

Karakteristik Turbin Angin *Vertical Axis* Profil NACA 0018 dengan 3 *Blade* Berbantuan *Guide Vane*

Oleh:

SUKAMTO

NIM. 085524067

S1 Pend. Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Negeri Surabaya

ABSTRAK

Indonesia saat ini sedang mengalami krisis energi karena kebutuhan energi yang semakin besar. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil setidaknya memiliki ancaman serius, oleh karena itu harus ada energi alternative yaitu energi angin, energi air, energi surya dan lainnya. Karena Indonesia kapasitas angin yang besar maka dengan itu peneliti bermaksud untuk mengembangkan energi angin dengan pembuatan turbin angin Darrieus tipe-H. Turbin angin adalah alat dikembangkan untuk membantu dalam mengetahui daya yang akan di dapatkan. Pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah blade, pengaruh profil, naca 0018 dan guide vane terhadap besarnya daya dan efisiensi yang di dihasilkan. Penelitian ini menggunakan jenis penelitian eksperimen. Dimana langkah pertama adalah dengan membuat turbin angin *vertical axis* skala model dengan spesifikasi Blade 3 buah, tinggi span 300 mm, panjang chord 100 mm, diameter turbin 30 mm, kecepatan angin 2,86 dan 3,43 m/s, beban 0,2; 0,25; 0,3 Kg, sudut pitch Blade 15°, 20°, 25°, 30°, dan yang terakhir adalah pengambilan data. Data yang diambil kemudian diolah dengan mengkonversikan dari kecepatan angin, putaran turbin, dan beban yang akan terangkat oleh turbin menjadi daya dan efisiensi. Hasil penelitian ini menunjukkan kecepatan angin 2,86 m/s menghasilkan daya $6,18 \times 10^{-2}$ watt, dan efisiensi 15,82%, yaitu dari sudut pitch 30' berbantu guide vane mampu mengangkat beban sebesar 0,3 kg setinggi 0,1 m dengan waktu 4,76 detik, dan kecepatan angin 3,43 m/s menghasilkan daya $7,61 \times 10^{-2}$ watt, dan efisiensi 13,01%, yaitu dari sudut pitch 30' berbantu guide vane mampu mengangkat beban sebesar 0,3 kg setinggi 0,1 m dengan waktu 3,86 detik.

Kata kunci : Turbin angin, *Guide Vane*, profil naca, Kecepatan angin, Daya dan Efisiensi

ABSTRACT

Indonesia is currently experiencing an energy crisis due to the growing energy needs. Dependence on fossil fuels has at least a serious threat, therefore there should be alternative energy is wind energy, water energy, solar energy and others. Because Indonesia is a large wind capacity by the researchers intend to develop wind energy in the manufacture of wind turbine Darrieus-type H. Wind turbine is a tool developed to assist in knowing the power that will be found. In this study aims to determine the effect of the blade, the influence of the profile, NACA 0018 and the guide vane to the amount of power and efficiency in the produce. This research uses experimental research. Where the first step is to create a scale vertical axis wind turbine model with the specifications Blade 3 pieces, height 300 mm span, chord length of 100 mm, 30 mm diameter turbine, wind speed 2.86 and 3.43 m / s, load 0.2 ; 0.25; 0.3 Kg, Blade angle of pitch 15°, 20°, 25°, 30°, and the last is the retrieval of data. Data is retrieved and processed by converting it from the wind speed, spin turbines, and the load to be lifted by the turbine into power and efficiency. The results of this study indicate wind speed 2.86 m / s generating power $6,18 \times 10^{-2}$ watt, and the efficiency of 15.82%, the angle of pitch of 30° assisted guide vane capable of lifting loads of 0, 3 kg as high as 0.1 m with a time of 4.76 seconds, and wind speed 3.43 m / s generating power

$7,61 \times 10^{-2}$ watt, and the efficiency of 13.01%, ie from the angle of pitch 30° assisted guide vane capable of lifting loads of 0.3 kg as high as 0.1 m with a time of 3.86 seconds.

