

# Pengaruh Sudut Blade Turbin Angin Poros Horizontal model *Contra Rotating* terhadap Daya dan Efisiensi dengan Posisi Rotor Blade saling Berseberangan

<sup>(1)</sup>Laurensius Nogur, <sup>(2)</sup>Verdy A. Koehuan, <sup>(3)</sup>Jahirwan Ut Jasron  
<sup>1,2,3</sup>Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana  
Jl. Adisucipto, Penfui-Kupang NTT  
Email: Zakhariasnady@gmail.com

Diterima \_\_\_\_\_; diterima terkoreksi \_\_\_\_\_; disetujui \_\_\_\_\_

## Abstrak

Turbin Angin *Contra Rotating* merupakan turbin sumbu horizontal memiliki dua poros yang berputar berlawanan arah pada sumbu yang sama saling memberi dan menerima daya sehingga dapat beroperasi dengan baik pada kecepatan angin rendah. Dalam penelitian ini dilakukan dengan menentukan variasi pada sudut blade, yaitu masing-masing sudut  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ , dan  $10^\circ$  pada dua rotor dengan diameter masing-masing 0,50 m dan 0,30 m dengan posisi rotor blade saling berseberangan. Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui pengaruh dari variasi sudut blade terhadap putaran turbin (rpm), Torsi (T) dan Koefisien Daya ( $C_p$ ) serta Efisiensi turbin pada setiap variasi kecepatan angin. Kecepatan angin sangat berpengaruh pada daya *output* atau daya mekanik, putaran rotor dan pembebanan pada rotor, daya *output* terendah 7,396 watt pada kecepatan angin 4,03 m/s, daya *output* tertinggi 25,397 watt pada kecepatan angin 6,08 m/s, putaran rotor terendah dengan tanpa pembebanan 727 rpm pada kecepatan angin 4,03 m/s dengan sudut blade  $0^\circ$ , putaran rotor tertinggi 1153 rpm pada kecepatan angin 6,08 m/s dengan sudut blade  $10^\circ$ . Pembebanan pada rotor terendah 450 g pada kecepatan angin 4,03 m/s dengan sudut  $0^\circ$ , pembebanan pada rotor tertinggi 750 g pada kecepatan angin 6,08 m/s dengan sudut blade  $10^\circ$ . Dengan adanya perubahan sudut pada blade turbin angin poros horizontal model *Contra Rotating*, koefisien daya ( $C_p$ ) yang dihasilkan dari kerja turbin meningkat seiring dengan bertambahnya sudut, Dengan  $C_{p_{maks}} = 0,701$  pada  $TSR = 4.275$  untuk sudut  $10^\circ$ .

**Kata kunci:** Turbin angin *Contra rotating*, Variasi sudut blade, Koefisien daya

## Abstract

*Contra Rotating wind turbine is a horizontal axis turbine has two rotors rotating in opposite directions on the same axis giving and receiving power so that it can operate well at low wind speeds. In this study carried out by determining the variation in the angle of the blade, i.e. each angle of  $0^\circ$ ,  $5^\circ$ , and  $10^\circ$  on the two rotors with a diameter of 0.50 m, respectively, and 0.30 m at a position opposing the rotor blade. The purpose of this study was to determine the effect of the variation of the rotation angle blade turbine (rpm), torque (T) and power coefficient ( $C_p$ ) and the efficiency of the turbine at any wind speed variations. Wind speed influence on the output power or mechanical power, rotation of the rotor and the rotor thrust force, the lowest output power 7.396 watts at wind speed of 4.03 m/s, the highest Daya output of 25.397 watts at wind speeds of 6.08 m/s, Round lowest rotor to 727 rpm with no load on the wind speed of 4.03 m/s at an angle of  $0^\circ$  blade, rotor rotation 1153 rpm at the highest wind speed of 6.08 m/s at an angle blade  $10^\circ$ . Rotor thrust 450 g at the lowest wind speed of 4.03 m/s at an angle of  $0^\circ$ , the highest 750 g rotor thrust on wind speed of 6.08 m/s at an angle of blade  $10^\circ$ . The change in the angle of the wind turbine blade shaft *Contra rotating horizontal models*, the power coefficient ( $C_p$ ) generated from the turbine work increases with the angle with  $C_{p_{maks}} 0,701$  at  $TSR 4.275$  for  $10^\circ$  angle.*

**Keywords:** *Contra Rotating Wind Turbine, Blade Angle Variation, Coefficient of Power*

## PENDAHULUAN

Pemanfaatan energi angin dengan menggunakan turbin angin sebagai alat

konversi energi sudah dikenal sejak dahulu namun sejak ditemukannya minyak bumi kecenderungan pemanfaatan energi angin untuk tata kehidupan manusia mulai menurun, keadaan ini berlangsung hingga terjadinya

krisis energi. Manusia menyadari perlunya pengembangan pemanfaatan sumber energi nonminyak termasuk pengembangan pemanfaatan energi angin.

