



## Analisis Perbandingan 2 Dan 3 Blade Turbin Angin Kecil Sumbu Vertikal Tipe Savonius

\*Ucuk Mulyo Sugeng<sup>1</sup>, Veriah Hadi<sup>2</sup>, Bambang S<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Program Studi Teknik Mesin, <sup>2</sup> Program Studi Fisika, Fakultas Sains Teknologi Informatika, Institut Sains dan Teknologi Nasional Jakarta  
<sup>1,3</sup> Jl. Moch Kahfi II, Bhumi Srengseng Indah, Srengseng Sawah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640, Indonesia

email: [ucok@istn.ac.id](mailto:ucok@istn.ac.id), [veriahadi@istn.ac.id](mailto:veriahadi@istn.ac.id), [bambangsetiadi@istn.ac.id](mailto:bambangsetiadi@istn.ac.id)

### Abstrak

Tujuan dari penelitian ini adalah penelitian, dan melakukan uji coba dari sebuah turbin angin tipe *savonius* dalam kapasitas kecil. Pemukiman wilayah pesisir pantai memiliki wilayah yang potensial untuk dikembangkan energi angin baik yang skala kecil maupun skala menengah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performansi turbin angin sumbu vertikal tipe savonius hasil rancang bangun, dengan diameter kincir keseluruhan 50 cm dan tinggi 100 cm. Untuk meneliti efisiensi turbin angin sumbu vertikal tipe savonius jumlah *blade* 2 dan 3. Pada kesempatan ini akan dilakukan Analisa perfoma turbin Angin hasil rancang bangun pada jumlah *blade* 2 dan 3. Hasil rancang bangun turbin angin jumlah *blade* 2 menghasilkan efisiensi terbesar 299 % pada kecepatan angin 1 m/s dan pada jumlah *blade* 3 menghasilkan efisiensi terbesar 306,8% pada kecepatan angin 1m/s.

**Kata kunci:** Turbin angin, efisiensi, kecepatan angin.

## 1. PENDAHULUAN

Indonesia sebagai negara kepulauan dan memiliki kekayaan energi yang dapat dimanfaatkan diantaranya berasal dari energi angin yang dapat dibangkitkan melalui turbin angin. Dalam perancangannya turbin dan tipe bilah disesuaikan dengan karakteristik daerah setempat. Kecepatan angin daerah perkotaan berkisar antara 3 m/s sampai dengan 7 m/s dengan jenis turbin turbin angin mikro dan tip speed ratio yang dimiliki kecil sehingga dampak kebisingan yang ditimbulkan dapat diminimalisir pada saat turbin angin beroperasi. Turbin angin diklasifikasikan menjadi dua jenis berdasarkan posisi dari sumbu putar yaitu jenis *Horizontal Axial Wind Turbine* dan *Vertical Axial Wind Turbine*. Turbin angin sumbu horizontal biasanya menggunakan jenis airfoil yang sederhana berstandar pada NACA. Desain *blade* diklasifikasikan menjadi 3 yaitu taper, taperless dan invers taper dengan variasi jumlah *blade* sangat berpengaruh terhadap putaran turbin dan daya yang akan dihasilkan walaupun kecepatan aliran yang mengalir ke turbin sama

Desain bilah taperless untuk kecepatan 7-12 m/s dan  $C_p$  maksimum 0,5, sudut puntir  $11,40^\circ$  sampai dengan  $7,17^\circ$  dan jari-jari 0,8 m menggunakan kayu mahoni dikarenakan ringan, kuat serta murah dibandingkan dengan jenis bahan lain yang biasanya digunakan besi dan plastik. Turbin angin jenis airfoil NACA 4412 dan NACA 4415 berbahan kayu Mahoni dan Pinus jenis taperless lebih baik dari jenis taper untuk TSR 7 taperless bernilai  $C_p$  52% sedangkan taper 50. Daya dengan kecepatan angin 12 m/s 1549,88 W sedangkan jenis taper hanya mencapai 1234,31 W. Hasil pengujian untuk kayu mahoni menunjukkan keretakan pada salah satu *blade*, sedangkan untuk kayu pinus tidak terjadi keretakan. Bilah jenis taperless memiliki  $C_p$  bernilai 53% dan daya 2161 W lebih tinggi dibandingkan dengan jenis taper yang dayanya hanya mencapai 791 W, selain itu Twist amat memengaruhi proses

pembuatan bilah pada kayu. Untuk sudut puntir yang tidak linear, maka perlu dilinearisasi dan dimodifikasi untuk memudahkan pembuatan bilah pada kayu sebesar 75% dari jari-jari yang digunakan

Energi angin adalah salah satu potensi energy terbarukan yang dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kebutuhan energy listrik, terutama wilayah pelosok. Pembangkit energy angin yang biasa disebut pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) ini bebas dari polusi dan sumber energinya tersedia secara alami di alam, nantinya pembangkit ini diharapkan dapat menjawab masalah lingkungan hidup dan ketersediaan sumber energi. Energi alternatif ini sangat cocok diterapkan didaerah pantai atau laut, dan gunung, yang memiliki kecepatan angin yang stabil, energy angin dapat dimanfaatkan dengan menggunakan kincir angin (*wind turbine*).