Key words: wind turbine, Guide Vane, NACA profile, Wind Speed, Power and Efficiency. (Alpen Steel: Renewable Energy, 2011).

A. PENDAHULUAN

Latar Belakang Masalah

Indonesia saat ini sedang mengalami krisis energi karena kebutuhan energi yang semakin besar. Adapun penyebab peningkatan kebutuhan energi adalah pertumbuhan industri, jumlah pemakaian alat elektronik rumah tangga, perkembangan teknologi dan komunikasi dan sebagainya. Ketergantungan terhadap bahan bakar fosil setidaknya memiliki tiga ancaman serius, yakni: (1) Menipisnya cadangan minyak bumi yang diketahui (bila tanpa temuan sumur minyak baru), (2) Kenaikan/ketidakstabilan harga akibat laju permintaan yang lebih besar dari produksi minyak, dan (3) Polusi gas rumah kaca (terutama CO₂) akibat bahan bakar fosil. Jika tidak ditemukan alternatif energi baru maka akan terjadi krisis energi.

Beberapa tempat di Indonesia sudah mengalami krisis energi yang parah, sehingga pemadaman listrik sering terjadi khususnya di luar pulau Jawa. Pada perkembangan energi kedepan harus ramah lingkungan. Melihat sumber daya alam terbarukan yang ada di Indonesia yang belum dimanfaatkan secara optimal seperti energi angin, energi air, energi surya dan lainnya. Indonesia memiliki kapasitas angin yang cukup, karena kecepatan angin di Indonesia rata-rata berkisar antara 3 – 6 m/s. Kecepatan yang lebih tinggi dapat diperoleh di daerah Nusa Tenggara yang berkisar antara 3,5 – 6,5 m/s. Sedangkan pulau-pulau seperti Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua hanya memiliki kecepatan angin sekitar 2,7 – 4,5 m/s. Sedangkan turbin pada umumnya merujuk pada desain dari Eropa dan Amerika yang merupakan benua penghasil angin terbesar dengan kecepatan sekitar 9 – 12 m/s.

Dari kondisi kecepatan angin tersebut bahwa antara kondisi kecepatan angin ini menunjukkan bahwa pemanfaatan energi angin sangat mungkin untuk dikembangkan. Hal ini juga mendorong penulis untuk merancang dan membuat turbin angin skala model yang mana rancangan ini dapat digunakan sebagai acuan pembuatan turbin angin untuk memanfaatkan sumber daya yang tersedia khususnya tenaga angin.

Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas penulis mengidentifikasi masalah sebagai berikut:

1. Data karakteristik NACA 0018 yang kurang.
2. Data base untuk sudu pengarah turbin angin Darrieus.
3. Energi fosil yang mulai menipis dan habis.
4. Masih kurangnya energi alternatif yang telah di ciptakan oleh manusia dan cenderung tidak mendapatkan hasil yang maksimal.

Batasan Masalah

Batasan masalah penelitian ini adalah :

1. Rancang bangun turbin angin skala model.
2. Spesifikasi turbin angin meliputi :
 - a. Blade turbin 3 buah
 - b. Tinggi blade (span) : 300 mm
 - c. Diameter Turbin : 300 mm
 - d. Panjang chord : 100 mm
 - e. NACA 0018.
3. Sudu pengarah.
4. Variasi kecepatan angin yang di gunakan 2,86 m/s, dan 3,43 m/s.
5. variasi sudut pitch blade yang di gunakan 15° , 20° , 25° , dan 30° .

Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang ada dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimanakah pengaruh kecepatan angin terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin dengan menggunakan sudu pengarah?
2. Bagaimanakah pengaruh profil 3 blade turbin angin dengan menggunakan sudu pengarah aliran udara terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin angin?

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian turbin angin vertikal axis tipe H-Darrieus berbantu guide vane adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh profil NACA 0018 terhadap besarnya daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin angin dengan menggunakan sudu pengarah.
2. Untuk mengetahui pengaruh jumlah 3 blade terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin angin dengan menggunakan sudu pengarah.

Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini yaitu:

1. Penelitian ini erat hubungannya dengan mata kuliah teknologi mekanik, mekanikal fluida, dan mesin konversi energy.
2. Peneliti memfokuskan penelitian turbin angin jenis *vertikal axis* yang mungkin akan di kembangkan dan di sempurnakan oleh pembaca.

B. KAJIAN TEORI

Pengertian Turbin Angin

Turbin angin merupakan mesin dengan sudu berputar yang mengonversikan energi kinetik angin menjadi energi mekanik. Jika energi mekanik digunakan langsung secara permesinan seperti pompa atau *grinding stones*, maka mesin (turbin) disebut *windmill*. Jika energi mekanik dikonversikan menjadi energi listrik, maka

mesin disebut turbin angin atau *wind energy converter* (WEC).

Ekstraksi potensi angin adalah sebuah upaya kuno dimulai dengan kapal-tenaga angin, pabrik gandum dan *grinding stone*. Kini turbin angin lebih banyak digunakan untuk menyuplai kebutuhan listrik masyarakat dengan menggunakan prinsip konversi energi dan memanfaatkan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional, contohnya pembangkit listrik tenaga air (PLTA), pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD), pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan sebagainya. Turbin angin masih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui, contohnya minyak bumi, batubara dan sebagainya sebagai bahan dasar untuk membangkitkan energi listrik.

Jenis – Jenis Turbin Angin

Turbin angin sebagai mesin konversi energi dapat digolongkan berdasarkan prinsip aerodinamik yang dimanfaatkan rotornya. Berdasarkan prinsip aerodinamik, turbin angin dibagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Jenis *drag*.
2. Jenis *lift*.

Pengelompokan turbin angin berdasarkan prinsip aerodinamik pada rotor yang dimaksud yaitu apakah rotor turbin angin mengekstrak energi angin memanfaatkan gaya *drag* dari aliran udara yang melalui sudu rotor atau rotor angin mengekstrak energi angin dengan memanfaatkan gaya *lift* yang dihasilkan aliran udara yang melalui profil aerodinamis sudu. Kedua prinsip aerodinamik yang dimanfaatkan turbin angin memiliki perbedaan putaran pada rotornya, dengan prinsip gaya *drag* memiliki putaran rotor relatif rendah

dibandingkan turbin angin yang rotornya menggunakan prinsip gaya *lift*.

Jika dilihat dari arah sumbu rotasi rotor, turbin angin dapat dibagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Turbin angin sumbu horizontal (TASH)
2. Turbin angin sumbu vertikal (TASV)

Sudu Pengarah

Melihat sudu rotor savonius pada gambar 2.7, bila dilihat dengan seksama bahwa bentuk sudu di bagian kiri dan kanan yang langsung dihadapkan dengan arah angin memiliki gaya hambat (*drag*) yang berbeda. Bila dilihat dari arah angin, bagian kiri memiliki bentuk sudu cembung sedangkan bagian kanan berbentuk cekung. Untuk itu diperlukan sudu pengarah, dengan tujuan mengarahkan aliran angin sehingga energi angin setelah menggunakan sudu pengarah dapat dimanfaatkan semaksimal mungkin seperti pada gambar 2.8.

Aerodynamic Turbin angin Darrieus

1. Prinsip kerja turbin angin Darrieus

Prinsip kerja dari darrieus rotor dapat disederhanakan seperti berikut. Pertama, asumsikan arah angin datang dari depan rotor baling-baling. Ketika pergerakan rotor lebih cepat menyamai dengan kecepatan angin yang tak terganggu yaitu ratio kecepatan blade dengan kecepatan angin bebas, $tsr > 3$, dari gambar dibawah mmmmenunjukkan garis vektor percepatan dari bentuk airfoul baling-baling pada posisi angular yang berbeda - beda.

