

## PENGARUH KECEPATAN ANGIN DAN VARIASI JUMLAH SUDU TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN ANGIN POROS HORIZONTAL

**Firman Aryanto, I Made Mara, Made Nuarsa**

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram  
Jln. Majapahit No.62 Mataram Nusa Tenggara Barat Kode Pos: 83125  
Telp. (0370) 636087; 636126; ext 128 Fax (0370) 636087

### **Abstrak**

*Turbin angin merupakan suatu alat yang mampu mengubah energi angin menjadi energi mekanik dan selanjutnya diubah menjadi energi listrik melalui generator. Turbin angin poros horizontal ini dapat ditingkatkan efisiensinya untuk mendapat koefisien daya yang maksimal. Salah satunya dengan menggunakan sudu berjumlah banyak. Efisiensi sistem yang maksimal ini akan meningkatkan jumlah Watt (daya) yang dihasilkan sehingga untuk mendapatkan jumlah watt tertentu cukup dengan menggunakan jumlah kincir angin yang lebih sedikit.*

*Objek penelitian ini adalah pengujian performansi turbin angin poros horizontal dengan variasi kecepatan angin dan variasi jumlah blade ditinjau dari Efisiensi system ( $\eta$ ) dan Tip Speed Ratio (TSR). Pengujian dilakukan dengan sumber angin berasal dari kipas angin dengan Wind Tunnel untuk mengarahkan angin. Kecepatan angin yang digunakan terdapat tiga variasi yaitu 3 m/s, 3.5 m/s, dan 4 m/s serta variasi jumlah blade yaitu 3, 4, 5 dan 6 blade.*

*Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai  $\eta$  terbaik diperoleh pada kecepatan angin maksimal 4 m/s dan jumlah blade 5 dengan nilai  $\eta$  3.07% sedangkan untuk nilai terkecil  $\eta$  diperoleh pada kecepatan angin 3 m/s dan jumlah blade 3 yaitu dengan nilai  $\eta$  0.05%. Untuk nilai TSR maksimal pada kecepatan maksimal 4 m/s terjadi pada jumlah blade 5 yaitu sebesar  $\lambda = 2.11$ , sedangkan untuk nilai terendah pada kecepatan angin 3 m/s dihasilkan pada jumlah blade 3 yaitu sebesar  $\lambda = 1.49$ .*

*Kata kunci : Turbin angin, Poros horizontal. Efisiensi sistem, Tip Speed Ratio dan Daya Angin.*

### **Abstract**

*The wind turbine is a device that converts wind energy into mechanical energy and then converted into electrical energy through a generator. Horizontal axis wind turbines can increase the efficiency to get the maximum power coefficient. One was using the blade numerous. Maximum efisiensi system will increase the number of watts (power) generated so as to obtain a certain number of watts by simply using the number of windmills less*

*The object of this research is the performance testing horizontal axis wind turbine with wind speed variation and variation in terms of the number of blade Efisiensi system ( $\eta$ ) and Tip Speed Ratio (TSR). Research conducted with the wind coming from the source to the Wind Tunnel fan to direct wind. Wind speed is used there are three variations of the 3 m/s, 3.5 m/s, and 4 m/s and varying the amount of blade that is 3, 4, 5 and 6 blade.*

*The results showed that the best  $\eta$  values obtained at a maximum wind speed of 4 m / s and the number of blade 5 with a value of 3.07%  $\eta$ , whereas  $\eta$  smallest value obtained at wind speeds of 3 m/s and the number of blade 3 that the value of 0.05%  $\eta$ . For TSR maximum value at a maximum speed of 4 m/s occurred in the number of blade 5 is equal to  $\lambda = 2.11$ , while the lowest value at wind speeds of 3 m/s resulting in blade number 3 is equal to  $\lambda = 1.49$ .*

*Keywords: Wind turbines, Horizontal rotor, Efisiensi system, Tip Speed Ratio and Wind Power.*

## PENDAHULUAN

### 1. PENDAHULUAN

Tenaga listrik sebagai salah satu sistem energi mempunyai peranan yang sangat penting dalam pembangunan ekonomi suatu negara. Terlebih pada masa sekarang ini, muncul tantangan dan dimensi-dimensi baru yang dihadapi umat manusia sejalan dengan bertambahnya jumlah penduduk menyebabkan aspek-aspek kehidupan yang harus dipenuhi oleh pengadaan tenaga listrik semakin meningkat. Kebutuhan akan listrik sangatlah besar di daerah perkotaan maupun di pedesaan, sejalan dengan meningkatnya pembangunan kesejahteraan masyarakat, berbagai upaya telah dilakukan untuk penyediaan listrik sampai pada pelosok-pelosok desa. (Yuni, 2002)