Prinsip kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada sudu turbin, putaran dari sudu turbin digunakan untuk memutar generator, hingga menghasilkan energi listrik. Semakin berkembangnya teknologi bentuk dari turbin anginpun ikut berkembang, salah satunya adalah turbin angin sumbu vertikal, dimana keuntungan dari turbin angin tipe ini dapat menghasilkan torsi lebih besar daripada torsi yang didapatkan dari tipe turbin angin sumbu horizontal, dan dapat bekerja dengan baik meskipun aliran udara yang berhembus adalah turbulen

### Rumusan Masalah

Dalam menganalisis Perbandingan 2 Dan 3 Blade Turbin Angin Kecil Sumbu Vertikal Tipe Savonius Terdapat masalah dalam analisa adalah sebagai berikut :

- Bagaimana performa actual baling-baling/*blade*.
- Bagaimana performa *blade* terbaik antara jumlah *blade* dua dan tiga.

#### **Batasan Masalah**

- a. Turbin Angin sudut vertikal ini digunakan untuk skala kecil
- b. Tenaga pemutar murni dari energi angin
- c. Kecepatan angin pada perhitungan diambil dari kecepatan angin yang sering terjadi karena ada beberapa kondisi yang tidak diperhitungkan.
- d. Komponen elektronika tidak dibahas lebih mendalam

#### **Manfaat Penelitian**

Manfaat dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

- a. Sebagai suatu penerapan teori dan kerja praktek yang diperoleh saat dibangku perkuliahan.
- b. Mampu mengenalkan mesin yang praktis dan ekonomis kepada mahasiswa lainnya yang akan mengambil proyek akhir, sehingga terinovasi dan termotivasi untuk menghasilkan produk yang lebih baik.
- c. Melatih kedisiplinan serta kerjasama antar mahasiswa baik individual maupun kelompok
- d. Sebagai bahan kajian di Jurusan Teknik Mesin dalam mata kuliah bidang teknik mesin.
- e. Merupakan teknologi yang perlu dikembangkan di kemudian hari sehingga menghasilkan mesin pencacah/perajang multifungsi yang lebih baik.

#### **Metode Penelitian**

Metode penelitian yang dipakai oleh penulis adalah dengan :

- a. Studi Literatur baik dari buku-buku referensi maupun dari internet *search* Google.
- b. Bimbingan dengan dosen pembimbing maupun orang yang ahli dalam bidang tersebut.
- c. Pengumpulan data, dan alat-alat untuk menganalisis *Daya, Torsi, Tip Speed Ratio, Efisienasi*
- d. Melakukan pengujian menggunakan *Angin Disekitar Area Pengujian*

Turbin angin yaitu kincir angin yang dimanfaatkan untuk pembangkit listrik. Turbin angin mulanya dibuat untuk melengkapi kebutuhan petani dalam melakukan penggilingan padi, pengairan sawah, dan lain sebagainya. Turbin angin dahulunya hanya terdapat di Belanda, Denmark serta negara Eropa lainnya juga dikenal dengan sebutan windmill. Sekarang pemanfaatan turbin angin banyak digunakan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik misalnya untuk lampu penerangan rumah tangga, dengan menggunakan sumber energi dari alam yang dapat diperbaharui juga disebut dengan istilah *renewable energy*. Meskipun sekarang ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menggantikan pembangkit listrik biasanya (Contohnya PLTGU, PLTA, dan PLTD).

Turbin angin ini adalah salah satu alat yang digunakan dalam sistem peralihan energi. Turbin angin memiliki prinsip kerja dengan merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik yang berputaran pada sudu. Putaran sudu tersebut kemudian digunakan untuk beberapa hal sesuai dengan kebutuhan seperti memutar generator untuk menghasilkan listrik. Salah satu komponen utama dari turbin angin adalah sudu. Sudu berfungsi untuk mengubah gerak lurus arus angin menjadi gerak putar poros. Berdasarkan bentuk sudu, turbin angin dibagi menjadi dua tipe, yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal ((Daryanto, 2007).

#### **2.3.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal**

Turbin angin sumbu horizontal adalah turbin yang sumbu rotasi sudunya sejajar terhadap permukaan. Turbin angin sumbu horizontal mempunyai poros, sudu utama dan generator listrik yang berada di bawah menara dan diarahkan menuju arah datangnya angin sebelum nantinya memutar sudu. Sudu turbin angin menangkap aliran angin sehingga dapat berputar, sedangkan turbin dalam skala besar umumnya menggunakan sensor angin dan motor yang mengubah sudu memfokus ke aliran angin.