Teori NACA

Airfoil dalam bahasa inggris adalah suatu bentuk sayap atau pisau (dari baling-baling, rotor atau turbin). NACA *airfoil* adalah bentuk sayap pesawat terbang yang dikembangkan oleh Komite Penasihat Nasional untuk Aeronautika (NACA). Bentuk *airfoil* dijelaskan menggunakan serangkaian digit mengikuti

kata NACA. Parameter dalam kode numerik dapat dimasukkan kedalam persamaan untuk mendapatkan penampang airfoil dan menghitung sifat-sifat dari *airfoil* itu sendiri. *leading edge* dalam puluhan prosentase dari *chord*. Dua digit terakhir menggambarkan prosentase ketebalan maksimum dari *chord*. Sebagai contoh, *airfoil* NACA 4415 asimetris memiliki maksimum *camber* 4% terletak 40% (0,4 chords) dari *leading edge* dengan ketebalan maksimum sebesar 15% dari *chord*. NACA 0018 simetris dengan 00 menunjukkan bahwa *airfoil* ini tidak memiliki *camber*. Angka 18 menunjukkan besarnya prosentase ketebalan dari panjang *chord*.

Kualitas unjuk kerja dari sudu-sudu yang airfoil ini biasanya dinyatakan dalam harga koefisien gaya drag (CD) dan gaya lift (CL). Gaya lift adalah gaya yang arahnya tegak lurus aliran yang mengenai suatu bentuk airfoil. Gaya drag adalah gaya yang sejajar dengan aliran fluida yang mengenai suatu bentuk airfoil. Besarnya masing-masing gaya tersebut adalah

$$L = C_L \frac{1}{2} \rho \cdot V \cdot A \dots\dots (2.4)$$

$$D = C_D \frac{1}{2} \rho \cdot V \cdot A \dots\dots(2.5)$$

(<http://jurnal.ee.unila.ac.id/>)

Dimana

L = gaya lift (gaya angkat) (N)

D = gaya drag (gaya seret)(N)

ρ = densitas udara yang mengalir (Kg/m^3)

V = Kecepatan angin (m/s)

A = luasan sudu (m^2)

Efisiensi Turbin Angin

Efisiensi kincir angin baling-baling secara normal ditunjukkan dalam kurva koefisien power (Cp). Koefisien daya dari darrieus yang dibatasi Betz limits 59% seperti HAWTs.

Kurva koefisien power beberapa baling-baling umum tentu saja juga dibatasi oleh Betz limit 59% seperti yang ditunjukkan pada gambar diatas. Baling-baling yang menggunakan gaya seret

(darg), seperti Savonius dan American multi-blade mempunyai ratio kecepatan yang rendah dan koefisien power dari baling - baling yang menggunakan gaya angkat (lift) yaitu HAWT dan Darrieus. Kurva yang datar dari rotor baling-baling menunjukkan bahwa rotor bisa menjaga efisiensi tinggi di suatu jangka panjang dari putaran rotor selagi kurva tajam dari rotor darrieus mengalami penurunan efisiensi yang drastis ketika putaran rotor bergerak dari jarak optimum yang sempit. Rotor Darrieus dengan koefisien power rendah pada interval tsr rendah mengindikasikan kemampuan self-starting lemah.

Daya dan kecepatan

Gaya tangensial pada sudu ditimbulkan oleh adanya komponen daya angkat pada bidang putar. Gaya tangensial pada rotor ini mempunyai jarak (lengan) tertentu pada sumbu putar (poros) dan hasil kali kedua besaran ini seringkali disebut dengan torsi (T). Jika kemudian rotor ini berputar dengan kecepatan tertentu pula (w), maka daya (P) yang timbul dapat dihitung sebesar:

$$P = T \cdot w \quad (2.6)$$

(<http://jurnal.ee.unila.ac.id/>)

Dimana :

T = Torsi (Nm)

w = Kecepatan angular (rpm)

P = Daya (Watt)

Atau untuk menghitung daya yang dihasilkan yaitu:

$$P = \frac{m \cdot g \cdot h}{t} \quad (2.7)$$

dimana:

P = daya (watt)

m = massa beban (Kg)

g = Percepatan gravitasi (m/det^2)

h = tinggi (m)

t = waktu (det)

