.



**Gambar 8.** Pemasangan Sensor Temperatur

### 2.7. Langkah-langkah Pengujian Panel Surya

Langkah penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keandalan dari panel surya tipe *monocrystalline* dan *polycrystalline* merk INSCOM 30WP dalam menghasilkan energi listrik di Plth Pantai Baru, Bantul.

Pada kolom jam berisi waktu ketika pengukuran dilakukan kemudian pada kolom volt berisi tegangan yang dihasilkan, pada kolom lux berisi intensitas cahaya matahari yang dihasilkan, pada kolom ampere berisi arus yang dihasilkan setiap tipe panel surya selanjutnya pada kolom temperatur berisi berapa derajat panas pada setiap tipe panel surya lalu pada kolom watt berisi daya yang dihasilkan pada setiap panel surya.

Penelitian panel surya dilakukan pada lahan terbuka yang mendapat sinar matahari pada pukul 09.00-16.00 WIB. Intensitas radiasi matahari dan temperatur lingkungan sekitar diukur, menggunakan Lux Meter Digital dan dilakukan setiap 30 menit selama rentang waktu tersebut. Data arus (I) dan tegangan (V) pada keluaran masing-masing jenis panel surya dikumpulkan menggunakan amplifier penjepit dan meter energi untuk mengetahui daya yang dihasilkan pada sudut kemiringan 10°. Ini terjadi setiap 30 menit dari jam 9 pagi sampai jam 4 sore. Pengolahan data dilakukan menggunakan Persamaan 5.

$$P = V \times I \quad (5)$$

Keterangan:

P = Watt

V = Tegangan

I = Arus

Untuk mencari nilai efisiensi masing-masing jenis panel surya dapat menggunakan Persamaan 6.

$$\eta = \frac{V \times I}{Cd} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan:

$\eta$  = Efisiensi panel surya (%)

V = Tegangan

I = Arus

Cd = Intensitas cahaya matahari

### 2.8. Analisis Perancangan PLTH (Turbin Angin dan Panel Surya)

PLTH (Pembangkit Listrik Tenaga Hibrid) merupakan inovasi pembangkit listrik energi terbarukan yang dapat dijadikan solusi bagi wilayah yang belum terjangkau listrik PLN. Karena sumber energi terbarukan seperti air, angin, dan matahari banyak tersedia di alam, pembangkit listrik ini juga dapat menjadi sarana investasi. Dalam keadaan seperti ini, alternatif untuk memenuhi kebutuhan listrik masyarakat adalah dengan memanfaatkan sinar matahari dengan menggunakan panel surya dan turbin angin yang memanfaatkan kecepatan angin yang diharapkan dalam PLTH. Dalam diskusi tersebut diharapkan desain *hybrid* dapat memenuhi kebutuhan energi

listrik di daerah terpencil. Perancangan yang akan dilakukan di dasarkan pada intensitas sinar matahari dan kecepatan angin sehingga membutuhkan desain dari *blade* dan pemilihan panel surya yang sesuai dengan melihat kondisi lingkungan agar dapat menghasilkan listrik dengan baik.

### 3. Hasil Dan Pembahasan

#### 3.1. Tabel Parameter Awal

**Tabel 2.** Parameter Awal

Parameter Awal <i>Blade</i>										
Efisiensi						Daya angin (W)	V max (m/s)	Luas sapuan (m <sup>2</sup> )	Jari-jari (m)	Jari-jari yang digunakan (m)
Kapasitas Daya Listrik (W)	<i>Blade</i>	Transmisi	Generator	<i>Controller</i>	Sistem					
55	0,3	1	0,9	0,9	0,243	226,3	1,71	0,74	0,69	
	0,4				0,324	169,8	6,0	1,28		0,64

