

## Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sumbu Vertikal

Ahmad Rosyid Idris<sup>1)</sup>, Fischer Siampa<sup>2)</sup>, Nirwan A. Noor<sup>3)</sup>, Sarma Thaha<sup>4)</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Teknik Elektro, Politeknik Negeri Ujung Pandang .

email : ahmadrosyid@poliupg.ac.id<sup>1)</sup>, siampafischer@gmail.com

<sup>2)</sup>nirwanpnup@gmail.com<sup>3)</sup>,Sarma@poliupg.ac.id



### Abstract

Salah satu energi terbarukan yang berkembang pesat di dunia saat ini adalah energi angin. Energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel. Energi angin dapat diambil oleh turbin angin dan dapat dikonversi menjadi energi listrik dengan menggunakan alat pembangkit listrik yang tepat. Wilayah Indonesia memiliki potensi angin yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan energi terbarukan sebagai alternatif pembangkit listrik yang selama ini lebih banyak menggunakan bahan bakar minyak bumi.

Pemanfaatan energi angin dapat dilakukan mulai dari kecepatan angin 1,6 m/s sampai dengan 17,1 m/s untuk menghasilkan energi listrik. Untuk dapat memanfaatkan energi angin dengan baik diperlukan turbin angin yang dapat mengkonversi menjadi energi listrik. pemanfaatan energi angin ini adalah mengubah energi dari angin menjadi energi putar pada kincir angin, lalu kincir angin digunakan untuk memutar generator yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Sebenarnya prosesnya tidak semudah itu, karena terdapat berbagai macam sub-sistem (konstruksi/bagian-bagian utama) yang dapat meningkatkan safety dan efisiensi dari turbin angin itu sendiri. Bagian

Perancangan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) skala kecil dengan jumlah sudu yang akan digunakan yaitu 3, 4 dan 6 sudu menjadi fokus perancangan Yang dapat diaplikasikan pada kecepatan angin rendah dan arah angin yang berubah-ubah.

**Keywords:** Energi angin, TASV, Sudu

### I. PENDAHULUAN

Wilayah Indonesia memiliki potensi angin yang dapat dimanfaatkan untuk pengembangan energi terbarukan sebagai alternatif pembangkit listrik yang selama ini lebih banyak menggunakan bahan bakar minyak bumi. Isu energi terbarukan dan ramah lingkungan menjadi fokus penelitian di beberapa negara mendorong terciptanya energi alternatif yang ramah lingkungan salah satunya pemanfaatan turbin angin untuk menghasilkan energi listrik. Perancangan dan pengembangan turbin angin menjadi topik yang menarik perhatian banyak peneliti dengan adanya isu di atas. Jenis Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) memiliki beberapa kelebihan dibandingkan jenis Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) diantaranya karena karakteristik TASV yang dapat bergerak tanpa tergantung arah angin. Selain itu, karena TASV memiliki sumbu putar vertikal sehingga dalam posisi pemasangan transmisi beserta generatornya dapat ditempatkan di ground sehingga memudahkan dalam melakukan perawatan serta mengurangi berat dari TASV itu sendiri. Turbin angin skala kecil juga ikut dibuat dan dikembangkan hingga saat ini karena memiliki beberapa kelebihan. Kelebihan itu diantaranya tidak terbatasnya daerah atau lokasi pemasangan turbin angin karena

ukurannya yang kecil sehingga dapat ditempatkan di daerah seperti perkotaan. Untuk turbin angin skala kecil, jenis TASV sangatlah cocok digunakan di daerah perkotaan karena karakteristik TASV yang dapat bergerak tanpa tergantung arah angin, hal ini sesuai dengan karakteristik angin perkotaan. Selain itu, TASV dapat bergerak dan menghasilkan energi listrik pada kondisi kecepatan angin yang rendah. Penelitian ini fokus pada perancangan TASV skala kecil yang dapat diaplikasikan pada kecepatan angin rendah dan berubah-ubah arah seperti karakteristik angin di perkotaan Indonesia.