Seperti diketahui ternyata energi kinetik yang dimiliki angin tidak seluruhnya dapat dikonversikan menjadi gaya mekanik (dengan adanya komponen gaya seret yang mengurangi komponen gaya angkat). Dengan demikian terjadi

kerugian daya dan perbandingan antara daya yang dihasilkan dan daya yang dimiliki angin disebut dengan koefisien daya (C_p) yang dapat ditulis:

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^2} \quad (2.8)$$

(<http://jurnal.ee.unila.ac.id/>)

Dimana :

C_p = Koefisien daya

P = Daya (N/m^2)

ρ = densitas udara yang mengalir (Kg/m^3)

$A = L \times D$, dimana L adalah panjang blade, D adalah diameter turbin (m^2)

V = Kecepatan angin (m/s)

Tip Speed Ratio (TSR) adalah perbandingan antara kecepatan *blade* turbin dengan kecepatan angin, yaitu (Fiedler Tullis, 2009):

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R}{V} \quad (2.9)$$

Dimana ω adalah kecepatan angular daripada turbin (rpm), dan r adalah jari-jari dari turbin (m).

Efisiensi turbin angin adalah perbandingan antara daya yang diserap turbin angin terhadap daya angin yang tersedia. Untuk menghitung efisiensi dari turbin angin adalah (M. Arsad, F. Hartono 2009)

$$\eta = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^2} \times 100\% \quad (2.10)$$

C. METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

1. Tempat Penelitian

Proses penelitian karakteristik turbin angin vertical axis dilakukan di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya.

2. Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan setelah pelaksanaan seminar proposal skripsi.

Definisi Operasional Variable

1. Variabel bebas (variabel prediktor) dapat disebut penyebab. Variabel bebas pada penelitian ini adalah *Guide vane*, kecepatan angin, dan sudut *pitch*.

2. Variabel respon pada penelitian ini adalah daya dan efisiensi yang dihasilkan turbin angin *vertikal axis* dengan bantuan *guide vane*.
3. Variabel kontrol dalam penelitian ini antara lain Alat ukur yang digunakan dalam pengukuran variasi kecepatan angin adalah *anemometer*. Jumlah *blade* 3 buah. Jumlah *guide vane* 12. Variasi beban 200 gr, 250 gr dan 300 gr.

D. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Data Hasil Perhitungan

1. Contoh Perhitungan

1.1. Perhitungan P_{out}

$$P = \frac{m \cdot g \cdot h}{t}$$

$$P = \frac{0,3 \cdot 9,8 \cdot 0,1}{11,37}$$

$$= 0,0259 \text{ N.m/s} = \text{watt}$$

1.2. Perhitungan P_{Angin}

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot v^2 \cdot A$$

$$P = 0,5 \cdot 1,06 \cdot 2,86^2 \cdot 0,09$$

$$= 0,3903 \text{ watt}$$

1.3. Perhitungan CP

$$CP = \frac{P_{out}}{P_{turbin}}$$

$$CP = \frac{0,0259}{0,3903}$$

$$= 0,0662$$

$$\text{Efisiensi} = CP \times 100$$

$$= 0,0662 \times 100$$

$$= 6,62 \%$$

1.4. Perhitungan TSR λ

$$\omega = \frac{3,25}{5} 60$$

$$\omega = \frac{3,25}{11,37} 60$$

$$= 17,15$$

$$\lambda = \frac{\omega \cdot D}{v}$$

$$\lambda = \frac{17,15 \cdot 0,3}{2,86}$$

$$= 0,899$$

P_{out} pada kec angin 2,86 m/s, tampak bahwa peningkatan harga distribusi P_{out} maksimum terbesar terletak pada sudut pitch

30° atau pada letak P_{out} maksimum yaitu sebesar $6,2 \times 10^{-2} \text{ watt}$. Hal ini menandakan adanya perbedaan sudut pitch dapat mempengaruhi putaran turbin sehingga waktu tempuh beban terangkat lebih cepat, dan daya yang di hasilkan semakin besar pula. Itu terlihat dari sudut pitch 15° nilai $P_{out} = 2,6 \times 10^{-2} \text{ watt}$ dan mengalami kenaikan yang signifikan sampai sudut pitch 30° yang disebabkan oleh putaran turbin yang bertambah cepat.