#### 1. Nilai Sistem ( $\eta_{sistem}$ )

$$\eta_{sistem} = \eta_{generator} \times \eta_{controller}$$

$$\eta_{sistem} = 0,3 \times 0,9 \times 0,9$$

$$\eta_{sistem} = 0,243$$

#### 2. Hasil Daya Angin

$$P_{udara} = \frac{Output\ Daya\ Listrik}{\eta_{sistem}}$$

$$P_{udara} = \frac{55}{0,243}$$

$$P_{udara} = 226,6$$

#### 3. Hasil Luas Sapuan Udara (A)

$$A = \frac{2 \times P_{udara}}{P_{udara} \times V_{udara}^3}$$

$$A = \frac{2 \times 226,6}{1,225 \times (6,0)^3}$$

$$A = 1,71$$

#### 1. Jari-jari

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$R = \sqrt{\frac{1,71}{3,14}}$$

$$R = 0,74$$

Hasil dari parameter geometri *blade* nantinya akan dimasukan pada aplikasi *Qblade* untuk mengatur nilai pada modul *design blade HAWT rotorblade design* sehingga dapat menghasilkan gambar 3D. Nilai parameter geometri *blade* dilihat pada tabel 3. Hasil daya yang dihasilkan pada *design blade* menghasilkan daya sebesar 55watt, nilai tersebut bisa lebih besar tergantung pada kondisi lingkungan sebenarnya dan kecepatan angin pada daerah tertentu. Kekuatan dorongan angin juga mempengaruhi daya yang akan dihasilkan oleh *blade* pada saat angin mengenai *blade*. Efisiensi pembangkit listrik tenaga angin dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti bentuk *blade*, kecepatan angin, dan aerodinamika [10]–[12]. Jumlah sudu mempengaruhi kecepatan dan



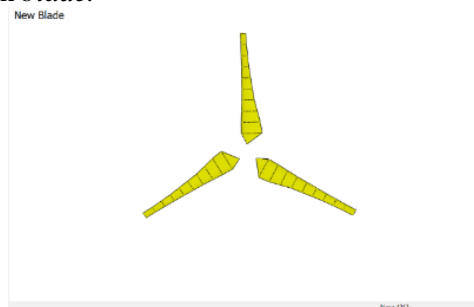
efisiensi turbin, sehingga diperlukan jumlah sudu yang optimal untuk memaksimalkan kinerja dan efisiensi [13].

**Tabel 3. Geometri Blade**

Geometri Blade			
Elemen	Jari-jari (m)	Twist (°)	Chord (m)
0 (Pangkal)	0,06	0	0
1	0,129	2,5	0,1300
2	0,198	5	0,1200
3	0,267	7,5	0,1000
4	0,336	10	0,0800
5	0,405	12,5	0,0700
6	0,474	15	0,0600
7	0,543	17,5	0,0500
8	0,612	20	0,0500
9	0,681	22,5	0,0400
10	0,75	25	0,0400