Di pulau Lombok sebagai salah satu wilayah negara Indonesia yang sedang giat melakukan pembangunan di berbagai bidang tentunya sangat membutuhkan energi listrik yang cukup besar. Sebagaimana yang diketahui bersama bahwa di pulau Lombok ini masih ada daerah-daerah yang belum terjangkau akan energi listrik. Melihat keadaan tersebut maka perlu adanya solusi alternatif yang dapat digunakan untuk memenuhi kebutuhan listrik di pedesaan khususnya yang jaringan aliran listriknya tidak dapat terjangkau oleh Perusahaan Listrik Negara (PLN). Selain itu pada sisi lain telah terjadi krisis minyak, maka faktor penghematan dan penggunaan energi primer khususnya energi yang berasal dari minyak bumi untuk membangkit energi listrik harus mendapat pemikiran serius.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) telah membawa kemajuan besar dalam kehidupan manusia baik di bidang kebudayaan maupun perubahan sosial, dimana penggunaan dari kemajuan teknologi tersebut diharapkan semakin mempermudah manusia dalam pencapaian tujuannya. Begitupun perkembangan IPTEK di bidang konversi energi dari bahan bakar fosil yang menyebabkan polusi terutama polusi udara ( $\text{CO}_2$ ) yang tinggi dan jumlah persediaan di alam juga semakin menipis, menjadi energi terbarukan yang ramah lingkungan dan dapat diperbaharui kembali. (Alamsyah, 2007)

Kebutuhan akan minyak dan gas yang tidak diimbangi oleh kapasitas

produksi menyebabkan kelangkaan bahan bakar minyak dan gas, sehingga akan terjadi kenaikan harga. Pemerintah maupun swasta di hampir semua negara kemudian berpacu untuk membangkitkan energi dari sumber energi-energi baru dan terbarukan untuk menjaga ketahanan energi negara. Perubahan iklim yang mulai terlihat saat ini menuntut banyak pihak dalam penggunaan bahan bakar fosil, khususnya bahan bakar minyak dan gas yang sangat berperan sekali dalam pemanasan global. (Daryanto, 2007)

Salah satu solusi energi terbarukan yang saat ini digunakan secara komersil di Indonesia diantaranya adalah energi air, panas bumi, bio energi, energi angin, sinar matahari dan masih banyak lagi energi terbarukan yang masih dalam pengembangan. Yang mana dalam pengembangan tentu terdapat beberapa kendala diantaranya dalam penggunaan tenaga air, ketersediaan lahan dan pasokan air, sedangkan untuk penggunaan energi panas bumi kendalanya adalah teknologi dan biaya eksplorasi yang besar serta harus pada daerah tertentu seperti daerah pegunungan berapi. Salah satu sumber energi terbarukan yang bisa digunakan dalam skala kecil adalah energi angin. (Jaras, 1980)

Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) yang kita kenal adalah dua turbin angin pada umumnya yaitu turbin angin poros horizontal dan turbin angin poros vertikal merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang memanfaatkan angin sebagai energi pembangkitnya. Karena angin terdapat dimana-mana sehingga mudah untuk didapatkan serta tidak membutuhkan biaya yang banyak. Karena listrik tidak dihasilkan langsung oleh alam maka untuk memanfaatkan energi angin ini di perlukan sebuah alat yang bekerja dan menghasilkan energi listrik. Diantaranya Alat yang digunakan adalah kincir angin. Kincir angin ini akan menangkap angin dan akan menggerakkan generator yang nantinya akan menghasilkan energi listrik.

Dalam rangka pengembangan turbin angin poros horizontal (Horizontal Axis Wind Turbin) telah dilakukan banyak penelitian untuk menghasilkan sistem yang mampu bekerja secara optimal. Dimana kincir ini dapat ditingkatkan efisiensinya untuk mendapat koefisien daya yang maksimal. Salah satunya dengan menggunakan sudu berjumlah banyak. Koefisien daya yang maksimal ini akan

meningkatkan jumlah Watt (daya) yang dihasilkan sehingga untuk mendapatkan jumlah watt tertentu cukup dengan menggunakan jumlah kincir angin yang lebih sedikit. Dari hasil penelitian yang dilakukan diharapkan mampu dijadikan sebagai acuan dalam penelitian selanjutnya selain itu juga diharapkan mampu menghasilkan sistem yang ramah lingkungan dan dapat di aplikasikan skala kecil di daerah yang belum tersentuh listrik. (Andika dkk. 2007)

## BAB II

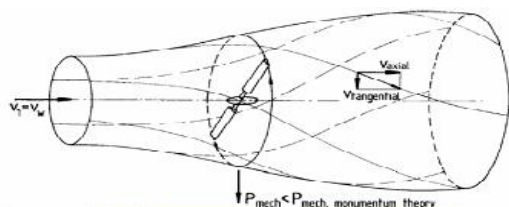
### LANDASAN TEORI

#### 2.1. Energi Angin

##### 2.2.1. Energi energi yang terdapat pada angin

Secara sederhana energi potensial yang terdapat pada angin dapat memutar blade-blade yang terdapat pada kincir angin, dimana blade-blade ini terhubung dengan poros dan memutar poros yang telah terhubung dengan generator dan menimbulkan arus listrik. Kincir yang besar dapat digabungkan secara bersama-sama sebagai energi tenaga angin, dimana akan memberikan daya kedalam sistem transmisi kelistrikan

Model sederhana dari turbin angin mengambil dasar teori dari momentum, angin dengan kecepatan tertentu menabrak rotor yang memiliki performa sayap atau propeller. Dalam model sederhana, dimana memungkinkan Newtonian mechanics digunakan, aliran diasumsikan steady dan mendatar, udara diasumsikan incompressibel dan inviscid, dan aliran downstream (aliran setelah melalui rotor) diasumsikan konstan di sekeliling bagian streamtube dengan tidak ada diskontinuitas tekanan di seberang perbatasan streamtube. Aplikasi dari momentum dan energi diperlihatkan dalam gambar berikut :