Pada kec angin 3,43m/s, tampak bahwa peningkatan harga distribusi P_{out} maksimum terbesar terletak pada sudut pitch 30° atau pada letak tebal maksimum yaitu sebesar $7,6 \times 10^{-2} \text{ watt}$. Hal ini menandakan adanya perbedaan sudut pitch dapat mempengaruhi putaran turbin sehingga waktu tempuh beban terangkat lebih cepat, dan daya yang di hasilkan semakin besar pula. Itu terlihat dari sudut pitch 15° nilai $P_{out} = 2,9 \times 10^{-2} \text{ watt}$ dan mengalami kenaikan yang signifikan sampai sudut pitch 30° yang disebabkan oleh putaran turbin yang bertambah cepat.

Dari keterangan diatas dapat dikatakan bahwa pada kec angin 3,43 m/s, memiliki P_{out} yang lebih besar dibandingkan dengan kec angin 2,86 m/s, yang ditandai dengan besarnya peningkatan nilai P_{out} maksimum pada sudut pitch 30° yang lebih besar yaitu $P_{out} = 7,6 \times 10^{-2} \text{ watt}$ pada sudut pitch 30° , dan $P_{out} = 6,2 \times 10^{-2} \text{ watt}$. Dengan adanya peningkatan kec angin akan meningkatkan harga P_{out} maksimum.

Dari gambar 4.6 grafik distribusi C_p pada kec angin 2,86 m/s, tampak bahwa peningkatan harga distribusi C_p maksimum terbesar terletak pada sudut pitch 30° atau pada letak C_p maksimum yaitu sebesar $15,8 \times 10^{-2}$. Hal ini menandakan adanya perbedaan sudut pitch dapat mempengaruhi putaran turbin sehingga waktu tempuh beban terangkat lebih cepat, dan koefisien power yang di hasilkan semakin besar pula. Itu terlihat dari sudut pitch 15° nilai $C_p = 6,6 \times 10^{-2}$ dan mengalami kenaikan yang signifikan sampai sudut pitch 30° yang

disebabkan oleh putaran turbin yang bertambah cepat.

Pada kec angin 3,43m/s, tampak bahwa peningkatan harga distribusi C_p maksimum terbesar terletak pada sudut pitch 30° atau pada letak tebal maksimum yaitu sebesar $13,5 \times 10^{-2}$. Hal ini menandakan adanya perbedaan sudut pitch dapat mempengaruhi putaran turbin sehingga waktu tempuh beban terangkat lebih cepat, dan koefisien power yang di hasilkan semakin besar pula. Itu terlihat dari sudut pitch 15° nilai $C_p = 5,1 \times 10^{-2}$ dan mengalami kenaikan yang signifikan sampai sudut pitch 30° yang disebabkan oleh putaran turbin yang bertambah cepat.

Dari keterangan diatas dapat dikatakan bahwa pada kec angin 2,86 m/s, memiliki C_p yang lebih besar dibandingkan dengan kec angin 3,43 m/s, yang ditandai dengan besarnya peningkatan nilai C_p maksimum pada sudut pitch 30° yang lebih besar yaitu $C_p = 15,8 \times 10^{-2}$ pada sudut pitch 30° , dan $C_p = 13,5 \times 10^{-2}$. Dengan kec angin yang rendah akan di peroleh harga C_p maksimum

E. SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

1. Daya tertinggi yang dihasilkan turbin angin *vertical axis* Darrieus tipe-H dengan jumlah tiga *blade* berbantu *guide vane* adalah $6,1 \times 10^{-2}$ Watt dengan kecepatan angin 2,86 m/s, dan $7,6 \times 10^{-2}$ Watt dengan kecepatan angin 3,43 m/s, mengangkat beban 300 gram dan sudut *pitch* 30 derajat.
2. *Coefficient of Power* (C_p) tertinggi adalah 0,15824 yang terjadi pada sudut *pitch* 30 derajat, dengan mengangkat beban 300 gram dan kecepatan angin 2,86 m/s, sehingga efisiensi tertinggi yang dihasilkan dari turbin angin *vertical axis* Darrieus tipe-H dengan jumlah tiga *blade* berbantu *guide vane* adalah 15,82 %.