**3.2. Hasil Perancangan Blade**

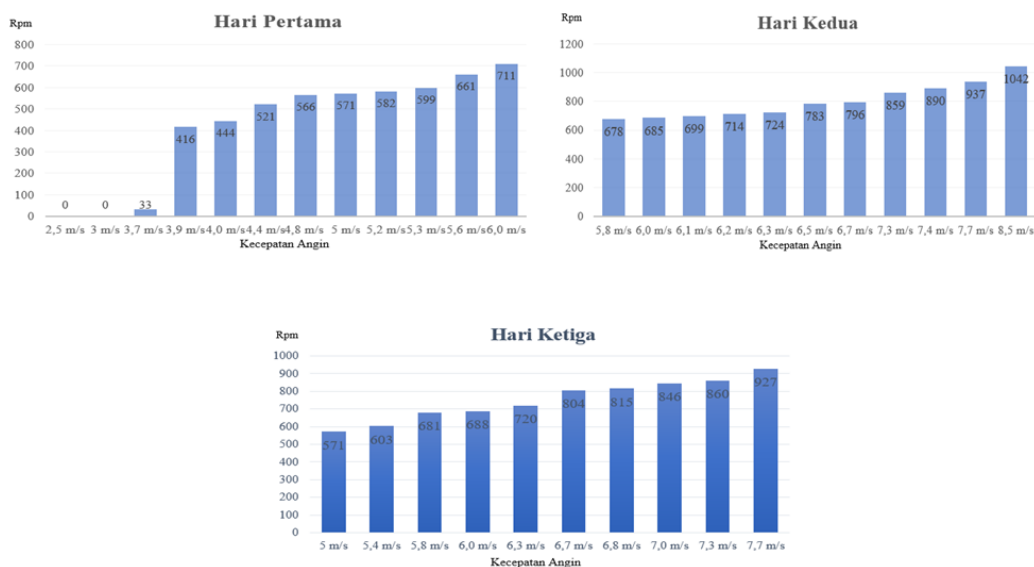
Pada hasil perancangan menggunakan aplikasi *Qblade* dapat memperoleh desain dengan menggunakan perhitungan parameter awal pada tabel 2. kemudian, hasil pembuatan *blade* yang dilakukan di PLTH Pantai Baru, Bantul memiliki persamaan desain yang ada pada aplikasi *Qblade*, komposisi dari bahan yang digunakan yaitu resin, serat *cluth*, serat WR dan serat *mate* dalam proses pembuatan, sehingga menghasilkan 3 buah sudu *blade* dengan panjang 69 cm dengan berat 460 gram. Gambar 9 dan 10 menunjukkan hasil desain dari *blade* pada aplikasi *Qblade* dan hasil pembuatan *blade*.