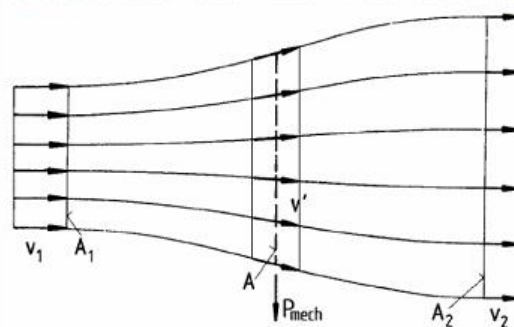


**Gambar 2.3** Teori Momentum Dengan Mempertimbangkan Bangun Rotor Berputar. ( Hau, 2006)

#### 2.2.2. Teori Momentum Elementer Betz.

Menurut Betz, seorang insinyur Jerman, besarnya energy yang maksimum dapat diserap dari angin adalah hanya 0.59259 dari energi yang tersedia. Sedangkan hal tersebut juga dapat dicapai dengan daun turbin yang dirancang dengan sangat baik serta dengan kecepatan keliling daun pada puncak daun sebesar 6 kali kecepatan angin. Pada dasarnya turbin angin untuk generator listrik hanya akan bekerja antara suatu kecepatan angin minimum, yaitu kecepatan star  $C_s$ , dan kecepatan nominalnya  $C_r$ . (Andika dkk, 2007)

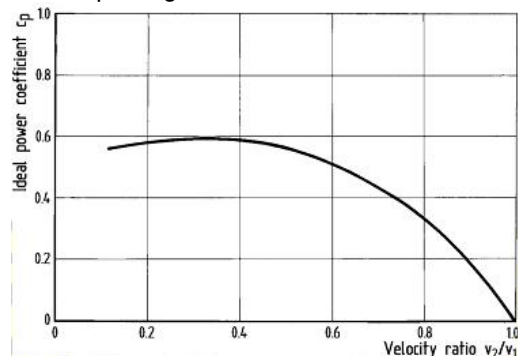
Teori momentum elementer Betz sederhana berdasarkan pemodelan aliran dua dimensi angin yang mengenai rotor menjelaskan prinsip konversi energi angin pada turbin angin. Kecepatan aliran udara berkurang dan garis aliran membelok ketika melalui rotor dipandang pada satu bidang. Berkurangnya kecepatan aliran udara disebabkan sebagian energi kinetik angin diserap oleh rotor turbin angin. Pada kenyataannya, putaran rotor menghasilkan perubahan kecepatan angin pada arah tangensial yang akibatnya mengurangi jumlah total energi yang dapat diambil dari angin. Walaupun teori elementer Betz telah mengalami penyederhanaan, namun teori ini cukup baik untuk menjelaskan bagaimana energi angin dapat dikonversikan menjadi bentuk energi lainnya.



**Gambar 2.4** Model Aliran dari Teori Momentum Beltz ( Hau, 2006)

Koefisien daya hasil dari konversi daya angin ke daya mekanis turbin tergantung pada perbandingan dari kecepatan angin sebelum dan sesudah dikonversikan. Jika keterkaitan ini di plot ke dalam grafik, secara langsung solusi

analitis juga dapat ditemukan dengan mudah. Dapat dilihat bahwa koefisien daya mencapai maksimum pada rasio kecepatan angin tertentu seperti pada terlihat pada gambar



**Gambar 2.5** Koefisien Daya Berbanding Dengan Rasio Kecepatan Aliran Sebelum dan Setelah Konversi Energi (Hau, 2006).

Besarnya efisiensi teoritis atau maksimum dari turbin angin  $C_p$  adalah :

$$C_p = \frac{16}{27} = 0.593$$

Dengan kata lain, turbin angin dapat mengkonversikan tidak lebih dari 60% tenaga total angin menjadi tenaga berguna. Betz adalah orang pertama yang menemukan nilai ini, untuk itu nilai ini disebut juga dengan Betz factor.

### 2.2.3. Energi Kinetik Angin.

Menurut ilmu fisika klasik energi kinetik dari sebuah benda dengan massa  $m$  dan kecepatan  $v$  adalah  $E = 0.5.m.v^2$ , dengan asumsi bahwa kecepatan  $v$  tidak mendekati kecepatan cahaya. Rumus tersebut diatas berlaku juga untuk menghitung energi kinetik yang diakibatkan oleh gerakan angin. Sehingga biasa dituliskan sebagai berikut : (Nursuhud 2008)

$$E = \frac{1}{2} \dot{m}.v^2 \quad (2.1)$$

Dengan :

$E$  = energi (joule)

$m$  = massa udara (kg)

$v$  = kecepatan angin (m/s)

Bila suatu blok udara yang mempunyai penampang  $A$  m<sup>2</sup>, dan bergerak dengan kecepatan  $v$  m/s, maka jumlah massa yang melewati sesuatu tempat adalah:

$$\dot{m} = \rho A v \quad (2.2)$$

Dengan

$m$  = laju aliran massa (kg/s)

$A$  = luas penampang melintang aliran (m<sup>2</sup>)