Sulawesi Selatan (Sulsel) menyimpan potensi besar sumber energi terbarukan Khususnya energy angina, seperti Watang Pulu Sidrap, dengan kecepatan angin 7,04 m/s dan petensi energy yang dihasilkan yaitu 100 MW, Tolo Binamu, jeneponto 8,11 m/s dengan potensi energy yang dihasilkan 132,5 MW dan Bungaiya, Pulau selayar 4,0 m/s dengan potensi energy yang dihasilkan 10 MW. Belum lagi dengan pembangkit tenaga angin skala kecil, energi surya, dan bioenergy. Pemanfaatan angin sebagai sumber listrik di Sulawesi selatan dinilai sangat memadai, karena secara umum kecepatan angin di Sulawesi selatan berkisar 2-4 m/detik. sehingga cukup memadai untuk

pembangkit listrik tenaga angin skala kecil. Dengan adanya potensi angin yang memadai maka pemanfaatan energy angin untuk menghasilkan energy listrik dapat dilakukan.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### A. Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu merupakan salah satu referensi yang diperlukan oleh penulis dalam menyelesaikan tulisan. Selain itu, kajian terdahulu diperlukan agar proses penulisan dilakukan agar lebih optimal. Ada beberapa kajian penelitian yang sudah dilakukan penulis - penulis sebelumnya, diantaranya penelitian yang dilakukan oleh Daryanto (2007) dalam penelitian Kajian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, mengatakan pada umumnya turbin yang memiliki jumlah blade yang banyak, memiliki torsi yang besar, sehingga dapat diketahui bahwa semakin sedikit jumlah blade pada turbin angin, torsi semakin kecil. Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Dewi L, M (2010) yaitu Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal dengan Modifikasi Rotor Savonius L untuk Optimasi Kinerja Turbin, semakin besar sudut kelengkungan turbin, jari-jari turbin semakin besar, ini menyebabkan gaya hambat yang dialami turbin pun semakin besar sehingga kecepatan putar turbin berkurang, besar jari-jari turbin mempengaruhi besar torsi, namun putaran yang dihasilkan turbin semakin kecil, tetapi penelitian yang dilakukan oleh Dewi L, M (2010) hanya menggunakan jari-jari turbin yang relatif kecil yaitu 7,3 cm, dan proses percobaan masih menggunakan kipas angina sebagai sumber angin agar mudah melakukan pengukuran angin menggunakan anemometer. Sudut pada turbin angin merupakan salah satu komponen utama yang mempengaruhi turbin untuk menghasilkan putaran maksimal. Menurut Rusnoto, dan Laudi Shofani (2010) dalam penelitian tentang Pengaruh Susunan Sudut Turbin Angin Savonius terhadap Karakteristik Daya Turbin, konsep turbin angin savonius ini sangat praktis dan sederhana, tidak terpengaruh oleh arah angin dan dapat dioperasikan di daerah pantai. Eksperimen perbandingan pengaruh susunan blade pada turbin angin savonius memberikan hasil yang berbeda dari tiap-tiap kecepatan angina pada setiap susunan blade pada turbin angin yang berbeda yang berindikasi pada putaran rotor, sehingga mempengaruhi karakteristik daya turbin. Penelitian berikutnya

yang dilakukan oleh Adityo Putranto dkk (2011), yaitu tentang Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal untuk Penerangan Rumah Tangga. Hasil yang diperoleh dari penelitian tersebut adalah turbin angin dapat membangkitkan daya lampu sebesar 6 watt. Penelitian tersebut menggunakan 6-blade turbin angina dengan mengansumsikan nilai RPM sebesar 40 RPM dan kecepatan angin sebesar 6,3 m/s. Salah satu fungsi turbin angin adalah sebagai penggerak pompa air. Menurut Slamet Riyadi dkk (2013) dalam penelitian tentang Turbin Angin Poros Vertikal untuk Penggerak Pompa Air, hasil penelitian diperoleh data yaitu daya terbesar turbin angin poros vertikal 68,32 watt yang menghasilkan debit air sekitar 0,000143 m<sup>3</sup>/s, dengan daya pompa 0,42 watt dan karakter dari turbin angin poros vertikal ini dapat berputar jika dikenai kecepatan angin yang rata-rata 3 m/s, sehingga turbin angin poros vertikal ini membutuhkan tempat yang lapang atau tinggi untuk mendapatkan hasil yang lebih maksimal sehingga blade dapat berputar dengan baik pula, dalam pengambilan data mencari debit air yang maksimum dari pengujian kecepatan angin 1 m/s sampai dengan 4 m/s diperoleh debit air yang paling tinggi.

### B. Pengenalan Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik.

#### 1. Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. TASV mampu

mendayagunakan angin dari berbagai arah.

#### 2. Prinsip Kerja Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)

Prinsip kerja Vertical Axis Wind Turbine menghasilkan energi listrik adalah sebagai berikut:

- a) Dorongan angin akan menerpa baling-baling/sudu dan menggerakkan rotor.
- b). Putaran rotor yang tidak menentu, memerlukan gearbox untuk menstabilkan putaran ke mesin turbin (memperlambat).
- c). Gerakan kemudian dikonversi/diubah menjadi energi listrik oleh Turbin.