**Gambar 9. Desain Pada Qblade**

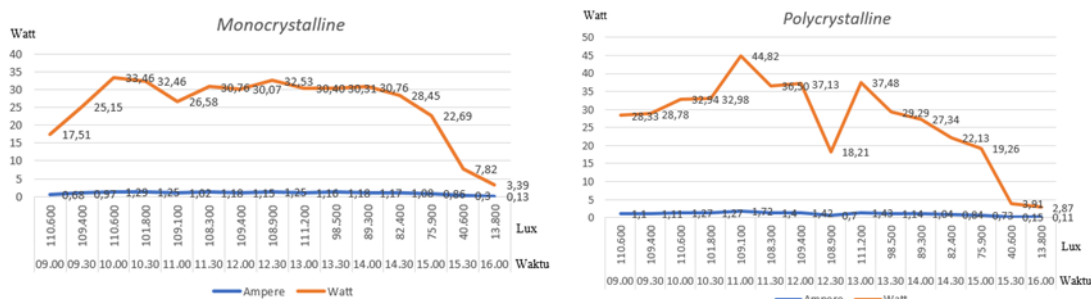


**Gambar 10. Hasil Pembuatan Blade**



Gambar 11. Pengujian Kecepatan Angin dan Kondisi Blade

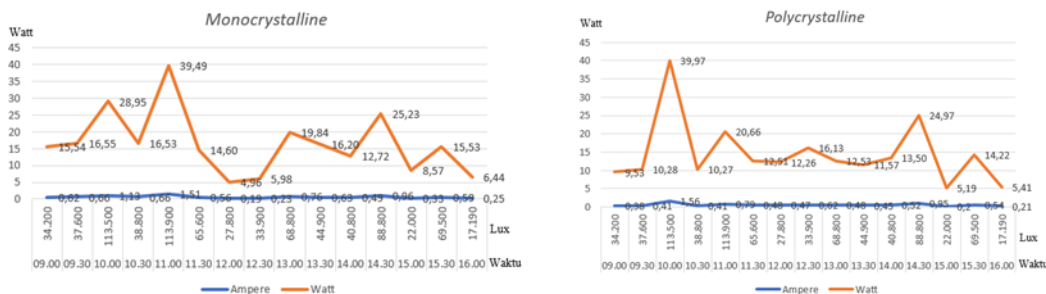
Pada pengujian hari pertama diperoleh hasil bahwa sudu-sudu tidak dapat berputar pada kecepatan angin 2,5 m/s dan 3 m/s karena daya dorong angin yang kurang kuat. Namun pada kecepatan angin 3,7 m/s, sudu-sudu mulai berputar pada kecepatan 33 rpm, dan pada kecepatan angin berkisar antara 3,9 m/s hingga 6,0 m/s, sudu-sudu dapat berputar dengan kecepatan antara 416 rpm dan 711 rpm. Pada hari kedua, kecepatan angin meningkat sehingga baling-baling dapat mencapai putaran yang lebih tinggi dibandingkan pada hari pertama. Pada kecepatan angin 5,8 m/s hingga 6,7 m/s terjadi putaran 678 rpm hingga 796 rpm, sedangkan pada kecepatan angin 7,3 m/s hingga 8,5 m/s putaran sudu mencapai 859 rpm/menit hingga 1042 rpm. Pada hari kedua, kinerja *bladenya* jauh lebih baik dan menghasilkan lebih banyak suara. Walaupun kecepatan angin pada hari ketiga sedikit lebih rendah dibandingkan hari kedua, namun putaran baling-baling relatif stabil dan nilai kecepatannya tidak banyak berubah. Kecepatan angin 5–5,8 m/s menghasilkan putaran 571–681 rpm, kecepatan angin 6,0 m/s sampai 6,8 m/s menghasilkan putaran 688 rpm/menit sampai 815 rpm. Kecepatan angin mencapai 7,0 m/s hingga 7,7 m/s, kecepatan putaran sudu mencapai 846 rpm hingga 927 rpm.



Gambar 12. Hari Pertama Monocrystalline dan Polycrystalline

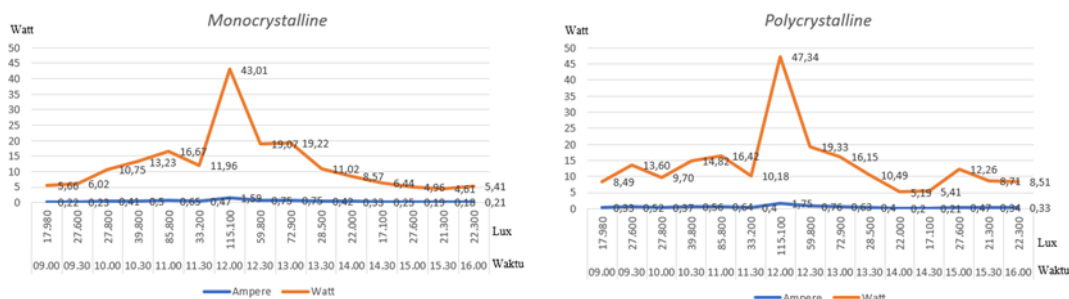
Data hasil pengujian panel surya membenarkan pengujian tersebut, menunjukkan cuaca panas

antara pukul 09.00 hingga 16.00 WIB, berdasarkan nilai lux yang diperoleh. Dalam pengujian, panel surya *monocrystalline* menghasilkan daya rata-rata sebesar 25,49 Watt, sedangkan panel surya *polycrystalline* menghasilkan daya rata-rata sebesar 26,80 Watt hingga batas waktu pengujian pukul 16.00 WIB. Pada pengujian hari pertama, tipe *polycrystalline* dengan efisiensi 29,1% mengungguli tipe *monocrystalline* dengan efisiensi 27,7%.



Gambar 13. Hari Kedua *Monocrystalline* dan *Polycrystalline*

Pengujian hari kedua pembangkitan listrik menurun selama pengujian sehingga menghasilkan pembangkitan listrik yang lebih rendah dibandingkan hari pertama pengujian. Hal ini dikarenakan cuaca yang lebih mendung. Pada pengujian ini, dua panel surya *monocrystalline* menghasilkan keluaran rata-rata 16,48 watt, dan satu panel surya *polycrystalline* menghasilkan keluaran rata-rata 14,60 watt. Hasilnya, efisiensi jenis *monocrystalline* adalah 30,3%, sedangkan jenis *polycrystalline* mencapai efisiensi 26,5%, dan pada pengujian hari kedua efisiensi jenis *monocrystalline* lebih tinggi.