$\rho$  = massa jenis angin (kg/m<sup>3</sup>)

Tenaga total aliran angin adalah sama dengan laju energi kinetik aliran yang datang, maka : (Nursuhud 2008)

$$W_{tot} = \dot{m}.Ke = m.\frac{v^2}{2gc} \quad (2.3)$$

Dengan :

$W_{tot}$  = tenaga total (watt)

$gc$  = faktor koreksi = 1 (kg/N.s<sup>2</sup>)

Dengan melihat persamaan 2.1 dan 2.2 maka :

$$W_{tot} = \frac{1}{2gc} \rho A v^3 \dots\dots (W) \quad (2.4)$$

Daya per luas, sebagai potensi daya angin atau kerapatan daya angin (wind power density), yaitu :

$$\frac{W_{tot}}{A} = \frac{1}{2gc} \rho v^3 \dots\dots (W/m^2) \quad (2.5)$$

Energi kinetik yang terkandung dalam angin inilah yang ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor. Untuk menganalisis seberapa besar energi angin yang dapat diserap oleh turbin angin, digunakan Teori Momentum Elementer Betz.

### 2.2.4. Daya Angin.

Daya adalah energi per satuan waktu. Daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara, dan kubik kecepatan angin, seperti diungkapkan dengan persamaan berikut: (Umanand,2007)

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.6)$$

Dengan :

$P$  = Daya angin (watt)

$\rho$  = massa jenis angin (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = luas penampang melintang aliran (m<sup>2</sup>)

$v$  = kecepatan angin (m/s)

## 2.2. Turbin Angin

### 2.3.1. Jenis turbin angin

Dalam perkembangannya, turbin angin dibagi menjadi dua jenis turbin angin Propeller dan turbin angin Darrieus. Kedua jenis turbin inilah yang kini memperoleh perhatian besar untuk dikembangkan. Pemanfaatannya yang umum sekarang sudah digunakan adalah untuk memompa air dan pembangkit tenaga listrik. Turbin angina terdiri atas dua jenis, yaitu :

### A. Turbin angin poros horizontal (HAWT).

Turbin angin Propeller adalah jenis turbin angin dengan poros horizontal seperti baling – baling pesawat terbang pada umumnya. Turbin angin ini harus diarahkan sesuai dengan arah angin yang paling tinggi kecepatannya.

Mukund R. Patel menambahkan, seperti yang terlihat dalam persamaan daya angin sebelumnya, keluaran daya dari turbin angin bervariasi linear dengan daerah yang melawati rotor blade. Untuk turbin sumbu horizontal, daerah yang melewati rotor blade adalah: (Alamsyah, 2007)

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (m^2) \quad (2.7)$$

### B. Turbin angin poros vertical (VAWT).

Turbin angin Darrieus merupakan suatu sistem konversi energi angin yang digolongkan dalam jenis turbin angin berporos tegak. Turbin angin ini pertama kali ditemukan oleh GJM Darrieus tahun 1920. Keuntungan dari turbin jenis Darrieus adalah tidak memerlukan mekanisme orientasi pada arah angin (tidak perlu mendeteksi arah angin yang paling tinggi kecepatannya) seperti pada turbin angin propeller (Alamsyah, 2007).

Mukund R. Patel menambahkan, untuk turbin angin Darrieus-sumbu vertikal, penetapan luas sapuan rotor rumit karena melibatkan integral elips. Namun, dengan menganggap blade sebagai parabola persamaannya menjadi sederhana:

$$A = \frac{2}{3} (\text{maximum rotor width at center}) (\text{height of the rotor}) \quad (2.8)$$

Setiap jenis turbin angin memiliki ukuran dan efisiensi yang berbeda. Untuk memilih jenis turbin angin yang tepat untuk suatu kegunaan diperlukan tidak hanya sekedar pengetahuan tetapi juga pengalaman.

### 2.3.2. Efisiensi Turbin Angin

#### A. Efisiensi rotor

Daya angin maksimum yang dapat diekstrak oleh turbin angin dengan luas sapuan rotor A adalah: (Daryanto 2007)

$$P = \frac{16}{27} \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (W) \quad (2.9)$$

Angka 16/27 (=59.3%) ini disebut batas Betz (Betz limit, diambil dari

ilmuwan Jerman Albert Betz). Angka ini secara teori menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin tipe sumbu horizontal. Pada kenyataannya karena ada rugi-rugi gesekan dan kerugian di ujung blade, efisiensi aerodinamik dari rotor,  $\eta_{\text{rotor}}$  ini akan lebih kecil lagi yaitu berkisar pada harga maksimum 0.45 saja untuk blade yang dirancang dengan sangat baik. Maka Efisiensi rotor turbin angin menjadi:

$$\eta_{\text{rotor}} = C_p = P_t / \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2.10)$$

Keterangan:

$P_t$  = Daya turbin (watt)

$C_p$  = Coefisien Power

$\rho$  = massa jenis angin (kg/m<sup>3</sup>)

$A$  = Luas penampang melintang aliran (m<sup>2</sup>)

$v$  = kecepatan angin (m/s)

#### B. Efisiensi Transmisi dan Generator

Gearbox mengubah laju putar menjadi lebih cepat, konsekuensinya dengan momen gaya yang lebih kecil, sesuai dengan kebutuhan generator yang ada di belakangnya. Generator kemudian mengubah energi kinetik putar menjadi energi listrik. Efisiensi transmisi gearbox dan bearings ( $N_b$ , bisa mencapai 95%), dan efisiensi generator ( $N_g$ , ~ 80%). (Pikatan, 1999).