Saran

Untuk menghasilkan daya dan efisiensi yang besar lebih baik

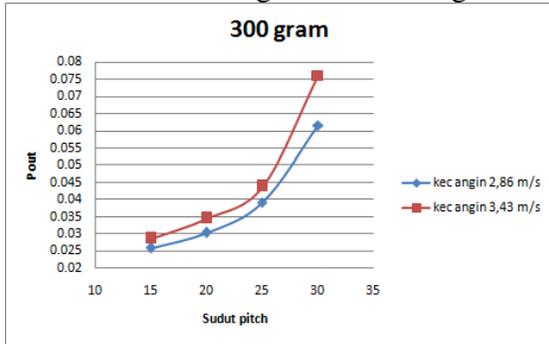
menggunakan kipas angin yang kecepatan anginnya tinggi agar dapat memperoleh hasil yang maksimal. Selain itu, agar di lakukan penelitian lebih lanjut bagi pembaca yang berminat untuk menggunakan variasi pada jumlah blade, menggunakan jenis airfoil dengan tipe yang berbeda dan mencari jumlah *guide vane* yang sesuai untuk turbin angin tipe darrieus, sebab belum ada penelitian turbin angin tipe darieus yang menggunakan *guide vane*. Data yang ada pada skripsi ini bisa di pakai sebagai acuan untuk penelitian turbin angin tipe darieus yang menggunakan *guide vane*.

DAFTAR PUSTAKA

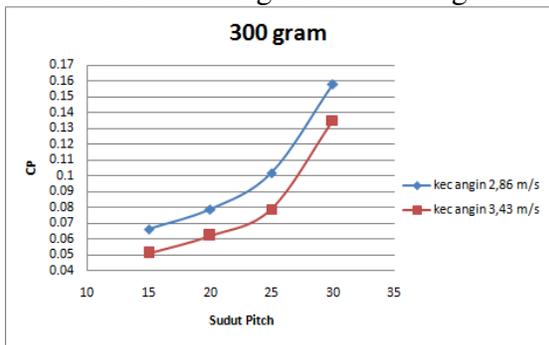
- Anonim. (2011). *Analisis statistika*. Diakses 23 Maret 2012 dari <http://sambasalim.com/statistika/analisis-data-statistika.html>.
- Anonim. (2011). *Gaya-gaya pada blade*. Diakses 17 Maret 2012 dari [http://www.gunadarma.ac.id/library/articles/graduate/industrial-technology/2009/Artikel ITS-Undergraduate-5125-4203109009-bab2.pdf](http://www.gunadarma.ac.id/library/articles/graduate/industrial-technology/2009/Artikel_ITS-Undergraduate-5125-4203109009-bab2.pdf).
- Anonim. (2011). *Naca 0018*. Diakses 23 Maret 2012 dari <http://Airfoilinvestigation Database-showing naca-0018.htm>.
- Fiedler, Andrzej.& Tullis, Stephen. (2009). *Blade Offset and Pitch Effects on a High Solidity Vertical Axis Wind Turbine*. Canada : McMaster.
- Hansen, Martin O.L. (2008). *Aerodynamics of Wind Turbines*. USA : TJ International.
- Herlamba Indra (2008). *Mesi Konversi Energi*. Surabaya : UNESA Pers
- Manwell, J.F & McGowan J.G (2009). *Win Energy Explained*. USA : Wiley
- Sugiyono. (2007). *Statistika Untuk Penelitian*. Bandung : CV.Afabeta.
- www.winturbine-analysis.com