Dalam sistem konversi energi angin, energi kinetik angin kemudian dikonversikan oleh suatu turbin angin untuk dijadikan energi mekanik sebagai penggerak poros dengan menggunakan rotor atau sudu sebagai penangkap anginnya. Dalam perencanaan rancang bangun sebuah turbin angin untuk kebutuhan perusahaan listrik, sejumlah besar turbin angin dibangun berdekatan untuk membentuk pembangkit listrik tenaga angin. Secara teori, efisiensi maksimum yang bisa dicapai setiap desain turbin angin adalah 59%, artinya energi angin yang bisa diserap hanyalah 59%. Jika faktor-faktor seperti kekuatan dan durabilitas diperhitungkan, maka efisiensi sebenarnya hanya 35-45%, bahkan untuk desain terbaik. Terlebih lagi jika ditambah inefisiensi sistem wind turbin lengkap, termasuk generator, *bearing*, transmisi daya dan sebagainya, hanya 10-30% energi angin yang bisa dikonversikan ke listrik. Berdasarkan teori momentum, koefisien daya maksimum dari turbin angin memiliki rotor tunggal yang ideal tanpa kerugian adalah sekitar 59%, yang dikenal sebagai batas *Betz*. Dalam prakteknya, koefisien daya maksimum dari turbin angin konvensional sumbu horizontal memiliki rotor tunggal sekitar 40-50% karena beberapa kerugian seperti kehilangan daya, dan kerugian transmisi. Selama beberapa tahun terakhir banyak konsep yang berbeda dan desain blade turbin angin telah diusulkan untuk meningkatkan daya maksimum. Koefisien Sebuah turbin angin *Contra-rotating* dua rotor berputar berlawanan arah pada sumbu yang sama telah diusulkan sebagai konsep baru untuk meningkatkan koefisien daya maksimum dari turbin angin. Berdasarkan teori momentum klasik, Newman menemukan bahwa daya maksimum koefisien turbin angin memiliki dua rotor tanpa kerugian meningkat menjadi sekitar 64%. Turbin angin *Contra Rotating* rotor berputar memiliki dua arah yang berlawanan pada sumbu yang sama.

Telah diketahui bersama bahwa angin merupakan sumber energi alam yang dapat diperbaharui dan sangat bermanfaat bagi

kehidupan manusia. Dalam rangka pengembangan pemanfaatan sumber energi angin sebagai pembangkit listrik sehingga perlu meningkatkan koefisien dan efisiensi dari turbin angin itu sendiri, dan untuk meningkatkan maka perlu untuk mengetahui kinerja atau performansi dari turbin angin dengan sudu profil *double* rotor atau *Contra Rotating*

## TEORI DASAR

Turbin angin *Contra Rotating* rotor berputar memiliki dua arah yang berlawanan pada sumbu yang sama saling memberi dan menerima daya. Prinsip dasar kerja dari turbin angin ini adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada rotor, lalu putaran rotor digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Umumnya, daya efektif maksimum dalam perancangan turbin angin sebesar 59,3% (*Betz Limit*). Tidak lebih dari 59% energi yang dibawa oleh angin dapat diserap oleh turbin. Faktor teknik yang juga harus diperhitungkan adalah kekuatan (*strenght*) dan daya tahan (*durability*) turbin, sehingga daya efektif turbin angin terbaik 35-45%.

"Hans Honneff, menulis sebuah buku pada penggunaan *contrarotation*, menggunakan dua rotor satu di belakang yang lain, mendorong dua bagian dari sebuah generator listrik, Konsep *contra rotating* digunakan pada pesawat terbang, kapal, dan kapal selam untuk meningkatkan efisiensi sementara menghilangkan torsi asimetris dihadapi oleh rotor konvensional. Sebuah sistem dual-rotor dapat digambarkan sebagai suatu sistem terdiri dari dua rotor dipisahkan oleh jarak yang sesuai.

Menurut teori Betz, daya maksimum yang dapat diekstraksi dari angin adalah sekitar 59% dari yang tersedia energi angin saat kecepatan angin aksial berkurang oleh dua pertiga di rotor tunggal. Namun, praktis turbin angin mengkonversi kurang dari 40% dari energi angin menjadi energi listrik. Oleh karena itu, hampir 60% dari energi angin potensial tanpa dimanfaatkan. Dalam kenyataannya, energi yang terdapat di belakang rotor tunggal hampir sama besarnya dengan energi yang

terdapat di depan rotor. Bagian ini energi dapat diekstraksi lanjut dengan memasang rotor kedua.

Analisa data

- Daya angin dapat di hitung dengan menggunakan rumus :

$$P_i = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^2 \quad (1)$$

$$A = \pi R^2 \quad (2)$$

- Torsi diperoleh dengan menggunakan sistem pengeremam yaitu dengan menggantungkan beban pada puli yang berputar. Untuk persamaanya adalah sebagaiberikut:

$$T = F \cdot r \quad (3)$$

$$F = m \cdot g \quad (4)$$

- Daya turbin merupakan *output* dari turbin angin.

$$P_0 = T \cdot \omega \quad (5)$$

$$\omega = \frac{2\pi \cdot n}{60} \quad (6)$$

- Koefisien daya ( $C_p$ ) adalah perbandingan antara daya yang dibangkitkan oleh turbin angin dengan daya angin.

$$C_p = \frac{P_m}{P_i} \quad (7)$$

- Koefisien torsi:

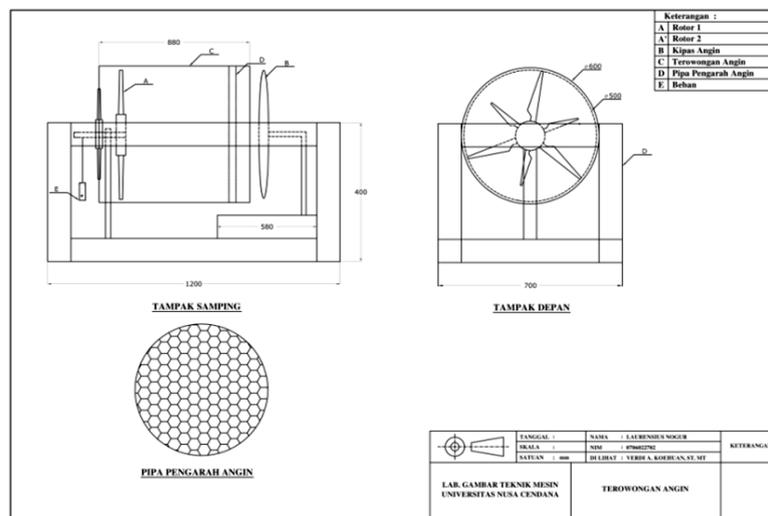
$$C_q = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho \cdot V^2 \cdot A \cdot R} \quad (8)$$

- *Ratio* kecepatan ujung blade

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V} \quad (9)$$

## METODE PENELITIAN

Penelitian melalui metode eksperimen dilakukan untuk menguji rotor turbin dalam membangkitkan torsi dan daya dengan beberapa variasi sudut blade pada kondisi kecepatan angin tertentu. Sebelum pengujian, maka terlebih dahulu dilakukan pembuatan alat uji yaitu turbin angin model *Contra Rotating* (dua rotor) dengan diameter masing-masing 0,50 m dan 0,30 m, dipersiapkan juga rangkaian *wind tunnel* sederhana beserta kipas angin sebagai sumber angin untuk memutar turbin dengan melakukan pengujian turbin angin poros horizontal model *Contra Rotating*.



Gambar 1. Skema pengujian Turbin Angin Contra Rotating.

## PEMBAHASAAN

Pengujian dilakukan berdasarkan karakteristik turbin dengan tiga variasi sudut

blade yaitu : sudut 0°, 5°, dan 10° untuk setiap perubahan kecepatan angin.

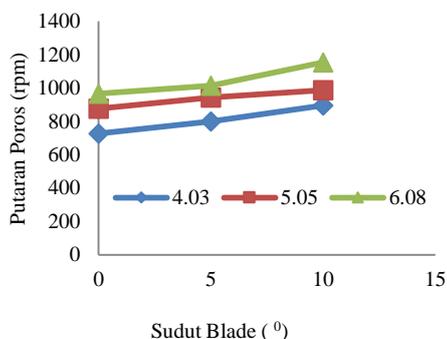
Berdasarkan hasil rancangan pada turbin angin poros horizontal model *Contra Rotating* data awal dalam pengujian ini adalah:

- Diameter (Dk) dual rotor masing-masing: 50 cm = 0,50 m dan 30 cm = 0,30 m
- Kecepatan angin (V) = 4,03 m/s, 5,05 m/s, dan 6,08 m/s
- Variasi sudut blade ( $\beta$ ) = 0°, 5°, dan 10°
- Jari-jari (R) = 25 cm = 0,25 m
- Jari-jari puli (r) = 0,17 cm = 0,017 m

**Pengaruh variasi sudut blade terhadap daya mekanik turbin**

***Pengaruh variasi sudut blade terhadap putaran poros***

Pada Gambar 2 dapat dilihat besarnya hubungan antara variasi sudut blade terhadap putaran poros turbin dimana putaran poros cenderung naik sejalan dengan penambahan sudut blade. Perubahan besar sudut pada blade rotor turbin mempengaruhi daya output dari turbin angin. Setiap penambahan sudut blade maka semakin naik putaran pada poros turbin. Pada sudut 0° untuk kecepatan angin 4,03 m/s putaran turbin sebesar 727 rpm, sedangkan untuk sudut 5° sebesar 799 rpm, untuk sudut 10° mencapai 896 rpm dan putaran turbin pada kecepatan angin 6,08 m/s untuk setiap perubahan sudut sebesar 998 rpm, 1031 rpm dan 1153 rpm untuk sudut 10°.



**Gambar 2.** Grafik hubungan sudut blade terhadap putaran poros.

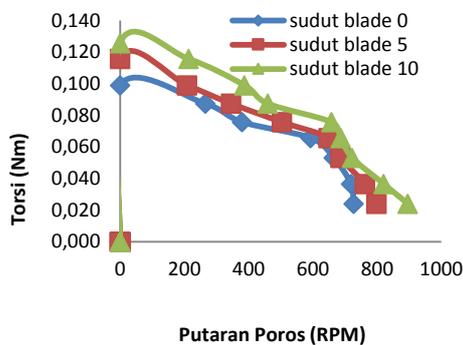
Penambahan besar sudut blade mempengaruhi peningkatan sudut serang yang secara teori dapat meningkatkan gaya lift. Akibat dari peningkatan gaya lift, maka kecepatan putaran poros turbin angin dan torsi poros akan naik pula. Perubahan sudut blade akan mempengaruhi putaran poros turbin

karena adanya perubahan daya angin yang diterima oleh bilah yang dikonversi menjadi daya mekanik turbin. Dari tabel data pada hasil pengujian menunjukkan perubahan putaran poros akibat penambahan sudut blade pada keadaan tanpa pembebanan dimana putaran rotor naik.