Sehingga efisiensi total turbin angin dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\eta_{\text{total}} = C_p \cdot N_b \cdot N_g \quad (2.11)$$

### 2.3.3. Daya Turbin Angin

Dengan menggabungkan persamaan 2.10 dan persamaan 2.11 sehingga di peroleh persamaan daya turbin angin:

$$P = \eta_{\text{total}} \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (W) \quad (2.12)$$

### 2.3.4. TIP SPEED RATIO

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, tip speed ratio akan berpengaruh pada kecepatan rotor. Turbin angin tipe lift akan memiliki tip speed ratio yang relatif lebih besar dibandingkan dengan turbin angin drag.

Tip speed ratio dihitung dengan persamaan :

$$\lambda = \frac{2\pi \cdot n \cdot r}{60 \times v} \quad (2.13)$$

dengan :

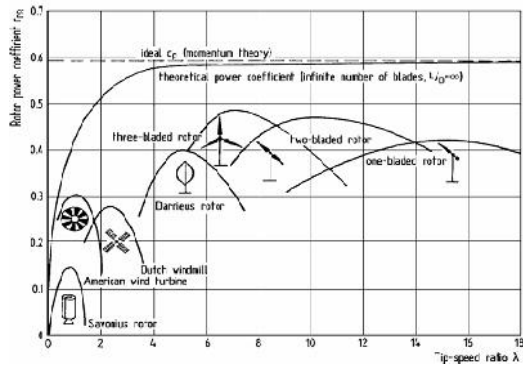
$\lambda$  : tip speed ratio

$r$  : jari-jari rotor (m)

$n$  : putaran rotor (rpm)

$v$  : kecepatan angin (m/s)

Gambar berikut menunjukkan variasi nilai tip speed ratio dan koefisien daya untuk berbagai macam turbin angin.



**Gambar 2.12** Variasi Tip Speed Ratio Dan Koefisien Daya Pada Berbagai Jenis Turbin Angin. (Hau, 2006)

## METODELOGI PENELITIAN

### 3.1. Metode Penelitian.

### 3.2. Waktu dan Tempat.

Proses produksi elemen-elemen turbin angin poros horizontal dilakukan dengan cara manual. Setelah pembuatan dan assembly objek penelitian selesai, pengujian turbin angin dapat dilakukan. Semua proses penelitian dilakukan di Laboratorium Mesin Proses Produksi Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Mataram.

Penelitian ini mulai dikerjakan dari tanggal 10 agustus 2012 sampai tanggal 31 September 2012.

Variabel terikat yaitu variable yang menjadi perhatian utama peneliti. Tujuan utama peneliti adalah menjelaskan variable terikat. Dengan menganalisa variable terikat, diharapkan dapat ditemukan jawabanya dan penyelesaian

permasalahan. Yang menjadi variable terikat pada penelitian ini adalah :

- Daya Alternator (  $P_{alternator}$  ) di ukur dengan (V dan I generator).
- Putaran (  $n$  ).
- Tip speed ratio ( TSR ) dan Efisiensi sistem (  $\eta$  ).

### 2. Variabel bebas

Variable bebas yaitu variable yang mempengaruhi variable terikat. Adapun yang menjadi variabel bebas dalam penelitian ini yaitu :

- Jumlah blade yang digunakan adalah 3,4,5dan 6 blade.
- Kecepatan angin yang digunakan adalah mulai dari 3m/s, 3.5m/s, 4m/s yang di ukur dengan menggunakan alat anemometer.

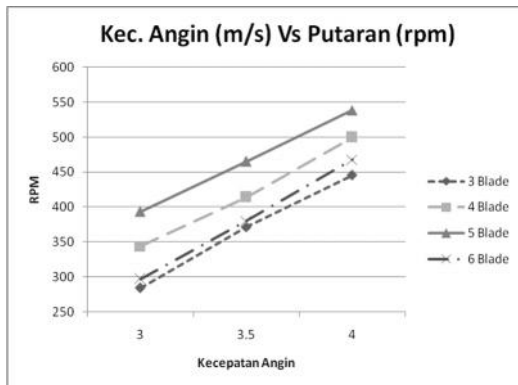
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab IV ini akan dibahas hasil dari pengaruh kecepatan angin dan jumlah blade terhadap unjuk kerja turbin angin poros horizontal yang telah didapatkan pada saat penelitian, dan pada bab ini juga akan dibahas hasil analisa data yang telah dilakukan.

### 4.2 PEMBAHASAN.

#### 4.2.1 Hubungan Kecepatan Angin Terhadap RPM

Di bawah ini adalah grafik hubungan antara kecepatan angin dengan putaran yang dihasilkan oleh turbin dengan kecepatan angin 3m/s, 3,5m/s, 4m/s pada variasi jumlah blade 3,4,5, dan 6.