Turbin angin sumbu horizontal dilihat dari jumlah sudunya:

- a. Turbin angin dengan satu sudu (*single blade*)
- b. Turbin angin dengan dua sudu (*double blade*)
- c. Turbin angin dengan tiga sudu (*three blade*)
- d. Turbin angin dengan banyak sudu (*multi blade*)

Turbin angin sumbu horizontal diperlihatkan pada Gambar 1.

**Gambar 1.** Turbin angin sumbu horizontal.

Normalnya turbin jenis ini memiliki sudu berbentuk *Airfoil* seperti bentuk baling-baling pada pesawat, putaran sudu terjadi karena adanya gaya angkat pada sudu yang ditimbulkan oleh angin. Pada tipe turbin angin sumbu horizontal menggunakan gaya angkat sebagai gaya penggerak sudu. Oleh karena itu kecepatan linier sudu dapat lebih besar dari pada kecepatan angin. Turbin angin ini cocok diaplikasikan pada kelas angin sedang dan tinggi, jenis ini banyak digunakan sebagai pembangkit listrik skala banyak.

### 2.3.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal terdapat poros atau sumbu rotor utamayang diatur sejajar dengan sudu turbin. Keuntungan yang didapatkan dari tipe ini adalah turbin tidak perlu diarahkan ke angin agar menjadi efisien. Keuntungan ini sangat diperlukan di daerah yang arah anginnya tidak tetap. Turbin angin sumbu vertikal mampu memanfaatkan angin dari berbagai arah. Generator serta gearbox bisa ditempatkan di permukaan tanah, jadi menara tidak perlu menanggung beban serta mempermudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi menyebabkan beberapa desain menghasilkan putaran yang

bergetar.

Turbin angin sumbu vertikal juga memiliki kelebihan antara lain; desain mudah, mudah dalam pemasangan, bisa dipasang tidak jauh dari permukaan, dan dapat menerima angin dari segala arah (turbulensi). Turbin sumbu vertikal yang sering digunakan adalah Savonius dan Darrieus. Turbin savonius dalam pemanfaatannya menggunakan gaya hambat, sedangkan, Turbin Darrieus dalam pemanfaatannya menggunakan gaya angkat (Dharma & Masherni, 2017).

### 2.4 Jenis Rotor Turbine Savonius

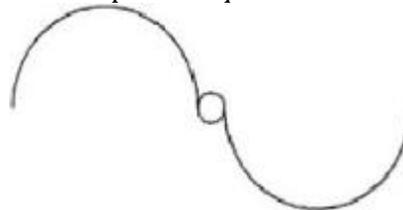
Bentuk turbin Savonius yang sering digunakan mempunyai sepasang bucket, dimana di rangkaian mirip huruf "S" dan bagian atas dengan bawahnya berbentuk plat lingkaran. Berikut ini merupakan beberapa kategori dari sudu Savonius yang pernah dibuat dan dapat diaplikasikan dengan baik.

#### 2.4.1 Rotor Savonius Dengan Dua *Bucket*

Berdasarkan prinsip aerodinamik, sudu turbin ini memanfaatkan gaya hambat saat mengubah energi angin dari aliran angin yang nanti bersentuhan dengan sudu turbin. Ketermampatan hambat permukaan cengkung lebih besar dari pada permukaan lengkung. Oleh karenanya, sisi permukaan cengkung setengah silinder yang terkena angin akan memberikan gaya hambat yang lebih besar daripada sisi lain sehingga sudu berputar. Setiap turbin angin yang memanfaatkan potensi angin dengan gaya hambat memiliki efisiensi yang terbatas karena kecepatan sudu tidak dapat melebihi kecepatan angin yang melaluinya.

Ada tiga bentuk khusus sudu Savonius dengan konfigurasi dua *Bucket*, antarlain:

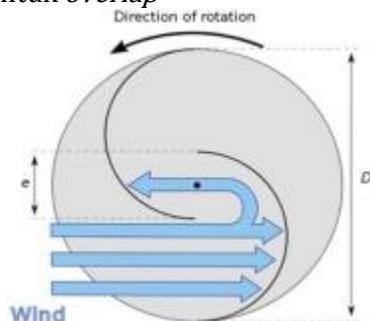
- a. Bentuk tanpa *overlap*



**Gambar 2** *Bucket* tanpa *Overlap*

Bentuk sudu savonius yang ditunjukkan di atas tidak memiliki jarak celah antara kedua sudunya. Sudu ini memiliki kekuatan yang tinggi dikarenakan letak porosnya berada di tengah kedua *bucket*. Sudu dengan bentuk seperti ini memiliki efisiensi yang paling rendah dibandingkan bentuk lainnya.