Gambar 14. Hari Ketiga *Monocrystalline* dan *Polycrystalline*

Kondisi cuaca pada pengujian hari ketiga tidak berbeda nyata dengan pengujian kedua. Nilai rata-rata daya pada tipe *monocrystalline* sebesar 12,44 Watt, sedangkan tipe *polycrystalline* memperoleh hasil rata-rata sebesar 13,77 Watt. Kemudian pada nilai efisiensi pada tipe *monocrystalline* mendapatkan sebesar 30,1% sedangkan pada tipe *polycrystalline* mendapatkan nilai efisiensi sebesar 33,3%. Pengujian hari ketiga menunjukkan bahwa jenis *polycrystalline* lebih baik dibandingkan jenis *monocrystalline* dalam menghasilkan energi listrik. Selama tiga hari pengujian, panel surya *polycrystalline* menghasilkan daya dengan rata-rata sebesar 18,39 Watt, sementara panel surya *monocrystalline* menghasilkan daya dengan rata-rata 18,14 Watt. Dari data ini, dapat disimpulkan bahwa panel surya *polycrystalline* sedikit lebih unggul dalam menghasilkan daya listrik dibandingkan dengan panel surya *monocrystalline* selama periode pengujian tersebut. Meskipun perbedaan ini tidak terlalu signifikan, hasilnya menunjukkan bahwa dalam kondisi yang diuji, panel *polycrystalline* memiliki kinerja yang sedikit lebih baik dalam hal efisiensi daya yang dihasilkan. Panel surya *polycrystalline* menunjukkan kinerja yang lebih baik dalam pengujian ini dikarenakan kemampuannya yang lebih efektif dalam menangani variasi dan performa yang lebih stabil dalam kondisi cahaya rendah atau tersebar, seperti saat cuaca mendung. *Polycrystalline* cenderung mempertahankan efisiensinya dengan lebih baik dalam situasi yang mana intensitas cahaya matahari tidak optimal, dibandingkan dengan *monocrystalline*. Selain itu,

proses produksi *polycrystalline* yang lebih sederhana dan murah juga membuatnya lebih terjangkau, menjadikannya pilihan yang lebih baik dalam aplikasi tertentu, terutama di daerah yang membutuhkan panel dalam jumlah besar tetapi dengan anggaran terbatas [14], [15]. Meskipun perbedaan ini bersifat relatif dan tergantung pada kondisi lingkungan, *polycrystalline* memiliki keunggulan dalam situasi pengujian yang melibatkan variasi kondisi cuaca. Pernyataan ini diperkuat oleh studi lain di daerah pegunungan menyimpulkan bahwa panel *polikristalin* lebih efisien dibandingkan panel *monokristalin* [16].

Hasil analisis yang dilakukan di PLTH Pantai Baru, Bantul dalam pembuatan sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) menghasilkan sebuah *blade* turbin angin 3 sudu tipe *horizontal* dengan panjang 69 cm dan berat 460 gram yang akan berputar pada kecepatan angin 3,7 m/s sehingga dapat digunakan di PLTH Pantai Baru, Bantul yang mempunyai kecepatan angin 4 m/s. Pada panel surya tipe *polycrystalline* merk INSCOM 30 WP lebih unggul dalam menghasilkan energi listrik dengan daya rata-rata yang dihasilkan selama 3 hari yaitu 55,17 Watt dan efisiensi sebesar 29,6%. Dengan adanya analisis yang sudah dilakukan sehingga menghasilkan penggabungan dari kedua alat yaitu *blade* turbin angin 3 sudu tipe *horizontal* dan Panel surya tipe *polycrystalline* merk INSCOM 30 WP dapat dijadikan dasar perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH) dalam memanfaatkan energi angin dan intensitas cahaya matahari di PLTH Pantai Baru, Bantul.