**Gambar 4.1** Grafik Hubungan Kecepatan Angin dengan Putaran.

Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan putaran yang dihasilkan, artinya semakin besar kecepatan angin yang diberikan, maka semakin besar putaran turbin yang dihasilkan, semakin besar energi yang diberikan oleh angin terhadap turbin maka energi yang dapat dikonversikan turbin menjadi putaran semakin meningkat.

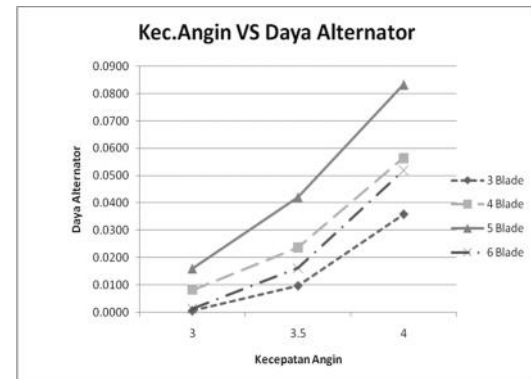
Dari grafik di atas dapat dilihat bahwa putaran maksimal yang dihasilkan turbin angin sebesar 538.60 rpm dengan kecepatan angin maksimal yaitu 4 m/s pada jumlah blade 5, sedangkan untuk putaran minimal yang terjadi pada kecepatan yaitu 3 m/s sebesar 284.27 rpm pada jumlah blade 3.

Dari variasi jumlah blade yang dilakukan juga terlihat memiliki karakteristik putaran yang berbeda satu sama lain. Dengan putaran yang dihasilkan maksimum pada jumlah 5 blade lebih besar bila dibanding dengan jumlah blade yang lain. Pada jumlah blade yang lebih sedikit pada penelitian ini memiliki putaran yang lebih rendah bila dibandingkan dengan jumlah 5 blade karena jarak antar blade yang satu dengan yang lain terlalu jauh sehingga distribusi energi angin yang diterima oleh blade tidak diterima secara maksimal karena banyak *losses* energi yang hilang melalui celah antar blade, sedangkan jumlah blade yang lebih banyak dari 5 blade pada penelitian ini banyak gaya yang merugikan akibat pengurangan kecepatan angin setelah melewati blade sehingga pengurangan kecepatan ini menjadi beban diantara blade. Akibatnya, performansi secara umum dapat dikatakan menurun seiring dengan pertambahan jumlah blade pada penelitian ini.

Jika melihat data berdasarkan analisa statistik anova diatas maka jelas terlihat

bahwa dengan dilakukannya variasi kecepatan angin dan variasi jumlah blade berpengaruh sangat nyata terhadap jumlah putaran yang dihasilkan oleh turbin dengan taraf signifikan 1% hal ini terbukti dari nilai  $F$  ( $F$  hitung) yang lebih besar dari  $F_{crit}$  ( $F$  tabel). Hal yang sama juga ditunjukkan oleh hubungan interaksi yang terjadi dari kedua variasi yang dilakukan.

#### 4.2.2 Hubungan Kecepatan Angin dengan Daya Alternator.



**Gambar 4.2** Grafik Hubungan Kecepatan Angin dengan Daya alternator.

Dari grafik di atas dapat kita lihat bahwa daya maksimum yang dihasilkan pada jumlah blade 5 dan kecepatan angin terbesar 4 m/s sebesar  $P$  alternator 0.0833 watt, sedangkan daya minimum terjadi pada kecepatan angin 3 m/s dan jumlah blade 3 sebesar  $P$  alternator 0.0006 watt yang dihasilkan dari perkalian tegangan dan arus rata-rata yang diukur pada generator pada saat penelitian.

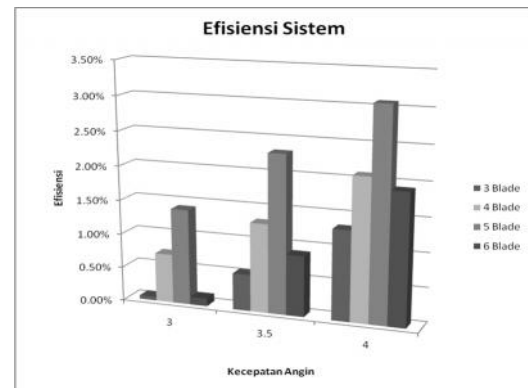
Dari variasi jumlah blade yang dilakukan juga memiliki nilai daya yang berbeda, dimana daya maksimum terjadi pada jumlah blade 5 lebih besar bila dibandingkan dengan jumlah sudu yang lain. Untuk penggunaan jumlah sudu yang kurang dari 5 blade akan menghasilkan putaran yang lebih kecil karena terdapat jarak yang renggang antara blade yang satu dengan blade yang lain sehingga menghasilkan putaran yang rendah karena banyak energi yang hilang melalui celah antar blade, sedangkan untuk penggunaan jumlah blade yang lebih banyak dari 5 blade juga akan mengurangi putaran turbin dimana aliran angin seakan-akan menabrak dinding yang terdapat antara blade justru menyebabkan beban bagi blade yang lain karena jarak antara blade yang terlalu rapat. Karena penggunaan variasi jumlah blade

sangat mempengaruhi hasil putaran pada turbin yang nantinya akan menghasilkan arus dan tegangan. Dimana nilai daya yang dihasilkan alternator merupakan hasil dari perkalian antara arus (I) dan tegangan (V) yang dihasilkan pada saat pengukuran yang mana nilai dari arus dan tegangan berbanding lurus dengan putaran, semakin tinggi putaran maka daya listrik dari alternator yang dihasilkan juga akan semakin besar.