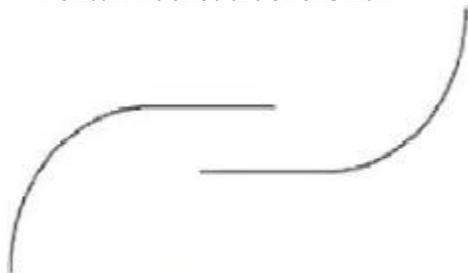
b. Bentuk *overlap*



**Gambar 3.** Dua *bucket* dengan *overlap*

Bentuk sudu Savonius yang ditunjukkan pada gambar di atas merupakan bentuk yang paling sering dijumpai. Model sudu ini terdapat celah antar kedua sudunya sehingga membuat aliran angin dapat meningkatkan putaran dan dapat mengurangi guncangan. Dengan bentuk *overlap*, rotor ini memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan bentuk sudu Savonius tanpa *overlap*.

c. Bentuk *Bucket* didefleksikan

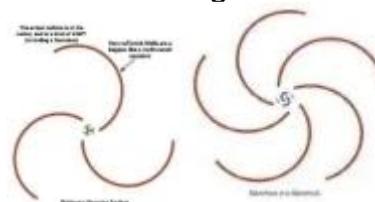


**Gambar 4.** *Bucket* berbentuk "L"

Bentuk sudu Savonius jenis ini memiliki bentuk mirip huruf "L". Sudu tersebut memiliki efisiensi yang lebih baik dibanding sudu jenis sebelumnya. Memiliki keunggulan dalam membelokkan aliran, juga *bucket* yang digunakan mampu bertindak seperti *airfoil* ketika aliran menabrak permukaan sudu dan menimbulkan sedikit gaya angkat. Sehingga

mampu meningkatkan efisiensi, tetapi jenis ini relatif sulit dalam proses produksi karena membutuhkan lembar logam yang dirol bukan dari potongan drum atau pipa.

**2.4.2 Sudu Turbin dengan *Multi Bucket***



**Gambar 5.** Sudu dengan *multi bucket*

Sebagian sudu jenis ini yang pernah dikembangkan antara lain sudu turbin dengan tiga, empat, bahkan lima sudu. Sudu turbin dengan tiga *bucket* atau lebih, lebih memiliki torsi awal yang baik daripada sudu turbin dengan dua *bucket*. Semakin banyak *bucket* yang digunakan, maka torsi awal yang dihasilkan akan semakin besar.

**2.4.3 Sudu Turbin dengan Rotor *Helix***



**Gambar 6.** Sudu turbin *Helix*

Sudu turbin jenis ini dikembangkan oleh suatu perusahaan bernama "*Helix Wind*" pertama kali dikenalkan tahun 2006, sudu ini mempunyai desain yang unik, yaitu berbentuk *helix*. Namun bentuk *helix* ini terdapat keunggulan antara lain, getaran yang dihasilkan relatif halus karena bentuk torsinya relatif merata untuk setiap sudu. Tetapi sudu jenis ini memiliki bentuk yang rumit sehingga susah dalam proses produksi.

**2.5 Bagian-bagian Turbin Angin Savonius**

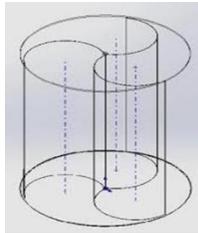
Turbin jenis ini memiliki komponen utama dalam prosesnya agar dapat mendapatkan gaya, aliran angin yang timbul mengakibatkan sudu berputar pada porosnya. Putaran sudu diteruskan ke motor hingga dapat menghasilkan energi listrik yang akan didistribusikan ke rumah-rumah. Bagian-

bagian tersebut meliputi:

### 2.5.1 Sudu (Baling-baling)

Sudu adalah suatu komponen penting dari turbin angin yang langsung bersentuhan dengan aliran angin yang mengakibatkan gaya hambat dan gaya angkat pada waktu tertentu. Gaya hambat yang dihasilkan oleh sudu kemudian dimanfaatkan agar mendapatkan torsi dan memutar baling-baling. Desain sudu turbin dan kondisi operasi akan mempengaruhi besar kecilnya gaya angkat yang terjadi.

Konfigurasi sudu turbine digunakan dalam perancangan ini menggunakan 4 bilah baling-baling berbahan Aluminium. Dasar dalam penentuan menggunakan Aluminium adalah harga relatif lebih terjangkau, tidak berat, tahan terhadap berbagai kondisi, dan mudah didapatkan.



Gambar 7. Baling-baling

### 2.5.2 Poros

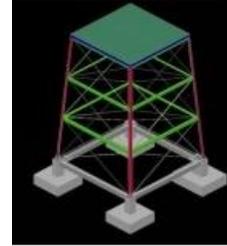
Poros memiliki peran untuk meneruskan putaran dari baling-baling ke motor. Poros yang digunakan harus mampu menahan beban putar dan lentur yang dihasilkan sudu saat beroperasi.

Desain turbin savonius menggunakan bahan dasar carbon yang memiliki kekuatan tarik diatas  $58 \text{ kg/mm}^2$ . Poros ini merupakan komponen penghubung antara baling-baling dan sudu, dan dapat mengurangi beban berlebih yang terjadi.

