

UJI PERFORMANSI TURBIN ANGIN TIPE DARRIEUS-H DENGAN PROFIL SUDU NACA 0018 DAN ANALISA PERBANDINGAN EFISIENSI MENGGUNAKAN VARIASI JUMLAH SUDU DAN SUDUT PITCH

Libert Sijabat¹, Farel H. Napitupulu², M. Sabri³, Zulkifli Lubis⁴, Andianto Pintoro⁵, Himsar A.⁶

Email:libert.sijabat@yahoo.com

^{1,2,3,4,5,6} Departemen Teknik Mesin, Universitas Sumatera Utara, Jl. Almamater, Kampus USU Medan 20155 Medan Indonesia

ABSTRAK

Turbin angin merupakan mesin dengan sudu berputar yang mengonversikan energi kinetik angin menjadi energi mekanik. Turbin angin Darrieus H merupakan salah satu jenis turbin angin sumbu vertikal yang memanfaatkan lift force saat mengekstrak energi kinetik angin, sehingga semakin besar lift force sudu rotor turbin maka efisiensi sudu semakin besar. Objek penelitian ini adalah turbin angin Darrieus H dengan variasi jumlah sudu dan sudut pitch. Adapun profil sudu yaitu sudu airfoil NACA 0018 dengan jumlah sudu 3, 4 dan 5. Diameter dan tinggi rotor turbin ini adalah 1,5m dan 1,5 m Pada pengujian ini, variasi sudut pitch adalah 0°, 2°, 4°, 6°, 8°, 10°, dan 12°. Hasil pengujian dengan menggunakan jumlah sudu 3 lebih efektif dari jumlah sudu 4 dan 5. Jumlah sudu 3, 4 dan 5 masing – masing memiliki efisiensi pada tip speed ratio yaitu

$\eta = 16,56 \%$, $\lambda = 0,79$; $\eta = 16,18 \%$, $\lambda = 0,77$; dan $\eta = 13,03 \%$, $\lambda = 0,69$. Dari variasi sudut pitch sudu diperoleh bahwa turbin angin dengan jumlah sudu 3 dan 4 buah lebih efektif dalam mengekstrak energi angin pada sudut pitch $\phi = 6^\circ$, sedangkan turbin angin jumlah sudu 5 buah lebih efektif dalam mengekstrak energi angin pada sudut pitch $\phi = 8^\circ$. Daya dan putaran poros turbin untuk masing – masing jumlah sudu dan sudut pitch telah diperhitungkan dalam koefisien daya dan tip speed ratio.

Keywords: turbin angin Darrieus H, sudu, kecepatan angin, tip speed ratio, efisiensi

1. PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar fosil selain mengurangi cadangan dalam bumi, juga berdampak pada terjadinya pemanasan global. Karena itu, diperlukan suatu tindakan untuk mencari pengganti sumber bahan bakar fosil. Di Indonesia, sebenarnya cukup banyak sumber-sumber energi alternatif yang tersedia. Berdasarkan hasil pengkajian, potensi pemanfaatan energi alternatif di Indonesia sangat besar. Untuk potensi *solar cell*, letak Indonesia yang berada di garis khatulistiwa sudah tidak diragukan lagi dengan potensi sebesar 4 W/m². Sumber energi alternatif lainnya-pun memiliki potensi yang besar seperti *geothermal* dengan total potensi sebesar 19.658 MW, *hydro* memiliki total potensi 75.000 MW. Energi angin, Indonesia memiliki potensi sebesar 9.286 MW. [1]

Energi angin sebagai salah satu sumber energi alternatif terbarukan merupakan energi yang mempunyai potensi cukup besar (9,29 GW) namun dalam penggunaan sekarang ini masih sangat minim yaitu sekitar 800 kW atau 0,008% dari potensi sesungguhnya. Salah satu penyebabnya minimnya pemanfaatan energi angin adalah kecepatan angin rata-rata di wilayah Indonesia, yang berkisar hanya antara 2 hingga 5 m/s, tergolong rendah sehingga secara teori sulit untuk menghasilkan energi listrik dalam skala besar. Namun demikian, dengan potensi angin di Indonesia yang hampir tersedia sepanjang tahun, pengembangan sistem pembangkit listrik energi angin untuk skala kecil sangat mungkin untuk diterapkan. Energi angin merupakan sumber energi yang ramah lingkungan. Pembangkitan energi angin tersebut tidak menimbulkan emisi karbon dioksida sehingga ramah lingkungan. Hal inilah yang mendorong penulis untuk merancang dan membuat turbin angin skala kecil yang mana perancangan ini dapat digunakan sebagai acuan pembuatan turbin angin untuk memanfaatkan sumber daya yang tersedia khususnya tenaga angin.