- d).Arus listrik yang dihasilkan adalah arus DC.
  - e).Arus DC yang mengalir ke inverter, diubah menjadi arus AC.
  - f).Energi listrik kemudian disimpan di baterai dan siap untuk digunakan.
3. Kelebihan Turbin Angin Sumbu Vertikal Berikut beberapa kelebihan turbin Angin Sumbu vertical :
- a) Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
  - b) Bisa diletakkan lebih dekat ke tanah, membuat pemeliharaan bagian-bagiannya yang bergerak jadi lebih mudah.
  - c)Memiliki sudut airfoil (bentuk bilah sebuah baling-baling yang terlihat secara melintang) yang lebih tinggi, memberikan keaerodinamisan yang tinggi sembari mengurangi drag pada tekanan yang rendah dan tinggi.
  - d)Memiliki tip speed ratio (perbandingan antara kecepatan putaran dari ujung sebuah bilah dengan laju sebenarnya angin) yang lebih rendah sehingga lebih kecil kemungkinannya rusak di saat angin berhembus sangat kencang.
  - e)Bisa didirikan pada lokasi-lokasi dimana struktur yang lebih tinggi dilarang dibangun.
  - f)Tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah.
  - g)Rangkaian yang sederhana.

**C. Potensi energi angin**

Proses pemanfaatan Potensi energi angin dilakukan melalui dua tahapan konversi energi, pertama aliran angin akan menggerakkan rotor (baling- baling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin yang bertiup, kemudian putaran dari rotor dihubungkan dengan generator, dari generator inilah dihasilkan arus listrik. Jadi proses tahapan konversi energi bermula dari energi kinetik angin menjadi energi gerak rotor kemudian menjadi energi listrik.

Syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan jari-jari kincir angin 1 meter dapat dilihat pada tabel berikut  
Tabel 1. Kecepatan Angin

Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di atas permukaan Tanah		
Kelas	Kecepatan	Kondisi Alam di Daratan
1	0,00-0,02	.....
2	0,3 - 1,5	Angin tenang, Asap lurus ke atas
3	1,6 - 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3,4 - 5,4	Wajah terasa ada angin, daun2 bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5,5 - 7,9	Debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8,0 - 10,7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10,8 - 13,8	Ranting pohon besar bergoyang, air pihmpang berombak kecil
8	13,9 - 17,1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga
9	17,2 - 20,7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat melawan arah angin
10	20,8 - 24,4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24,5 - 28,4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28,5 - 32,6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32,7 - 36,9	Tornado

Klasifikasi angin pada kelompok 3 adalah batas minimum dan angin pada kelompok 8 adalah batas maksimum energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik.

**1. Potensi Energi Angin di Sulawesi Selatan**

Sulawesi Selatan (Sulsel) menyimpan potensi besar sumber energi terbarukan Khususnya energi angina. Berdasarkan data yang dihimpun oleh BMKG diketahui bahwa daerah disulawesi selatan, seperti Watang Pulu Sidrap, dengan kecepatan angin 7,04 m/s memiliki petensi energi yaitu 100 MW, Tolo Binamu, jeneponto 8,11 m/s dengan potensi energi yang dihasilkan 132,5 MW dan Bungaiya, Pulau selayar 4,0 m/s dengan potensi energy yang dihasilakn 10 MW.

**D. Sistem Konversi Energi Angin (SKEA)**

Angin adalah udara yang bergerak. Besarnya energi kinetik yang tersimpan pada angin dengan massa (m) dan kecepatan (v) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$EK = \frac{mv^2}{2} \tag{1}$$

Keterangan :

EK = Energi kinetic

m = Massa udara

v = Kecepatan angin (m/s).

Volume udara per satuan waktu (debit) yang bergerak dengan kecepatan v dan melewati daerah seluas A adalah :

$$V = vA \tag{2}$$

Massa udara yang bergerak dalam satuan waktu dengan kerapatan ρ, yaitu:

$$m = \rho V = \rho vA \tag{3}$$

Sehingga energi kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah:

$$Pw = \frac{\rho Av^3}{2} \tag{4}$$

Keterangan :

$P_w$  = Daya angin (Watt),

$\rho$  = Kerapatan udara ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ),

$A$  = Luas penampang ( $\text{m}^2$ ),

$v$  = Kecepatan angin ( $\text{m}/\text{s}$ ).