### 2.5.3 Menara

Menara adalah tumpuan penyangga beban dari semua komponen yang terdapat diatasnya, menara harus kuat mendukung turbin angin dalam mempertahankan berat serta mengurangi fibrasi yang terjadi baik itu dalam kondisi normal ataupun dalam kondisi taknormal. Tower penunpu dalam perancangan turbin untuk lampu

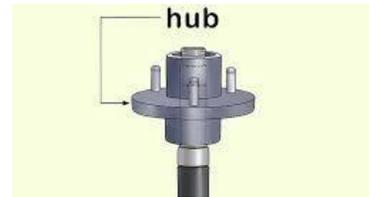
penerangan rumah tangga ini memiliki lebar  $1,8 \text{ m} \times 1,8 \text{ m}$  dan tinggi tower  $7 \text{ m}$  dan diameter atas tower mempunyai lebar  $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ . Contoh tower bisa dilihat pada Gambar 8



Gambar 8. Tower

### 2.5.4 Hub

Hub adalah alat yang menghubungkan baling-baling dengan poros. Ralph A dari Australia menciptakan desain hub yang sederhana sehingga mudah dalam pembuatannya. Gambar diperlihatkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Hub

### 2.5.5 Bearing

Pada dasarnya *bearing* merupakan peralatan anti gesek. Faktor-faktor yang memberikan kontribusi terhadap tahanan gelinding misalnya:

- Gesekan antara *rolling elements* dengan ring.
- Gesekan antara *rolling elements* dengan sangkar.
- Gesekan antara *rolling elements* dengan *guide flanges* (pada *rollerbearing*).
- Losses* antara bagian-bagian bearing dengan pelumas.

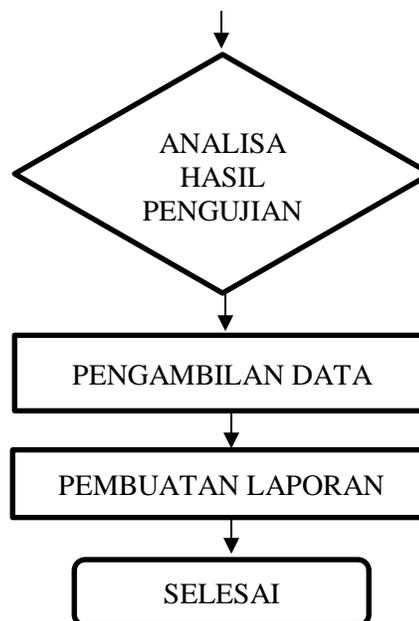
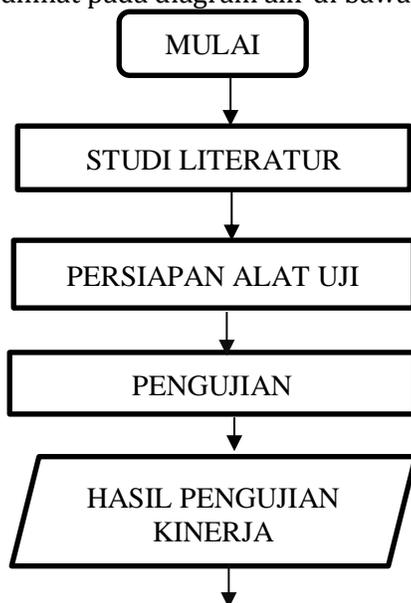
Bantalan ini menunpu beban dari As agar putarannya yang dihasilkan tidak berisik, aman bisa digunakan dalam jangka waktu panjang. *Bearing* sebisanya kuat agar mampu menopang As dan komponen turbin lainnya agar dapat menunjang performa, sehingga sistem bekerja optimal. Gambar 2.13 dapat dilihat di bawah ini.



**Gambar 10.** Bantalan (*Bearing*) jenis Bola Radial

**Diagram Alir Penelitian**

Penelitian ini menggunakan turbin angin vertikal aksis jenis Savonius dengan jumlah bilah tiga buah. Penelitian yang dilaksanakan adalah analisa turbin angin vertical type Savonius dimulai dari desain sampai dilakukan pengujian alat untuk melihat kinerja desain. Agar tujuan dari penelitian ini dapat tercapai maka diperlukan kerangka atau tahapan dalam penelitian. Kerangka tersebut dapat dilihat pada diagram alir di bawah ini:



**Gambar 11.** Diagram Air Penelitian Alat yang digunakan Dalam Pengukuran a. Anemometer

Anemometer adalah sebuah alat pengukur kecepatan angin yang banyak digunakan dalam bidang Meteorologi dan Geofisika atau stasiun prakiraan cuaca. Nama alat ini berasal dari kata Yunani *anemos* yang berarti angin. Perancang pertama dari alat ini adalah *Leon Battista Alberti* pada tahun 1450. Selain mengukur kecepatan angin, alat ini juga dapat mengukur besarnya tekanan angin itu. terlihat seperti Gambar:



**Gambar 12.** Anemometer

**b. Tachometer**

Tachometer adalah sebuah alat pengujian yang dirancang untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek, seperti alat pengukur dalam sebuah mobil yang mengukur putaran per menit (RPM) dari poros engkol mesin. Tachometer berasal dari kata Yunani *tachos* yang berarti kecepatan dan metron yang berarti untuk mengukur. Perangkat ini pada

masa sebelumnya dibuat dengan dial, jarum yang menunjukkan pembacaan saat ini dan tanda- tanda yang menunjukkan tingkat yang aman dan berbahaya. Dalam pengujian, alat ini digunakan untuk menghitung putaran poros turbin. Seperti terlihat pada Gambar:



Gambar 13. Tachometer

**c. Multimeter**

Multimeter adalah suatu alat ukur listrik yang digunakan untuk mengukur tiga jenis besaran listrik yaitu arus listrik, tegangan listrik, dan hambatan listrik. Sebutan lain untuk multimeter adalah AVO-meter yang merupakan singkatan dari satuan Ampere, Volt, dan Ohm. Selain itu, multimeter juga disebut dengan nama multitester.

Multimeter terbagi menjadi dua jenis yaitu multimeter analog dan multimeter digital. Perbedaan antara multimeter analog dan multimeter digital terletak pada tingkat ketelitian nilai pengukuran yang diperoleh. Multimeter dapat digunakan untuk pengukuran listrik arus searah maupun pengukuran listrik arus bolak-balik. seperti terlihat pada Gambar :



Gambar 14. Multitester

**d. Meteran**

Meteran atau dikenal juga dengan alat yang berupa pita ukur ini memiliki ukuran panjang dari 25 hingga 50 meter. Meteran ini memiliki beberapa bentuk, ada yang

meteran gulung yang dapat menggulung segala otomatis dan ada juga yang harus digulung secara manual. Proses konstruksi bangunan sangat sering menggunakan meteran. Khususnya untuk mengukur material-material bangunan yang akan digunakan.



Gambar 15. Meteran

**4.1 Perhitungan Torsi dari Setiap Penambahan Beban**

Untuk menghitung Torsi pada masing-masing pembebanan dapat dihitung dengan rumus :

$$T = m . g . r$$

$$T = F . r$$

Dimana:

F = beban (N)

r = lengan poros pengimbang (m)

Contoh perhitungan yang diambil dari data percobaan yang kedua :

$$F = m . g$$

$$F = 5040 . 9,81$$

$$F = 49,44$$

$$T = F . r$$

$$T = 49,44 . 0,25$$

$$T = 12,36 \text{ Nm}$$

Untuk hasil data dari perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Torsi pada beban *blade*

No	Beban			r (m)	Torsi (Nm)
	Massa (g)	Grafitasi	Beban (N)		
1	5040	9,81	49,44	0,25	12,36

#### 4.2 Perhitungan Daya Angin (Pa)

Daya angin dihitung pada masing – masing kecepatan angin, sebagai contoh diambil pada kecepatan angin 1m/s, digunakan rumus :

$$P_a = \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Dimana :

$P_a$  = daya angin (Watt)

$\rho$  = massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$A$  = luas permukaan ( $\text{m}^2$ )

$v$  = kecepatan angin (m/s)

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot (0,1 \cdot 0,5)^3$$

$$P_a = \frac{1}{2} \cdot 1,2 \cdot 0,05 \cdot 1$$

$$P_a = 0,03 \text{ watt}$$

Berikut adalah data hasil data perbandingan daya angin dan daya kincir Turbin Angin Sumbu Vertikal dengan Jumlah 2 *blade* dan 3 *blade*, Untuk hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil data Daya Angin dengan kecepatan angin berbeda

No	Kecepatan Angin (m/s)	Massa Jenis Angin	Luas Permukaan	Daya Angin
1	1	1,2	0,05	0,03
2	2			0,24
3	3			0,81

#### Perhitungan Daya kincir Dengan Jumlah 2 *blade*

Daya kincir dengan beban berbeda dan kecepatan angin m/s

Untuk menghitung daya kincir dengan beban berbeda dapat dicari dengan rumus:

$$P = T \cdot W = \frac{\pi \cdot n}{30}$$

$$P_k = T \cdot \frac{\pi \cdot n}{30}$$

$$P_k = 8,27 \frac{3,14 \cdot 31,8}{30}$$

$$P_k = 27,52 \text{ watt}$$

Tabel 3. Hasil data Daya kincir jumlah *blade*

2 dan kecepatan angin 1 m/s

No	Beban		$\pi$	Torsi (Nm)	Rpm	Daya kincir (Watt)
	Gr	N				
1	3373	33,09	3,14	8,27	31,8	27,52
2					31,5	27,26
3					31,9	27,61
4					31,3	27,09
5					30,9	26,74
6					31,4	27,17
7					32,0	27,69