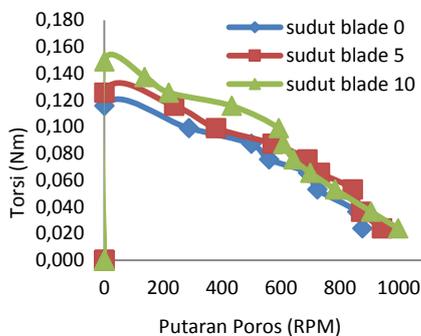
***Pengaruh variasi sudut blade terhadap putaran poros dan torsi***

Pada saat turbin angin berputar diberikan pembebanan sehingga terjadi pengereman berupa gesekan antara puli dan tali nilon sehingga terjadi momen puntir pada poros yang dikenal dengan Torsi. Hubungan antara torsi dan pembebanan yaitu berbanding lurus artinya semakin besar beban yang diberikan pada poros maka torsi yang terjadi juga semakin besar dan sebaliknya semakin kecil pembebanan yang diberikan pada turbin maka torsinya juga semakin kecil. Setiap pembebanan yang diberikan akan mengurangi putaran poros turbin angin. Kecepatan angin berbanding lurus dengan Torsi maksimum yang terjadi terhadap putaran poros, semakin cepat kecepatan angin maka torsi maksimum yang terjadi juga semakin besar dan terjadi diatas putaran poros kecepatan angin sebelumnya, demikian pula sebaliknya.

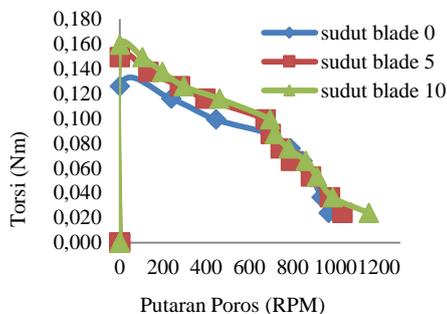
Penambahan besar sudut blade dan kecepatan angin sangat berpengaruh terhadap torsi yang terjadi. Torsi maksimum terjadi pada besar sudut blade 100 dengan kecepatan angin 4,03 m/s sebesar 0,075. Pada grafik Gambar 3 sampai 5 menunjukkan torsi berkurang terhadap bertambahnya putaran poros. Semakin cepat putaran poros maka torsi yang terjadi juga semakin rendah. Pada posisi sudut blade 0° dengan kecepatan angin 4,03 m/s, putaran poros sebesar 727 rpm tanpa diberi beban, kemudian putaran poros berkurang seiring dengan bertambahnya beban yang diberikan, untuk pembebanan 75 gram putaran poros berkurang menjadi 719 rpm, kemudian untuk pembebanan 380 gram putaran poros 265 rpm, sedangkan pada sudut blade 5° putaran poros dengan tanpa pembebanan sebesar 799 rpm dan pada saat diberi beban 75 gram putaran poros berkurang menjadi 762 rpm, kemudian untuk pembebanan 380 rpm putaran poros menjadi 346 rpm.



**Gambar 3.** Grafik hubungan putaran poros terhadap torsi untuk kecepatan angin 4,03 m/s



**Gambar 4.** Grafik hubungan putaran poros terhadap torsi untuk kecepatan angin 5,05 m/s

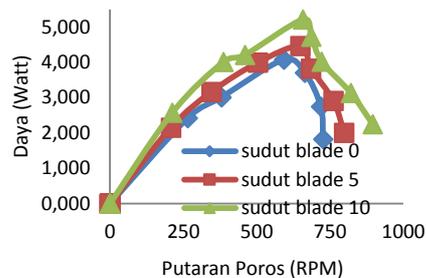


**Gambar 5.** Grafik hubungan putaran poros terhadap torsi untuk kecepatan angin 6,08 m/s

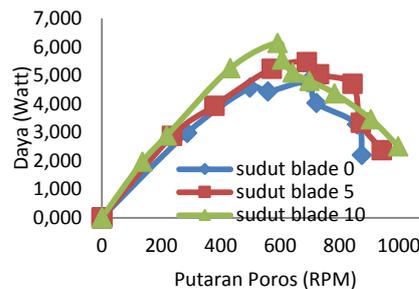
Dalam pengujian ini, daya turbin angin didapat dari hasil kali antara torsi dan kecepatan sudut sehingga besarnya pembebanan dan putaran poros turbin mempengaruhi daya yang dihasilkan turbin angin. Turbin yang diam tidak menghasilkan daya sama sekali demikian pula bila turbin angin tersebut berputar sangat cepat. Diantara

kedua harga tersebut terdapat putaran maksimum dimana terjadi daya maksimum dari sebuah turbin angin.