Daya adalah energi per satuan waktu. Pada dasarnya daya listrik yang dihasilkan akan lebih kecil jika dibandingkan dengan daya angin, hal ini dipengaruhi oleh banyak faktor di antaranya adalah faktor gesekan yang terjadi pada turbin, efisiensi transmisi dan efisiensi generator yang menyebabkan daya yang dihasilkan oleh sistem tersebut semakin kecil. Dari grafik dapat dilihat bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan daya listrik yang dihasilkan, artinya bahwa peningkatan kecepatan angin seiring dengan daya listrik yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini tidak terlepas dari putaran, peningkatan putaran pada turbin sejalan dengan peningkatan putaran pada generator. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus tertentu yang nilainya juga berbanding lurus dengan kecepatan angin.

Jika melihat data berdasarkan analisa statistik anova diatas maka jelas terlihat bahwa dengan dilakukannya variasi kecepatan angin dan variasi jumlah blade berpengaruh sangat nyata terhadap daya alternator yang dihasilkan oleh turbin dengan taraf signifikan 1% hal ini terbukti dari nilai F (F hitung) yang lebih besar dari F<sub>crit</sub> (F tabel). Hal yang sama juga ditunjukkan oleh hubungan interaksi yang terjadi dari kedua variasi yang dilakukan.

#### 4.2.3 Hubungan Kecepatan Angin dengan Efisiensi Sistem.



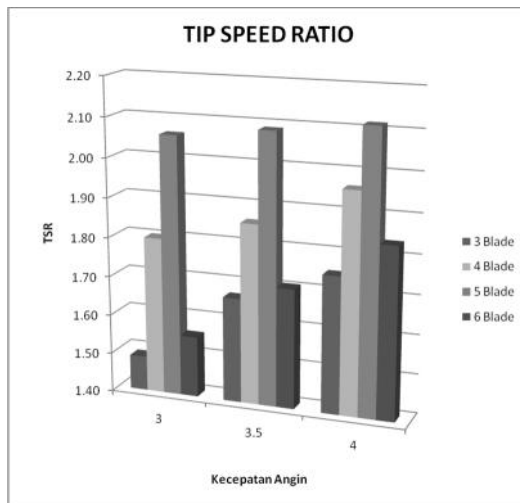
**Gambar 4.3** Grafik Hubungan Kecepatan Angin Dengan Efisiensi Sistem.

Effisiensi Sistem adalah perbandingan daya alternator dengan daya angin, semakin besar daya yang mampu diserap oleh rotor maka efisiensi sistem juga akan semakin meningkat. Dari grafik diatas terlihat bahwa kecepatan angin berbanding lurus dengan efisiensi sistem, semakin meningkat kecepatan angin maka coefisient power juga akan semakin meningkat, karena semakin besar kecepatan angin maka daya angin yang dihasilkan juga semakin besar.

Nilai  $\eta$  ini diperoleh dengan cara membandingkan nilai daya elektrik real dengan nilai daya teoritis. Dari perhitungan  $\eta$  diketahui bahwa nilai  $\eta$  terbaik diperoleh pada kecepatan angin maksimal 4 m/s dan jumlah blade 5 dengan nilai  $\eta = 3.07\%$ , sedangkan untuk nilai terkecil  $\eta$  diperoleh pada kecepatan angin 3 m/s dan jumlah blade 3 yaitu dengan nilai  $\eta = 0.05\%$ . Nilai ini sangat kecil sekali, hal ini dimungkinkan karena untuk sistem turbin angin dengan rasio gearbox yang kecil sehingga rasio gearbox yang diijinkan juga kecil, oleh karenanya generator tidak dapat bekerja dengan baik karena jumlah putaran yang diterima kurang dari jumlah putaran range kerjanya.

Jika melihat data berdasarkan analisa statistik anova diatas maka jelas terlihat bahwa dengan dilakukannya variasi kecepatan angin dan variasi jumlah blade berpengaruh sangat nyata terhadap efisiensi sistem yang dihasilkan oleh turbin dengan taraf signifikan 1% hal ini terbukti dari nilai F (F hitung) yang lebih besar dari F<sub>crit</sub> (F tabel). Hal yang sama juga ditunjukkan oleh hubungan interaksi yang terjadi dari kedua variasi yang dilakukan.

#### 4.2.4 Hubungan Kecepatan Angin dengan Tip Speed Ratio (TSR)



**Gambar 4.4** Grafik Hubungan Kecepatan Angin dengan TSR

Dari grafik hubungan antara kecepatan angin dengan Tip Speed Ratio (TSR) terlihat nilai TSR maksimal pada jumlah blade 5 dan kecepatan angin maksimal 4 m/s lebih besar dibandingkan jumlah blade yang lain, ini dikarenakan faktor penentu dari TSR seperti kecepatan angin dan putaran, sehingga dengan semakin meningkatnya putaran turbin maka TSR yang dihasilkan akan meningkat.