Konstruksi turbin angin yang akan dikembangkan oleh penulis adalah turbin angin sumbu vertikal Darrieus tipe-H. Keuntungan dari turbin angin ini yaitu: konstruksi turbin yang sederhana dan turbin ini menangkap angin dari segala arah yang tegak lurus terhadap sumbu turbin angin tersebut, sehingga turbin angin ini dapat bekerja pada kondisi angin yang turbulen. Turbin angin Darrieus

menggunakan sudu dengan bentuk yang menyerupai sayap pesawat, maka turbin angin ini memanfaatkan gaya angkat yang dihasilkan oleh angin. Karena turbin angin ini memanfaatkan gaya angkat, maka kecepatan putaran turbin angin ini bisa lebih besar dari kecepatan angin di sekitar, sehingga efisiensi untuk mengekstrak energi angin menjadi lebih besar. Konstruksi turbin angin yang dikembangkan penulis dapat berputar pada kecepatan angin 3,85 m/s. Nantinya hasil rancangan yang dikembangkan oleh penulis diharapkan dapat digunakan di daerah Kamanggih, Nusa Tenggara Timur. Dimana di daerah Kamanggih kecepatan angin rata-rata sebesar 3,9 m/s. [2]

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Turbin angin Darrieus tipe-H dengan spesifikasi
 - Diameter rotor : 1,5 m
 - Tinggi rotor : 1,5 m
 - Profil sudu : NACA 0018
2. Variasi dalam pengujian adalah:
 - Jumlah sudu : 3, 4, 5
 - Sudut *pitch* (Φ) : 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12
3. Pengujian dilakukan dengan menggunakan angin buatan yang dihembuskan oleh kipas agar kecepatan angin yang didapatkan konstan sebesar 3,85 m/s.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Energi merupakan suatu kekuatan yang dimiliki oleh suatu zat sehingga zat tersebut mempunyai pengaruh pada keadaan sekitarnya. Energi angin adalah energi yang terkandung pada massa udara yang bergerak. Energi angin berasal dari energi matahari. Pemanasan bumi oleh sinar matahari menyebabkan perbedaan massa jenis (ρ) udara. Perbedaan massa jenis ini menyebabkan perbedaan tekanan pada udara sehingga akan terjadi aliran fluida dan menghasilkan angin.

TURBIN ANGIN

Turbin angin adalah sebuah alat yang memanfaatkan energi kinetik angin dan mengubahnya kedalam bentuk energi gerak putaran rotor dan poros generator untuk menghasilkan energi listrik.

Berdasarkan arah sumbu gerakannya, turbin angin terbagi menjadi 2, yaitu:

1. Turbin angin sumbu horizontal

Turbin angin sumbu horizontal mempunyai sumbu putar yang terletak sejajar dengan permukaan tanah dan sumbu putar rotor yang searah dengan arah angin.

2. Turbin angin sumbu vertikal

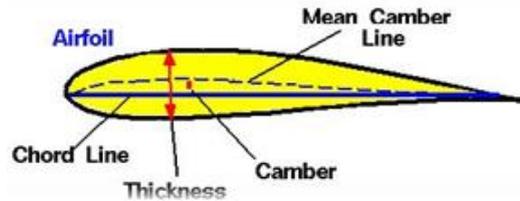
Turbin angin poros vertikal memiliki ciri utama yaitu keberadaan poros tegak lurus terhadap arah aliran angin atau tegak lurus terhadap permukaan tanah.

TURBIN ANGIN DARRIEUS H

Turbin tipe H adalah variasi dari tipe Darrieus. Keduanya sama-sama menggunakan prinsip gaya angkat untuk menggerakkan sudu. Tipe H jauh lebih simpel dari tipe Darrieus. Bila tipe Darrieus menggunakan bilah yang ditekuk, maka tipe H menggunakan bilah lurus. Bilah ini dihubungkan ke poros menggunakan batang atau lengan, kemudian poros langsung dihubungkan dengan generator.

AIRFOIL

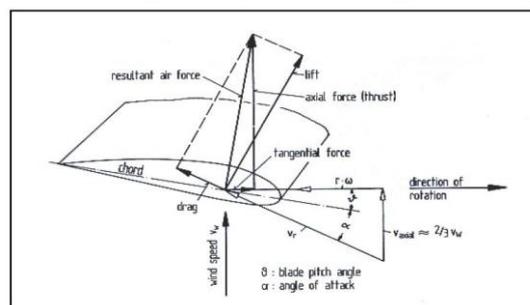
Airfoil NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) adalah salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya dan dengan bantuan penyelesaian matematis sangat memungkinkan untuk memprediksi berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi *airfoil*. Geometri *airfoil* memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik aerodinamika dengan parameter penting berupa CL, dan kemudian akan terkait dengan lift. [3]