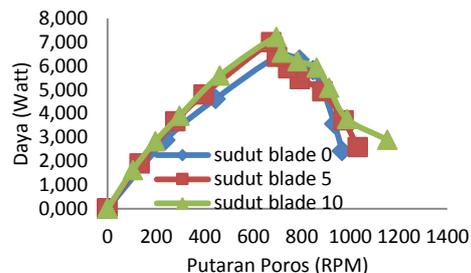
**Pengaruh penambahan besar sudut blade terhadap daya yang dihasilkan turbin**



**Gambar 6.** Grafik hubungan putaran poros terhadap daya untuk kecepatan angin 4,03 m/s



**Gambar 7.** Grafik hubungan putaran poros terhadap daya untuk kecepatan angin 5,05 m/s



**Gambar 8.** Grafik hubungan putaran poros terhadap daya untuk kecepatan angin 6,08 m/s

Dari hasil pengujian penambahan sudut pada blade dapat menambah torsi awal rotor turbin angin sehingga rotor menjadi lebih mudah berputar pada kecepatan angin yang rendah sekalipun. Kenaikan sudut blade maka daya yang dihasilkan juga bertambah.

Gambar 6 sampai 8 menunjukkan

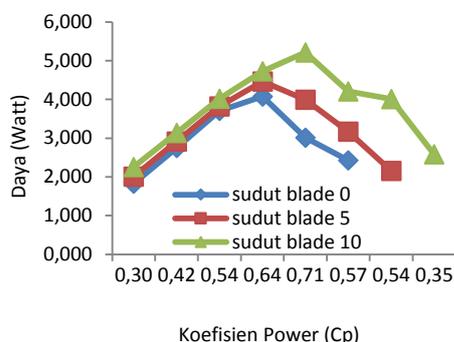
hubungan penambahan besar sudut blade dari  $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ , dan  $10^{\circ}$  terhadap daya yang dihasilkan, pada kecepatan angin 4,03 m/s, 5,05 m/s, dan 6,08 m/s. Terlihat bahwa semakin besar penambahan sudut blade dan kecepatan angin maka semakin besar daya yang dihasilkan. Untuk sudut blade  $0^{\circ}$  pada kecepatan angin 4,03 m/s daya yang dihasilkan sebesar 4,048 watt, sedangkan pada kecepatan angin 5,05 m/s sebesar 4,724 watt, dan pada kecepatan angin 6,08 m/s daya yang dihasilkan naik sebesar 6,350 watt, kenaikan daya ini cenderung naik seiring dengan perubahan sudut blade, dan untuk sudut blade  $10^{\circ}$  daya yang dihasilkan sebesar 7,183 watt pada kecepatan angin 6,08 m/s.

### Kinerja Turbin Angin Terhadap Daya Maksimum dan Efisiensi

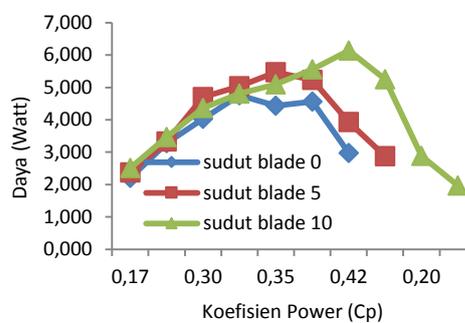
Berdasarkan hasil pengujian kinerja dari turbin angin poros horizontal model *contra rotating*, dan melakukan perhitungan dengan beberapa data yang telah diambil pada saat pengujian. Data-data yang dijadikan acuan adalah putaran poros (rpm), besarnya pembebanan (gr) pada poros dengan variasi sudut blade ( $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ), dan kecepatan angin yang berbeda (4,03 m/s, 5,05 m/s). Dari data tersebut maka dapat dibahas hubungan antara variasi sudut blade terhadap daya maksimum serta efisiensi yang dihasilkan turbin.

#### Hubungan Koefisien Power terhadap Daya yang dihasilkan

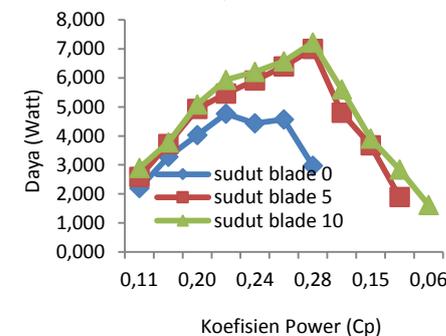
Hubungan antara kinerja terhadap daya maksimum untuk tiga variasi sudut blade turbin angin poros horizontal model *contra rotating* ( $0^{\circ}$ ,  $5^{\circ}$ ,  $10^{\circ}$ ), untuk berbagai kecepatan angin (4,03 m/s, 5,05 m/s, dan 6,08 m/s) dapat dilihat pada Gambar 9 sampai 11, data yang dijadikan acuan adalah nilai koefisien Power ( $C_p$ ) terhadap Daya (Watt) yang dihasilkan turbin. Berdasarkan Gambar 9 sampai 11, daya maksimum turbin angin diperoleh pada putaran poros dibawah maksimal dari setiap kecepatan angin dan besar sudut. Sehingga grafik yang terbentuk merupakan hubungan polinomial antara daya dan putaran poros turbin angin.