Untuk semua pengujian blade, nilai TSR maksimal pada kecepatan maksimal 4 m/s terjadi pada jumlah blade 5 yaitu sebesar  $\lambda = 2.11$ , sedangkan untuk nilai terendah pada kecepatan angin 3 m/s dihasilkan pada jumlah blade 3 yaitu sebesar  $\lambda = 1.49$ .

Jika melihat data berdasarkan analisa statistik anova di atas maka jelas terlihat bahwa dengan dilakukannya variasi kecepatan angin dan variasi jumlah blade berpengaruh sangat nyata terhadap nilai *tip speed ratio* yang dihasilkan oleh turbin dengan taraf signifikan 1% hal ini terbukti dari nilai F (F hitung) yang lebih besar dari F *crit* (F tabel).

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Dari rangkaian penelitian yang telah dilakukan bisa ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Besar arus (I) dan tegangan (V) maksimum yang terjadi pada Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) terjadi pada kecepatan maksimum 4m/s

- dengan jumlah blade 5, yaitu arus (I) 0.0298 A dan tegangan(V) = 2.80 volt.
2. Putaran yang dihasilkan pada turbin angin sumbu horizontal dengan jumlah blade 5 lebih baik bila dibandingkan dengan jumlah blade 3,4,dan 6. Semakin besar kecepatan angin maka putaran yang dihasilkan juga semakin besar.
3. Daya Alternator maksimum yang dihasilkan oleh turbin angin pada kecepatan 4 m/s dengan jumlah blade 3 adalah  $P_{\text{alternator}} = 0.0358$  watt pada putaran 445.63 rpm, jumlah blade 4 adalah  $P_{\text{alternator}} = 0.0565$  watt pada putaran 499.5 rpm, jumlah blade 5 adalah  $P_{\text{alternator}} = 0.0833$  watt pada putaran 538.60, dan jumlah blade 6 adalah  $P_{\text{alternator}} = 0.0520$  watt pada putaran 467.83.
4. Turbin angin poros horizontal memiliki Efisiensi system ( $\eta$ ) maksimum 3.07% dengan jumlah blade 5 pada kecepatan 4 m/s, sedangkan untuk TSR maksimum  $\lambda = 2.11$  pada jumlah blade 5 dengan kecepatan 4 m/s.
5. Unjuk kerja turbin yang dihasilkan pada kecepatan maksimum 4 m/s dengan jumlah blade 5 lebih baik bila dibandingkan jumlah blade yang lainnya.

#### 5.2 Saran

Dalam penelitian ini turbin angin yang digunakan adalah turbin angin poros horizontal dengan blade berbentuk taperlinier terbalik, perlu dilakukan beberapa modifikasi dari bentuk blade yang berbentuk persegi dengan memvariasikan sudut blade dan untuk pemilihan generator sebaiknya dipilih generator yang mampu mengeluarkan arus dan tegangan yang besar pada kecepatan angin yang rendah sehingga mampu meningkatkan performansi dari turbin angin tersebut.

Selain itu perlu penelitian lebih lanjut untuk mengetahui apakah besar atau luasan blade turbin angin dapat mempengaruhi unjuk kerja yang dihasilkan oleh turbin angin poros horizontal.

### DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, Hery., 2007, *Pemanfaatan Turbin Angin Dua Sudu Sebagai Penggerak Mula Alternator Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin*. Semarang : Universitas Negeri Semarang.
- Andika M.N, Trharyanto Y.T, Prasetya R.O., 2007, *Kincir Angin Sumbu*

- Horizontal Bersudu Banyak*, Yogyakarta : Universitas Sanata Dharma.
- Anonim 3, 2012, *Keuntungan Kerugian Angin*, ( Sumber : [www.surya.co.id](http://www.surya.co.id)), di unduh pada tanggal 21 April 2012 pukul 08.30 wita.
- Bastomi, Akhwan., 2010, *Simulasi Konversi Energy Angin Menjadi Energi Listrik Pada Turbin Angin Sumbu Horizontal*. Malang : Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim.
- Daryanto, Y., 2007, *Kajian Potensi angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Yogyakarta: BALAI PPTAGG – UPT-LAGG.
- El-Wakil, M., 1984. *Power Plant Technology*, International Edition.
- Hau, Erich. 2006. *Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Application, Economics*. Edisi Kedua. Germany. Springer.
- Jarass., 1980, *Strom aus Wind - Integration einer regenerativen EnergieQuelle*, Springer-Verlag, Berlin.
- Manwell, J.F ., 2002. *Wind Energy Explained Theory, Design and Application*. Amherst : John Wiley and Sons, Ltd.
- Nursuhud, Djati dan Astu Pudjanarsa., 2008. *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Sularso., 1980. *Dasar Perancangan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- Tambunan, Robert Maraluli Tua., 2008. "Perancangan dan Pembuatan Turbin Angin Sumbu Horizontal Dua Sudu Berdiameter 3.5 m dengan Modifikasi Pemotongan dan Pengaturan Sudut Pitch".
- Umanand, Prof. L., 2007, *Non-Conventional Energy Systems*. Bangalore : Indian Institute of Science Bangalore.
- Tong, C.W., 1997, *The Design And Testing Of A Wind Turbin For Malaysian Wind Condition*, thesis, UTM.
- Pikatan, Sugata., 1999, *Konversi Energi Angin*. Surabaya : Departemen Mipa Universitas Surabaya.