Luas daerah sapuan untuk turbin angin Savonius adalah tinggi rotor ( $H$ ) dikali diameter ( $D$ ). Maka luas penampang yang digunakan yaitu  $1/2$  Luas Permukaan Tabung ( $A$ ).

$$A = \pi r(r+t) \quad (5)$$

Keterangan :

$A$  = Luas penampang ( $\text{m}^2$ )

$r$  = Jari-jari (m)

$t$  = tinggi tabung (m)

Setiap rotor dari turbin angin memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Dengan memasukkan koefisien daya ( $C_p$ ), maka daya mekanik aktual ( $P$ ) yang diperoleh dari energi kinetik angin menjadi.

#### 1. Tip Speed Ratio (TSR)

*Tip Speed Ratio* (TSR) merupakan perbandingan antara kecepatan putar turbin terhadap kecepatan angin. TSR dilambangkan dengan  $\lambda$  rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin dengan nominal yang tertentu maka TSR akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor. Turbin angin tipe horizontal akan memiliki TSR yang relatif lebih besar dibandingkan dengan turbin angin tipe vertikal. TSR dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega R}{V_w} \quad (6)$$

Keterangan :

$\lambda$  = tip speed ratio

$\omega$  = kecepatan sudut turbin ( $\text{rad}/\text{s}$ )

$R$  = jari-jari turbin (m)

$V_w$  = Kecepatan Angin ( $\text{m}/\text{s}$ )

Selain menggunakan persamaan (6), TSR juga dapat diperoleh dari persamaan :

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 V_w} \quad (7)$$

Keterangan:

$n$  = Rotational speed (rpm)

$D$  = Diameter turbin (m)

$V_w$  = Kecepatan Angin ( $\text{m}/\text{s}$ )

#### 2. Koefisien Daya (CP)

Koefisien daya adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh rotor dengan daya angin, nilai koefisien daya tidak akan melebihi nilai ideal yaitu sebesar 0.593. Persamaan koefisien daya sebagai berikut :

$$C_p = \frac{P_g / \eta_g}{\rho A v^3 / 2} \quad (8)$$

Keterangan :

$P_g$  = Daya generator

$\eta_g$  = Efisiensi generator

### III. METODE PENELITIAN

Kegiatan penelitian Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sumbu Vertikal dilakukan di Bengkel Mekanik dan Laboratorium Mesin Listrik Program Studi Teknik Listrik Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Ujung Pandang. Penelitian dilakukan selama 6 bulan, mulai dari bulan januari sampai dengan bulan juni 2020. Tahapan-tahapan yang dilakukan pada penelitian meliputi:

#### A. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dari kegiatan ini didasarkan pada referensi terbuka berupa buku dan web portal yang membahas tentang sistem kerja Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sumbu Vertikal. Untuk melengkapi data yang telah diperoleh, berupa tolak ukur keberhasilan rancangan maka dilakukan pula pengumpulan data melalui metode observasi.

#### B. Penyusunan Konsep

Penyusunan Konsep didasarkan pada data yang telah telah diperoleh, dan kemudian digunakan untuk dasar perancangan awal dari Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. Output yang dihasilkan dari tahapan ini adalah berupa data rancangan yang telah benar-benar siap untuk masuk ketahap perancangan, termasuk seluruh struktur komponen didalamnya.

#### C. Perancangan Kerangka Bangun dan Turbin Angin

Desain perancangan alat menggunakan sebuah *software* dan *output* digunakan untuk mempermudah perakitan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sumbu Vertikal

#### D. Pembuatan Kerangka Bangun dan turbin angin.

Pembuatan dilakukan sesuai dengan konsep dan desain yang telah didapatkan sebelumnya dengan menggunakan alat-alat perkakas bengkel dan bahan utama

#### E. Pengujian dan Pengambilan data

Hasil dari pembuatan alat akan dilakukan pengujian dasar dan pengujian tingkat daya yang dihasilkan. Pengujian ini menggunakan alat ukur multimeter sebagai indikator. Data pengujian yang sudah dilakukan, dicatat dan dijadikan sebagai bahan analisis.

**IV. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**A. Hasil rancang bangun**

Hasil konstruksi dari rancang bangun pembangkit listrik tenaga bayu sumbu vertikal terbagi atas kerangka bangun, turbin angin, generator DC, Alat ukur dan panel beban komponen tersebut dirakit menjadi satu sistem. Seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar 1 Kerangka Bangun

Gambar 1 adalah Kerangka menara terbuat dari besi siku dengan ukuran panjang 100 cm, lebar 100 cm dan tinggi 200 cm kemudian dipasang pada kerangka alat uji dengan menggunakan baut.