**Gambar 9.** Hubungan Koefisien power terhadap Daya yang dihasilkan turbin untuk kecepatan angin 4,03 m/s



**Gambar 10.** Hubungan Koefisien power terhadap Daya yang dihasilkan turbin untuk kecepatan angin 5,05 m/s



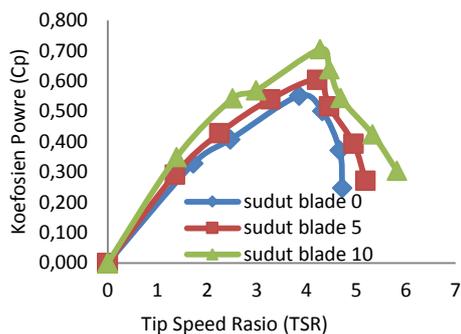
**Gambar 11.** Hubungan Koefisien power terhadap Daya yang dihasilkan turbin untuk kecepatan angin 6,08 m/s

Gambar 9 sampai 11 untuk setiap perubahan sudut blade juga menunjukkan bahwa setiap penambahan besar sudut blade dan kenaikan kecepatan angin maka daya yang dihasilkan juga semakin besar, untuk sudut blade  $0^{\circ}$  daya maksimum yang dihasilkan sebesar 6,35 watt pada nilai Koefisien Power

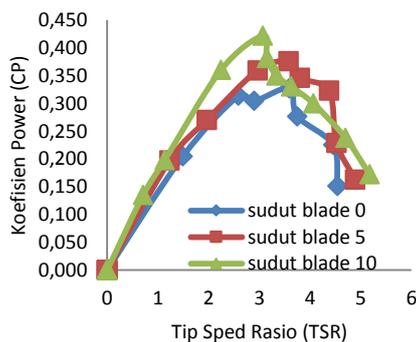
(Cp) 0,250, sedangkan untuk sudut blade 5<sup>0</sup> daya maksimum yang dihasilkan 6,96 watt pada nilai Koefisien Power (Cp) 0,274, sedangkan daya maksimum terbesar terjadi pada sudut blade 10<sup>0</sup> dengan kecepatan angin 6,08 m/s menghasilkan daya sebesar 7,183 watt pada nilai Koefisien Power (Cp) 0,283.

**Hubungan Tip Speed Rasio (TSR) terhadap Koefisien Daya (Cp)**

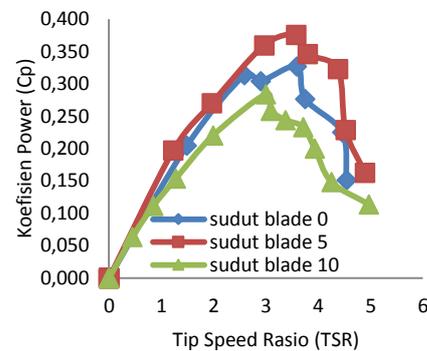
Energi kinetik yang dimiliki angin tidak seluruhnya dapat dikonversikan menjadi daya turbin angin. Dengan demikian terjadi kerugian daya dan perbandingan antara daya yang dihasilkan dengan daya yang dimiliki angin yang disebut koefisien daya (Cp). *Tip speed ratio (TSR)* adalah perbandingan antara kecepatan linier rotor turbin angin dengan kecepatan angin. Hubungan antara Koefisien Daya (CP) dan *tip speed ratio* dapat dilihat pada Gambar 12 sampai 14.



Gambar 12. Grafik hubungan TSR terhadap Cp untuk kecepatan angin 4,03 m/s



Gambar 13. Grafik hubungan TSR terhadap Cp untuk kecepatan angin 5,05 m/s



Gambar 14. Grafik hubungan TSR terhadap Cp untuk kecepatan angin 6,08 m/s

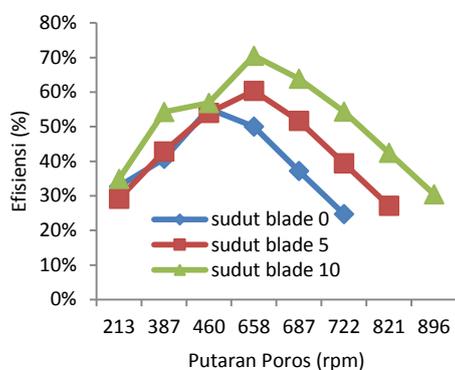
Gambar 12 sampai 14 menunjukkan nilai Koefisien Daya semakin meningkat pada penambahan sudut blade tetapi nilai tersebut menurun pada penambahan kecepatan angin. Untuk sudut blade 0<sup>0</sup> Koefisien Daya yang dihasilkan sebesar 0,547 pada kecepatan angin 4,03 m/s, sedangkan untuk sudut blade 5<sup>0</sup> sebesar 0,599 pada kecepatan angin 4,03 m/s, kemudian nilai Koefisien Daya berkurang seiring dengan bertambahnya kecepatan angin, tetapi akan naik bila penambahan besar sudut blade bertambah. Hal ini disebabkan karena daya potensial angin merupakan bentuk pangkat tiga dari kecepatan angin sehingga nilai Koefisien Daya pada kecepatan angin 4,03 m/s lebih besar dari nilai Koefisien Daya pada kecepatan angin 5,05 m/s dan 6,08 m/s. Nilai Koefisien Daya (Cp) maksimal terjadi pada sudut blade 10<sup>0</sup> dan kecepatan angin 4,03 m/s Koefisien Daya (Cp) yang dihasilkan mencapai 0,71.