#### 4. Kesimpulan dan Saran

##### 4.1. Kesimpulan

3 sudu tipe horizontal dan panel surya tipe *polycrystalline* lebih efisien dalam menghasilkan Setelah penelitian dari Rancang Bangun *Blade* Turbin Angin Tipe Horizontal 3 Sudu dan Panel Surya Tipe *Monocrystalline* dan *Polycrystalline* sebagai dasar perancangan PLTH, beberapa kesimpulan dapat diambil. Pertama, jenis *blade* turbin angin yang sesuai untuk PLTH Pantai Baru, Bantul, adalah *blade* taper tipe horizontal 3 sudu, yang efektif pada kecepatan angin rendah dan mampu menggerakkan rotor generator dengan baik, menghasilkan aliran listrik lebih besar dibandingkan jenis lainnya. Kedua, perancangan menghasilkan *blade* turbin angin 3 sudu tipe horizontal dengan panjang 69 cm dan berat 460 gram menggunakan resin, serat WR, mate, dan cluth. Ketiga, hasil pengujian menunjukkan *blade* dapat berputar pada kecepatan angin minimal 3,7 m/s hingga 8,5 m/s, menghasilkan rata-rata 662 rpm selama 3 hari pengujian. Keempat, panel surya tipe *polycrystalline* lebih unggul dalam menghasilkan energi listrik, dengan daya rata-rata 55,17 Watt dan efisiensi 29,6% dari pengujian selama 3 hari. Kelima, analisis menunjukkan bahwa perancangan turbin angin dengan *blade* energi listrik, menjadi dasar untuk pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (PLTH).

##### 4.2. Saran

Saran berikut dapat direkomendasikan untuk penelitian selanjutnya: Pertama, membuat analisis lebih lanjut terhadap berbagai jenis *blade* turbin angin dengan memperhatikan kecepatan angin di setiap wilayah tertentu untuk menentukan jenis *blade* yang paling cocok. Kedua, melakukan analisis ekonomi untuk mengevaluasi biaya pembuatan pembangkit tersebut. Ketiga, mendalami proses pembuatan *blade* turbin angin dan bahan-bahan yang digunakan guna menghindari kesalahan dalam proses produksi. Keempat, mengambil data cuaca yang mendukung agar panel surya dapat beroperasi secara optimal. Kelima, melakukan analisis ekonomi untuk menentukan pemasangan panel surya pada lokasi yang tepat sehingga dapat mengurangi biaya yang dikeluarkan.

#### 5. Daftar Pustaka

- [1] S. Younoussi and A. Ettaouil, "Numerical Study of a Small Horizontal-Axis Wind Turbine Aerodynamics Operating at Low Wind Speed," *Fluids*, vol. 8, no. 7, 2023, doi: 10.3390/fluids8070192.