Lampiran I

Grafik P out dengan massa 300 gram



Grafik P out dengan massa 300 gram



Lampiran II

Keterangan	Satuan	Nilai											
Beban	Kg	0.2	0.25	0.3	0.2	0.25	0.3	0.2	0.25	0.3	0.2	0.25	0.3
Gravitasi	m/det ²	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
Kec Angin I	m/s	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86	2.86
Tinggi	m	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
S. Serang	derajat	15	15	15	20	20	20	25	25	25	30	30	30
Waktu	detik	9.28	10.77	11.37	8.22	9.25	9.66	6.08	6.64	7.51	3.89	4.46	4.76
RH	%	46.3	45.8	44.6	50.3	49.4	50.9	50.3	49.4	50.9	43.6	44.9	44.6
Suhu	°C	33.1	33.4	33.3	32.7	32.9	33	32.7	32.9	33	33.4	33.5	33.4
v		0.943	0.946	0.943	0.934	0.933	0.937	0.934	0.933	0.937	0.941	0.944	0.943
ρ Udara	Kg/cm ³	1.06	1.0571	1.0604	1.0482	1.0493	1.0449	1.0482	1.0493	1.0449	1.0627	1.05932	1.06045
Panjang Airfoil L	m	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Diameter Turbin D	m	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Span Area (LxZ)	m ²	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Kec. Angular ω	rpm	21.01	18.106	17.15	23.733	21.081	20.186	32.072	29.367	25.965	50.1285	43.722	40.9664
P out	Watt	0.021	0.0227	0.0219	0.0318	0.0265	0.0304	0.0322	0.0369	0.0391	0.05039	0.05493	0.06176
P Angin	Watt	0.39	0.3891	0.3903	0.3858	0.3862	0.3846	0.3858	0.3862	0.3846	0.39116	0.38992	0.39033
tip Speed Ratio λ		1.102	0.9496	0.8995	1.2442	1.1057	1.0587	1.6821	1.5403	1.3618	2.62912	2.29311	2.14859
CP		0.054	0.0585	0.0662	0.0618	0.0686	0.0791	0.0836	0.0955	0.1018	0.12881	0.14088	0.15824
Efisiensi	%	5.411	5.8465	6.6245	6.18	6.8276	7.9128	8.3532	9.5331	10.178	12.8811	14.0883	15.8237

Keterangan	Satuan	Nilai											
Beban	Kg	0.2	0.25	0.3	0.2	0.25	0.3	0.2	0.25	0.3	0.2	0.25	0.3
Gravitasi	m/det ²	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8	9.8
Kec Angin I	m/s	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43	3.43
Tinggi	m	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
S. Serang	derajat	15	15	15	20	20	20	25	25	25	30	30	30
Waktu	detik	8.62	9.9	10.28	6.3	7.46	8.3	5.57	6.32	6.7	2.72	3.36	3.86
RH	%	46.3	48	45.3	50	50	50	50	50	50	44	45	42.7
Suhu	°C	33.2	33.3	33.2	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	32.6	33.4	33.5	33.7
v		0.943	0.951	0.945	0.933	0.942	0.953	0.953	0.953	0.942	0.953	0.942	0.945
ρ Udara	Kg/cm ³	1.06	1.0515	1.0582	1.0493	1.0616	1.0493	1.0493	1.0616	1.0493	1.06157	1.0582	1.06383
Panjang Airfoil L	m	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Diameter Turbin D	m	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Span Area (LxZ)	m ²	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09	0.09
Kec. Angular ω	rpm	22.62	19.697	18.969	30.952	26.139	22.941	35.009	30.854	29.104	71.6912	58.0357	50.5181
P out	Watt	0.023	0.0247	0.0286	0.0311	0.0328	0.0346	0.0352	0.0388	0.0439	0.07206	0.07292	0.07617
P Angin	Watt	0.561	0.5567	0.5602	0.5555	0.562	0.5555	0.5555	0.562	0.5555	0.56202	0.56023	0.56321
tip Speed Ratio λ		0.989	0.8614	0.8295	1.3536	1.1431	1.0033	1.531	1.3493	1.2728	3.13518	2.538	2.20925
CP		0.041	0.0445	0.051	0.056	0.0584	0.0623	0.0633	0.069	0.079	0.12821	0.13015	0.13523
Efisiensi	%	4.05	4.4454	5.1049	5.6093	5.8436	6.2302	6.3342	6.8976	7.8899	12.8215	13.0154	13.5234

Lampiran III