Gambar 2.1 NACA airfoil geometry

Gaya Aerodinamik Pada Turbin Angin

Pada sudu turbin angin akan terjadi tegangan geser pada permukaannya ketika kontak dengan udara. Distribusi tegangan geser pada permukaan sudu ini dipresentasi dengan adanya gaya tekan (*drag*) yang arahnya sejajar dengan arah aliran fluida dan gaya angkat (*lift*) yang arahnya tegak lurus dari arah aliran fluida. Kedua gaya ini menyebabkan sudu dapat berputar. Kedua gaya ini dipengaruhi oleh bentuk sudu, luas permukaan bidang sentuh, sudut serang, dan kecepatan angin.[4]



Gambar 2.2 Penampang Sudu

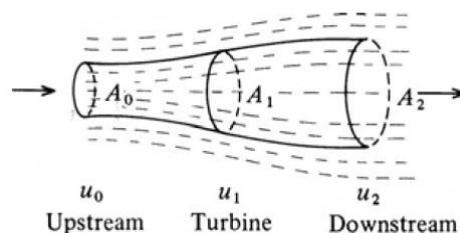
Power Coefficient dan Tip Speed Ratio

Power Coefficient (C_p) adalah perbandingan antara daya yang dihasilkan secara mekanik pada sudu akibat gaya angin terhadap daya yang dihasilkan oleh gaya lift pada aliran udara.[5] Secara matematis, hubungan ini dapat dituliskan:

$$C_p = \frac{P}{P_0} = \frac{1}{2} \left[\left[1 - \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2 \right] \left[1 + \frac{v_2}{v_1} \right] \right]$$

Dimana:

- C_p = koefisien daya
- P = daya mekanik yang dihasilkan rotor (watt)
- P_0 = daya mekanik total yang terkandung dalam angin yang melalui sudu (watt)
- ρ = massa jenis udara (kg/m^3)
- A = luas penampang bidang putar sudu (m^2)
- v_1 = kecepatan aliran udara sebelum melewati sudu rotor (m/s)
- v_2 = kecepatan aliran udara setelah melewati sudu rotor (m/s)



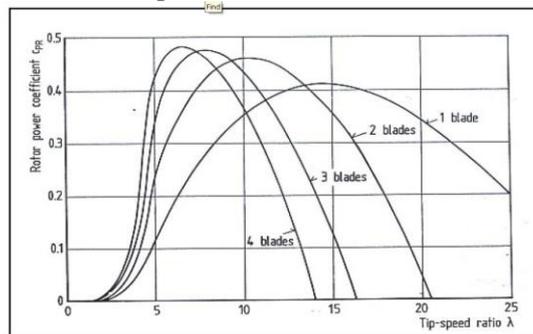
Gambar 2.3 Pemodelan Betz' untuk aliran angin

Power coefficient bergantung pada rasio antara komponen energi gerak putar sudu dan gerak rotasi pada aliran udara. Rasio ini didefinisikan sebagai kecepatan tangensial sudu rotor terhadap

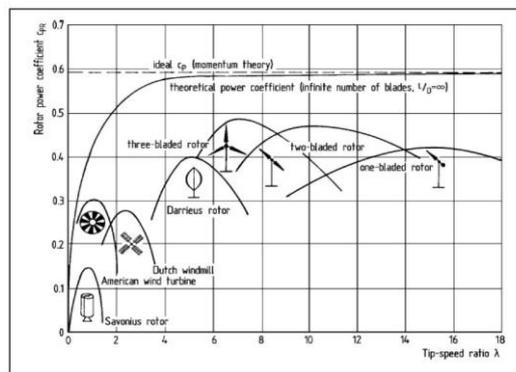
kecepatan angin dan didefinisikan sebagai *tip speed ratio* (λ), yang secara umum direkomendasikan pada kecepatan tangensial dari ujung sudu.[4]

$$\text{Tip speed ratio, } \lambda = \frac{\pi dn}{60v}$$

dimana d adalah diameter sudu, n adalah putaran rotor atau sudu, dan v adalah kecepatan angin.



Gambar 2.4 Kurva hubungan *Tip speed ratio* (λ) terhadap *rotor power coefficient* (C_{PR}) pada berbagai jumlah sudu



Gambar 2.5 Kurva hubungan *Tip-speed ratio* terhadap *Rotor power coefficient* (C_{PR}) pada berbagai jenis turbin angin

3. METODOLOGI PENELITIAN

Uji performansi turbin angin Darrieus H dengan profil sudu NACA 0018 dilakukan di lantai 4 gedung Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara. Pengujian dilakukan dengan menggunakan kipas agar didapatkan kecepatan angin konstan. Adapun persiapan-persiapan yang dilakukan sebelum pengujian turbin angin yaitu:

- Memasang rotor turbin dengan variasi 3, 4, dan 5 sudu. Tiap variasi sudu divariasikan sudut *pitch* (Φ) $0^0, 2^0, 4^0, 6^0, 8^0, 10^0$, dan 12^0 .
- Melakukan inspeksi pada setiap objek penelitian dan alat pengujian, apakah alat dapat berfungsi sesuai dengan fungsinya.
- Menjalankan *fan* untuk menentukan titik dimana kecepatan angin sesuai dengan data kecepatan angin untuk pengujian.
- Menempatkan turbin angin pada titik dimana kecepatan angin sesuai dengan rencana dan diposisikan sejajar dengan *fan*.
- Melihat kondisi lingkungan apakah kondisi pengujian dapat dilakukan untuk mendapatkan hasil yang optimal.