#### Perhitungan efisiensi turbin pada jumlah *blade* 2

a. Efisiensi turbin pada kecepatan angin 1 m/s dan jumlah *blade* 2

$$C_p = \frac{27,69}{0,03} \times 100\%$$

$$C_p = 92.3\%$$

Untuk Hasil-hasil Perhitungan efisiensi turbin berdasarkan kecepatan angin 1m/s dan jumlah *blade* 2. Untuk hasil perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 4

Tabel 4. Hasil data efisiensi jumlah *blade* 2 dengan kecepatan 1 m/s

No	Kecepatan angin (m/s)	beban (N)	Rpm	Torsi (Nm)	Daya kincir (Watt)	Daya poros (Watt)	Efisiensi (%)
1	1	33,09	31,8	8,27	27,52	0,03	91,7
2			31,5		27,26		90,8
3			31,9		27,61		92,0
4			31,3		27,09		90,3
5			30,9		26,74		89,1
6			31,4		27,17		90,5
7			32,0		27,69		92,3

#### Perhitungan *Tip speed ratio* dengan kecepatan angin berbeda dan jumlah *blade* 2

a. Hasil data untuk perhitung *Tip speed ratio* dengan kecepatan angin 1 m/s dan jumlah *blade* 2, digunakan rumus :

$$Tsr = \frac{\pi \cdot r \cdot n}{30 \cdot v}$$

Dimana :

$r$  = jari – jari (m)

$v$  = kecepatan angin (m/s)

$n$  = rpm

$$Tsr = \frac{3,14 \cdot 0,05 \cdot 31,8}{30 \cdot 1}$$

$$Tsr = 0,166$$

Untuk hasil dari perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada Tabel 5.

**Tabel 5.** Hasil data Tsr jumlah *blade* 2 dengan kecepatan angin 1 m/s

No	Kecepatan angin(m/s)	Jari – jari kincir(m)	Rpm	Tsr
1	1	0,05	31,8	0,166
2			31,5	0,164
3			31,9	0,166
4			31,3	0,163
5			30,9	0,161
6			31,4	0,164
7			32,0	0,167

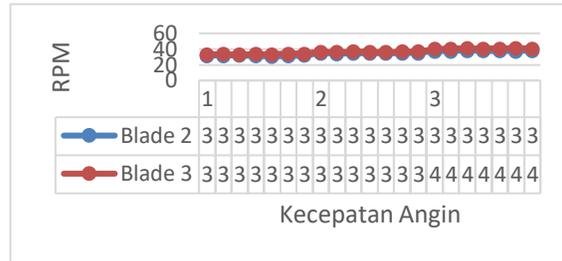
**Daya generator jumlah *blade* 2**

Maka dengan kecepatan angin 3 m/s mendapatkan tegangan generator sebesar 4,1 volt dan arus generator 0,3 ampere, dengan data tersebut dapat dicari daya generator berupa

$$P_{gen} = 4,1 \times 0,3 = 1,23 \text{ Watt}$$

**Grafik antara rpm dengan kecepatan angin**

Berdasarkan dari hasil perhitungan maka dapat dibuat grafik hubungan rpm dengan kecepatan angin yang dihasilkan pada Turbin Angin menjelaskan bahwa semakin besar kecepatan angin maka semakin besar juga rpmnya. Kerapatan antara *blade* satu dengan yang lainnya juga akan mempengaruhi putaran turbin semakin dekat jarak *blade* dengan *blade* yang lain akan mempengaruhi jumlah *blade* penangkap anginnya maka putaran turbin semakin meningkat. Pada grafik diperoleh rpm terbesar turbin angin sebesar 32,0 untuk turbin angin berjumlah *blade* 2 dan rpm sebesar 34,0 untuk turbin angin berjumlah 3 *blade* dengan kecepatan angin yang sama sebesar 3m/s, seperti terlihat pada Gambar 16 sebagai berikut.



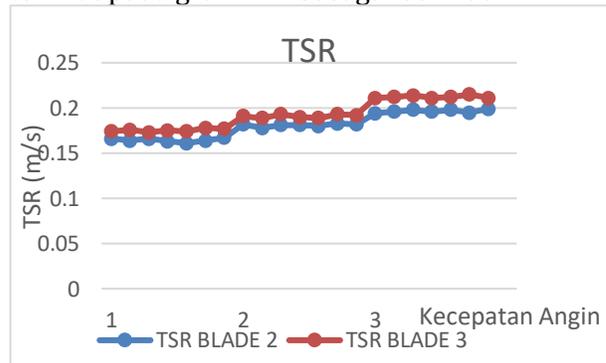
**Gambar 16.** Grafik rpm terhadap kecepatan angin

**Grafik perbandingan tsr dengan kecepatan angin jumlah *blade* 2 dan 3**

Pada grafik ini menunjukkan perbandingan hasil tsr dengan kecepatan angin dengan jumlah *blade* yang berbeda. Pada grafik ini tsr terbesar 0,166 pada kecepatan angin 1 m/s dengan jumlah *blade* 2.