**Hubungan putaran poros turbin angin terhadap efisiensi (η)**

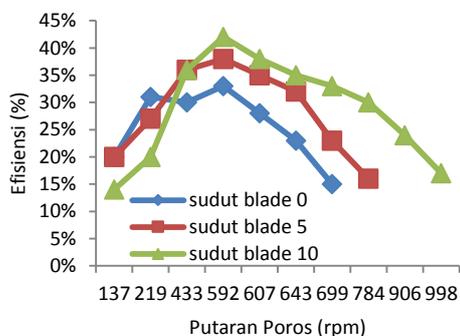
Efisiensi maksimum atau efisiensi teoritis, dari sebuah turbin angin adalah perbandingan antara daya maksimum yang dihasilkan terhadap daya input angin yang masuk turbin, secara ideal untuk turbin angin rotor tunggal hanya sekitar 59 % dari energi angin yang melewati turbin.

Pada Gambar 15 sampai 17 menunjukkan penambahan besar sudut pada blade mempengaruhi efisiensi maksimum atau efisiensi teoritis dari turbin angin contra rotating. Pada sudut blade 0<sup>0</sup> untuk kecepatan

angin 4,03 m/s efisiensi maksimum sebesar 55%, sedangkan untuk kecepatan angin 5,05 dan 6,08 m/s efisiensi yang dihasilkan masing-masing sebesar 33% dan 25%. Pada sudut blade 5° untuk kecepatan angin 4,03 m/s sebesar 60%, sedangkan untuk kecepatan angin 5,05 m/s dan 6,08 m/s efisiensi yang dihasilkan masing-masing sebesar 37% dan 27%. Pada sudut blade 10° untuk kecepatan angin 4,03 m/s efisiensi yang dihasilkan sebesar 70%, sedangkan untuk kecepatan angin 5,05 m/s dan 6,08 m/s efisiensi yang dihasilkan masing-masing sebesar 42% dan 28%.



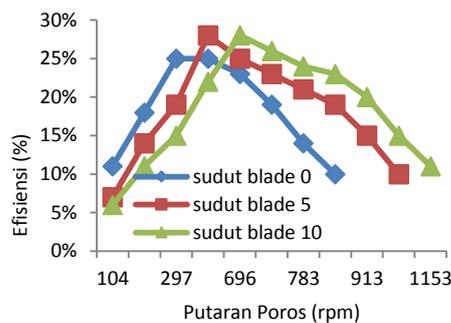
Gambar 15. Hubungan putaran poros terhadap efisiensi ( $\eta$ ) untuk kecepatan angin 4,03 m/s



Gambar 16. Hubungan putaran poros terhadap efisiensi ( $\eta$ ) untuk kecepatan angin 5,05 m/s

Dengan demikian pengaruh variasi sudut pada blade 0°, 5° dan 10° dengan berbagai kecepatan angin 4,03 m/s, 5,05 m/s, dan 6,08 m/s mendapatkan hasil Efisiensi ( $\eta$ ) terbesar dari turbin angin poros horizontal model *contra rotating* terjadi pada sudut blade 10° dengan kecepatan angin 4,03 m/s efisiensi maksimum

yang dihasilkan mencapai 70%. Nilai ini ternyata lebih tinggi dari nilai koefisien daya ideal untuk turbin rotor tunggal (59 %), artinya turbin angin dengan dual rotor mampu mengkonversi energi lebih banyak dari pada rotor tunggal.



Gambar 17. Hubungan putaran poros terhadap efisiensi ( $\eta$ ) untuk kecepatan angin 6,08 m/s

## KESIMPULAN DAN SARAN

### Kesimpulan

Dari data hasil pengujian dan data hasil perhitungan pengaruh variasi sudut blade terhadap daya mekanik dan efisiensi pada turbin angin poros horizontal model *contra rotating*, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Perubahan sudut pada blade turbin angin poros horizontal model *contra rotating* dengan posisi rotor blade saling berseberangan, daya mekanik yang dihasilkan turbin meningkat. Koefisien daya ( $C_p$ ) yang dihasilkan dari kerja turbin meningkat seiring dengan bertambahnya sudut blade, dengan  $C_{p_{maks}} = 0.701$  pada TSR 4.275 untuk sudut 10°. Kecepatan angin sangat berpengaruh pada Daya *output* atau daya mekanik, putaran rotor dan pembebanan pada rotor, Daya *output* terendah 7,396 watt pada kecepatan angin 4,03 m/s, Daya *output* tertinggi 25,397 watt pada kecepatan angin 6,08 m/s, Putaran rotor terendah tanpa pembebanan 727 rpm pada kecepatan angin 4,03 m/s dengan sudut blade 0°, putaran rotor tertinggi 1153 rpm pada kecepatan angin 6,08 m/s dengan sudut

blade $10^0$ .