Gambar 2 Turbin Angin

Gambar 2 adalah kerangka turbin dipasang pada kerangka bangun dengan menggunakan bearing agar turbin dapat berputar dengan stabil, kemudian menghubungkan pulley dan pambel untuk mendapatkan putaran generator yang optimal.



Gambar 3. Generator DC

Gambar 3 adalah generator DC dengan tegangan 12 Volt 1.5 Ampere.



Gambar 4. Alat Ukur dan Penel Beban

Pada gambar 4 adalah alat ukur arus dan tegangan dc serta penel penghubung antara beban dan generator

**B. Pengujian Tenggangan Keluaran Generator DC tanpa beban**

Pengujian ini dilakukan dengan memanfaatkan kecepatan angin mulai dari pukul 9 pagi sampai dengan pukul 5 sore, dengan jumlah sudu yang dihubungkan ke generator DC tanpa beban mulai 3 sudu. Data yang akan diukur yaitu kecepatan angin, kecepatan putar turbin, kecepatan putar generator dan tegangan keluaran generator DC. Adapun data pengujian ditunjukkan pada tabel.

Pengujian 3 Sudu

No	Jam	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Generator (rpm)	Putaran Turbin (rpm)	Tegangan Keluaran (Volt DC)
1	9.00	1,2	23	10	0
2	10.00	1,8	53	32	0
3	11.00	2,1	115	113	0,8
4	12.00	2,4	115	117	1,1
5	13.00	3,2	126	82	2,4
6	14.00	3,3	135	90	5,5
7	15.00	2,1	116	108	1
8	16.00	2	93	56	0,5
9	17.00	1,5	54	32	0

Pengujian 4 Sudu

No	Jam	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Generator (rpm)	Putaran Turbin (rpm)	Tegangan Keluaran (Volt DC)
1	9.00	2	93	56	0,7
2	10.00	2,1	100	70	0,9
3	11.00	1,2	23	10	0
4	12.00	1,9	100	72	0,4
5	13.00	6	739	497	16,6
6	14.00	2,3	114	117	0,6
7	15.00	2,5	318	128	1,1
8	16.00	1,2	23	10	0
9	17.00	1,2	23	10	0

Pengujian 6 sudu

No	Jam	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Generator (rpm)	Putaran Turbin (rpm)	Tegangan Keluaran (Volt DC)
1	9.00	1,2	23	10	0
2	10.00	2	77	62	0,6
3	11.00	2,1	116	108	1,5
4	12.00	2,1	92	65	1
5	13.00	3,9	278	147	10
6	14.00	4,5	453	148	15,5
7	15.00	2,5	318	128	6,7
8	16.00	2,4	115	111	4,2
9	17.00	2,1	116	108	1

Dari hasil pengujian tegangan keluaran generator DC tanpa beban seperti yang terlihat pada tabel diatas, diperoleh bahwa tegangan keluaran generator DC dan kecepatan putar turbin angin yang dihasilkan oleh masing-masing variasi jumlah sudu memperlihatkan hasil yang berbeda. Jika dibandingkan dengan pengujian 3 dan 4 sudu, dalam pengujian tegangan keluaran generator DC tanpa beban ini apabila dilihat dari kecepatan putaran turbin, turbin angin yang memiliki 6 sudu dapat menghasilkan kecepatan putaran yang lebih besar. Kecepatan putar yang lebih besar ini menghasilkan tegangan keluaran yang lebih besar pula.

**C. Pengujian Daya Keluaran Generator DC**

Pengujian ini dilakukan dengan memberikan variasi kecepatan angin mulai dari 3 m/s, 4 m/s dan 5 m/s dengan jumlah sudu yang dihubungkan ke generator DC berbeban. Beban yang digunakan adalah lampu DC 5W 5V dan lampu DC 1.2W 12V.

Tabel 5. Hasil Pengujian Daya

Kecepatan Angin (m/s)	Beban					
	Lampu DC 5V, 5W			Lampu DC 12V, 1,2W		
	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (W)	Tegangan (V)	Arus (mA)	Daya (W)
3	2.1	1.8	0.0038	2.4	0	0
4	2.5	2.4	0.006	7.7	3.3	0.02
5	2.9	6.2	0.0179	8.1	4.1	0.03



Berdasarkan diagram diatas jika dibandingkan pengujian daya keluaran dengan menggunakan 3 dan 4 sudu daya yang dihasilkan menggunakan 6 sudu lebih besar dengan kecepatan angin yang sama. Hal tersebut disebabkan karena 6 sudu memiliki jumlah sudu yang cukup untuk menangkap angin dari sumber angin.