Dan tsr terbesar 0,174 pada kecepatan angin 1 m/s dengan jumlah *blade* 3 Seperti terlihat pada grafik 4.4 sebagai berikut

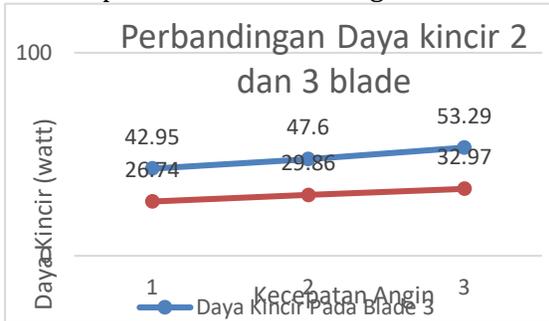


**Gambar 17.** Grafik perbandingan tsr jumlah *blade* 2 dan 3 dengan kecepatan angin

**Grafik perbandingan Daya kincir 2 *blade* dan 3 *blade***

Pada grafik ini menunjukkan perbandingan hasil Daya kincir angin antara 2 *blade* dan 3 *blade*. Pada grafik ini daya kincir terbesar 32,97 watt dengan jumlah *blade* 2 dan 53,29

watt dengan jumlah *blade* 3 dengan masing – masing kecepatan angin 3 m/s. Seperti terlihat pada Gambar 18 sebagai berikut



**Gambar 18.** Grafik Perbandingan Daya kincir 2 *blade* dan 3 *blade* dengan Kecepatan angin  
**Grafik perbandingan efisiensi 2 *blade* dan 3 *blade***

Pada grafik ini menunjukkan perbandingan efisiensi antara 2 *blade* dan 3 *blade*. Pada grafik ini efisiensi jumlah *blade* 2 sebesar 0,167% dan jumlah *blade* 3 sebesar 0,178% dengan masing – masing kecepatan angin 3 m/s



**Gambar 19.** Grafik Tsr Pada Blade 2 dan 3  
**Kesimpulan**

Dari hasil penelitian diperoleh :

- Besar rpm yang dihasilkan pada turbin angin jumlah *blade* 2 sebesar 38,1 dan pada turbin angin jumlah *blade* 3 dengan rpm sebesar 41,2 dengan kecepatan angin masing – masing 3 m/s
- Besar daya kincir yang dihasilkan pada turbin angin jumlah *blade* 2 terbesar 32,97 watt dan pada turbin angin jumlah *blade* 3 sebesar 52,91 watt dengan kecepatan angin masing – masing 3 m/s
- Besar daya angin yang dihasilkan pada turbin angin terbesar 0,3 pada kecepatan angin 1m/s, 0,24 pada kecepatan angin 2m/s, dan 0,81 pada kecepatan angin 3m/s

- Besar tsr yang dihasilkan pada turbin angin jumlah *blade* 2 terbesar 0,199 dan pada turbin angin jumlah *blade* 3 terbesar 0,212 dengan kecepatan angin masing – masing 3 m/s
- Besar efisiensi yang dihasilkan pada turbin angin jumlah *blade* 2 terbesar 40,7% dan jumlah *blade* 3 terbesar 65,9% dengan kecepatan angin 3 m/s
- Semakin besar torsi, putaran poros semakin kecil

### Daftar Pustaka

- Huda, S. S., & Arief, I. S. (2014).** Analisa Bentuk Profile dan Jumlah Blade Vertical Axis Wind Turbine terhadap Putaran Rotor untuk Menghasilkan Energi Listrik. *Jurnal Teknik ITS*, 3(1), G25-G29.
- Latief, R. d. (2019).** Pengaruh Jumlah Sudu Pada Turbin Angin Sumbu Ruzita Sumiati(2012). *Pengujian Turbin Angin Savonis Tipe U Tiga*
- Santoso, S. S. (2020).** Pengaruh pengaruh angin dan kecepatan angin pada turbin savonius tiga.
- Arifudhin, M. (2010).** Model Kincir Angin Poros Vertikal. *Momon Arifudhin*.
- Himran, S. (n.d.). (2019).** Energi Angin. Yogyakarta: CV. Andi Offset
- Nursuhud, A. P. (2013).** Mesin Konversi Energi. Yogyakarta: CV. Andi Offset.
- Primanda, D. J. (2013).** Unjuk Kerja Model Kincir Angin Savonius. *Dionisius Johan Primanda*.
- Mustaqim, T. (2016).** *Studi Eksperimen Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Kerja Turbin Angin Horisontal Berbasis NACA 4415* (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta).
- Sumiati, R., Amri, K., & Hanif, H. (2014).** Rancang Bnagun Micro Turbin Angin Pembangkit Listrik Untuk Rumah Tinggal di Daerah Kecepatan Angin Rendah. *Prosiding Semnastek*, 1(1).