- [2] D. Sarkar, S. Shukla, N. Alom, P. Sharma, and B. J. Bora, “Investigation of a Newly Developed Slotted Bladed Darrieus Vertical Axis Wind Turbine: A Numerical and Response Surface Methodology Analysis,” *J. Energy Resour. Technol. Trans. ASME*, vol. 145, no. 5, 2023, doi: 10.1115/1.4056331.
- [3] M. E. Murniati, “Analisis Potensi Energi Angin Sebagai Pembangkit Energi Listrik Tenaga Angin Di Daerah Banyuwangi Kota Menggunakan Database Online-BMKG,” *J. Surya Energy*, vol. 6, no. 1, pp. 9–16, 2022, doi: 10.32502/jse.v6i1.3364.
- [4] P. Jumrusprasert, G. Smith, and L. Kirkup, “Comparing the efficiency of fixed solar cell panels in a tropical location,” in *ISES Solar World Congress 2007, ISES 2007*, 2007, vol. 2, pp. 1478 – 1483. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84875876948&partnerID=40&md5=32d2e106e969b9ccd7346b2bfef830fc>
- [5] N. S. Baghel and N. Chander, “Performance comparison of mono and polycrystalline silicon solar photovoltaic modules under tropical wet and dry climatic conditions in east-central India,” *Clean Energy*, vol. 6, no. 1, pp. 929 – 941, 2022, doi: 10.1093/ce/zkac001.
- [6] A. Celna, K. Das, M. P. S. Gryning, M. K. Bakhshizadeh, P. E. Sørensen, and A. D. Hansen, “HYBRID POWER PLANTS WITH OFFSHORE WIND, ONSHORE PV, BESS AND P2X TECHNOLOGIES,” *IET Conf. Proc.*, vol. 2023, no. 20, pp. 132 – 138, 2023, doi: 10.1049/icp.2023.2728.
- [7] U. R. Fischer, H.-J. Krautz, M. Wenske, D. Tannert, P. Krüger, and C. Ziems, *Hydrogen Hybrid Power Plant in Prenzlau, Brandenburg*, vol. 2. Wiley-VCH Verlag, 2016. doi: 10.1002/9783527674268.ch44.
- [8] C. Serrano-Sanchez, M. Olmeda-Delgado, and F. Petrakopoulou, “Exergy and economic evaluation of a hybrid power plant coupling coal with solar energy,” *Appl. Sci.*, vol. 9, no. 5, 2019, doi: 10.3390/app9050850.
- [9] - Sahid and S. Priyoatmojo, “Rancang Bangun Turbin Angin Poros Horizontal Tiga Sudu Flat Berlapis Tiga Dengan Variasi Sudut Dan Posisi Sudu,” *Eksergi*, vol. 15, no. 1, p. 14, 2019, doi: 10.32497/eksergi.v15i1.1462.
- [10] L. Wang, W. Wang, J. Gong, K. Liao, C. Hu, and X. Li, “Generating Capacity Improvement Method and Analysis for the Large Horizontal Axis Wind Turbine,” in *2022 3rd International Conference on Advanced Electrical and Energy Systems, AEES 2022*, 2022, pp. 47 – 51. doi: 10.1109/AEES56284.2022.10079617.
- [11] K. A. Adeyeye, N. Ijumba, and J. Colton, “The Effect of the Number of Blades on the Efficiency of A Wind Turbine,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 801, no. 1. doi: 10.1088/1755-1315/801/1/012020.
- [12] X.-Y. Qian, “Design of wind power generator’s blades based on computer,” *Nanjing Li Gong Daxue Xuebao/Journal Nanjing Univ. Sci. Technol.*, vol. 36, no. SUPPL.1, pp. 115 – 120, 2012, [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84865365052&partnerID=40&md5=9f7fc7136a99f636ad7b78843b795bf5>
- [13] R. H. G. Tan and M. Y. W. Teow, “The Performance Evaluation of Horizontal Axis Wind Turbine Torque and Mechanical Power Generation Affected by the Number of Blade,” in *MATEC Web of Conferences*, 2016, vol. 70. doi: 10.1051/mateconf/20167003002.
- [14] L. Arnberg, M. Di Sabatino, and E. Øvrelid, “Solidification of silicon for solar cells,” *Trans. Indian Inst. Met.*, vol. 65, no. 6, pp. 509 – 513, 2012, doi: 10.1007/s12666-012-0165-2.
- [15] G. Petrone and G. Spagnuolo, *Solar Power Conversion*. CRC Press, 2011. doi: 10.1201/NOE1439802892-35.

- [16] W. Yandi, M. Y. Puriza, and K. Jumaida, “Comparative study of electrical energy conversion on monocrystalline and polycrystalline solar panel types in fixed position with various weather conditions in mountain area,” in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2021, vol. 926, no. 1. doi: 10.1088/1755-1315/926/1/012053.