- Kinerja atau performansi turbin angin dengan variasi sudut blade sangat mempengaruhi daya maksimum dan efisiensi maksimum yang dihasilkan turbin angin poros horizontal model *contra rotating* dimana penambahan besar sudut blade maka efisiensi yang dihasilkan bertambah, pada sudut blade  $0^0$  untuk kecepatan angin 4,03 m/s efisiensi maksimum sebesar 54,7%, pada sudut blade  $5^0$  sebesar 59,9%, dan pada sudut blade  $5^0$  efisiensi maksimum yang dihasilkan meningkat menjadi 70,1%, namun akan berkurang pada saat penambahan kecepatan angin dimana pada kecepatan angin 5,05 m/s dan 6,08 m/s efisiensi yang dihasilkan berkurang menjadi 32,5% dan 25 % pada sudut blade yang sama, ini menunjukkan bahwa turbin angin poros horizontal model *contra rotating* sangat baik beroperasi pada kecepatan angin rendah 4,03 m/s pada sudut blade  $10^0$ .

#### Saran

- Bagi ilmu pengetahuan dan teknologi dalam memanfaatkan energi terbarukan yang tersedia dengan mudah dan lebih ramah lingkungan, maka penulis menyarankan agar adanya pengembangan dan penelitian lebih lanjut pada turbin angin poros horizontal model *contra rotating*.
- Bagi peneliti berikutnya, pada pembuatan dan perancangan turbin angin poros horizontal model *contra rotating* agar merancang sedetail mungkin terutama memperhatikan mekanisme sistem transmisi hal ini berguna untuk mengurangi adanya kehilangan daya agar koefisien daya dan efisiensi yang dihasilkan lebih besar.
- Dengan melihat hasil dari penelitian ini maka diharapkan bagi peneliti berikutnya dapat merancang turbin angin model *contra rotating* dalam skala besar agar mampu menghasilkan energi yang besar dan dapat diterapkan pada masyarakat.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andrzej Piegat. 2005. A New Definition Of The Fuzzy Set. Faculty Of Computer Science And Information Systems Technical University Of Szczecin Ul. Zolnierska, Poland.
- [2] Betz A 1920 Zeittschrift für das gesamte turbinewessen 307-309.
- [3] Chantharasenawong C., Suwantragul B. and Ruangwiset A. (2008). Axial Momentum Theory for Turbines with Co-axial Counter Rotating Rotors, *Commemorative International Conference of the Occasion of the 4th Cycle Anniversary of KMUTT Sustainable Development to Save the Earth: Technologies and Strategies Vision 2050: (SDSE2008) 11-13 December 2008, Bangkok, Thailand*
- [4] Daryanto, Y. 2007. Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu. Balai PPTAGG: Yogyakarta.
- [5] Denny Putra, Pratama, (2007). Euro-fuzzy, system pengendalian sudut pitch, turbin angin Teknik Fisika-FTI-ITS.
- [6] Eggleston, D. M. & Stoddard, F. S., (1987). Wind Turbine Engineering Design, *Van Nostrand Reinhold, New York*.
- [7] Handayani, Sri Utami.2007. Tesis Karakteristik Daya dan Pola Aliran Turbin Angin Kecepatan Rendah dengan Winglet. UGM: Yogyakarta.
- [8] Hansen Morten, Larsen T., Sorensen P., (2005). Control Design for a Pitch – regulated, Variable Speed Wind Turbine, *Riso National Laboratory Denmark*.
- [9] Himran, Syukri, 2006. Energi Angin, CV Bintang Lamumpatue, Makassar.
- [10] <http://id.wikipedia.org.php.servo/motor&action> (02 Maret 2013, Pukul 18:46).
- [11] <http://permaculturewest.org.au/ipc6//shannon/index.html>,(09 Mei 2013, Pukul 19:58)
- [12] <http://www.kincirangin.info/pdf/kondisi-angin.pdf> (09 Mei 2013, Pukul 19: 47)
- [13] <http://www.scribd.com/doc/21369754/Teori-Momentum-Untuk-Turbin-Angin-Ideal> (14 Maret 2013, Pukul 16:37).

- [14] <https://netfiles.uiuc.edu/mragheb/www/NPRE%20475%20Wind%20Power%20Systems/Control%20of%20Wind%20Turbines.pdf>> (23 Mei 2013, Pukul 14:07).
- [15] Johnson, Gary L. 2006. Wind Energy System. Manhattan : KS, 2006.
- [16] Musyafa A., A.Harika, I.M.Y.Negara, I. Robndi, Pitch Angle Control of Variable Low Rated Speed Wind Turbine Using sFuzzy Logic Control, International Journal Of Engineering & Technology IJET-IJENS Vol:10 No:05, October 2010.
- [17] Sterzinger G., Svreck Matt, (2004). Wind Turbine Development: Location of Manufacturing Activity, *Renewable Energy Policy Project. Department of Energy US*.
- [18] Ushiyama, I., Shimota, T. and Miura, Y. (1996), An Experimental Study of the Two-staged Wind Turbines, *Renewable Energy*, 9, (1-4), pp. 909-912.
- [19] [www.mst.gadjamada.edu/dl/Kincir\\_Angin.pdf](http://www.mst.gadjamada.edu/dl/Kincir_Angin.pdf) (02 Maret 2013, pukul 18:29)