**D. Daya Angin**

Energi kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah:

$$P_{in} = \frac{\rho A v^3}{2}$$

Sebagai contoh perhitungan, diambil data penelitian dari tabel 10. Dengan kecepatan angin 5 m/s, 6 sudu. Perhitungan luas penampang (A) menggunakan persamaan :

$$A = \pi r \times (r + t) = 3,14 \times 7,62 (7,62 + 100) = 0,25 \text{ m}^2$$

$$P_{in} = 0,6 \times 0,25 \times 5^3 = 18,75 \text{ Watt}$$

**E. Tip Speed Ratio (TSR)**

TSR dapat diperoleh dari persamaan :

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 V_w} = \frac{3,14 \times 15,24 \times 39,3}{60 \times 5} = 6,26$$

**F. Koefisien Daya (CP)**

Koefisien daya adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan oleh rotor dengan daya angin, nilai koefisien daya tidak akan melebihi nilai ideal yaitu sebesar 0.593. Persamaan koefisien daya sebagai berikut :

$$C_p = \frac{P_g / \eta_g}{\rho A v / 2} = \frac{0,03 / 0,15}{18,75} = 0,01$$

**G. Efisiensi Sistem**

Cara menghitung efisiensi sistem adalah

$$\begin{aligned}\eta_{sis} &= \frac{P_{gen}}{P_{in}} \times 100\% \\ &= \frac{0,03}{18,75} \times 100\% \\ &= 0,1 \%\end{aligned}$$

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Putaran yang dihasilkan pada turbin angin sumbu vertikal dengan jumlah sudu 6 lebih baik bila dibandingkan dengan jumlah sudu 3 dan 4. Dimana kecepatan angin 5 m/s dengan keadaan berbeban menghasilkan tegangan keluaran 8,1 V dan 0,03 Watt.
2. Semakin besar putaran generator yang diasillkan dan putaran generator berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan.
3. Menggunakan generator DC yang menghasilkan nilai keluaran yang lebih besar lagi agar dapat bekerja dengan stabil dalam keadaan berbeban

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada :

1. Kedua orang tua dan saudara atas segala dukungan baik berupa moril, materil, motivasi serta doa yang telah diberikan
2. Keluarga besar TRUST Makassar

## REFERENSI

- [1] Adityo Putranto, A. P. (2011). Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga. Semarang: Fakultas Teknik Mesin Universitas Diponegoro.
- [2] Arifudhin, M. (2010). Model Kincir Angin Poros Vertikal Dengan Empat Sudu Datar Empat Ruang Yang Dapat Membentang dan Mengatup Secara Otomatis. Yogyakarta: Fakultas Sains Dan Teknologi Universitas Sanata Dharma.
- [3] Asri, P. (2018). Perancangan Simulasi Pembangkit Listrik Energi Terbarukan Sebagai Energi Alternatif. Makassar: Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [4] Haryanto, A. (2017). Energi Terbarukan. Yogyakarta: Innosain.
- [5] I.B Alit, N. S. (2016). Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Savonius Bertingkat Dengan Variasi Posisi Sudu. Mataram: Universitas Mataram.
- [6] Ismail, E. P. (2017). Optimasi Perancangan Turbin Angin Vertikal Tipe Darrieus Untuk Penerangan di Jalan Tol. 12.
- [7] Junaidin, B. (2017). Perancangan Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Skala Kecil. 10.
- [8] Potensi Pengembangan PLTB di Indonesia. (2017, Juli 18). Retrieved from Sekretariat Kabinet Republik Indonesia: <https://setkab.go.id/potensi-pengembangan-pltb-di-indonesia/>
- [9] Dewi, Lustia Marizka. (2010). *Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal Dengan Modifikasi Rotor Savonius Untuk Optimasi Kinerja Turbin* Skripsi, Fakultas Matematika Da Ilmu Pengetahuan Alam Universita Sebelas Maret. Surakarta
- [10] Riyadi, Slamet, Mustaqim, Ahmad Farid (2010). *Turbin Angin Poros Vertikal untuk Penggerak Pompa Air*, Prodi Teknik Mesin Fakultas Universitas Pancasakti, Tegal