Setelah kelima poin tahap persiapan di atas terpenuhi, pengujian dan pengambilan data dapat dilakukan. Tahap – tahap pengujian dan pengambilan data meliputi:

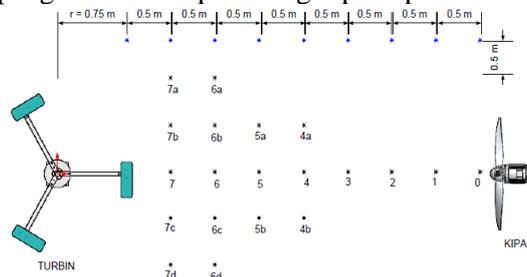
1. Turbin angin dengan tiga sudu yang siap uji ditempatkan pada titik angin yang telah ditentukan sebelumnya.
2. Disiapkan *fan* ditempat dudukannya (*base fan*) dan dipastikan aman.
3. *Fan* dijalankan untuk menghasilkan angin dengan kecepatan tertentu sesuai kecepatan angin pengujian.

4. Setelah putaran rotor turbin kelihatan stabil, pengambilan data dapat dilakukan yaitu membaca angka nominal yang tertera pada alat ukur. Pada pengujian pertama dilakukan tanpa menggunakan beban. Adapun data yang diambil meliputi tegangan yang dihasilkan generator, putaran poros rotor turbin/putaran poros generator. Setelah pengambilan data dilakukan semua alat di-off-kan untuk menghindari hal – hal tidak diinginkan, seperti motor listrik terbakar karena terlalu panas.
5. Kemudian pada kondisi turbin yang sama, pengujian dilakukan dengan beban. Beban yang digunakan adalah beban lampu sebesar 3, 5, dan 10 watt. Pada saat pengujian dengan beban dicatat arus listrik dan tegangan listrik yang terbaca pada alat ukur.
6. Pada saat pencatatan pada setiap alat ukur, dilakukan pembacaan nilai pada alat ukur sebanyak 10 kali untuk mendapatkan data pengujian yang lebih maksimal dan diambil rata – rata karena fluktuasi yang terjadi pada saat pembacaan pengukuran.
7. Dengan cara yang sama pada poin satu sampai enam, pengujian untuk selanjutnya dengan variasi jumlah sudu, sudut *pitch* (Φ), dan beban.

Dari hasil pengujian ini akan didapatkan data yang dapat memberikan kesimpulan sementara pada saat keadaan bagaimanakah jumlah sudu dan sudut serang sudu yang lebih efektif dalam memanfaatkan potensi angin yang ada.

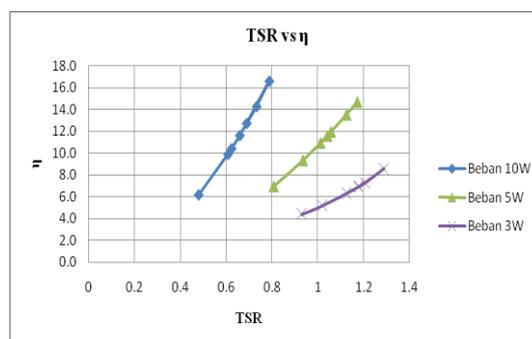
4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini digunakan kipas untuk mendapatkan kecepatan angin sebesar 3,85 m/s. Berikut merupakan gambar pengukuran kecepatan angin pada penelitian ini:



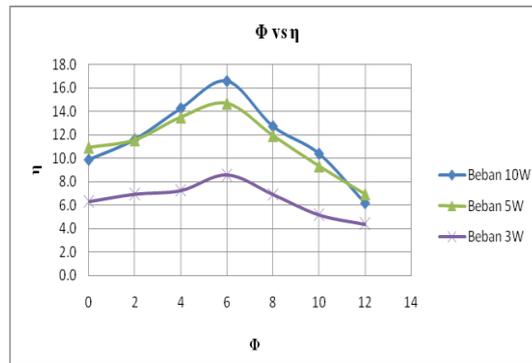
Gambar.4.1 Pengukuran kecepatan angin

Berikut merupakan grafik hasil pengujian pada penelitian ini:



Gambar 4.2 Grafik pengaruh *tip speed ratio* terhadap efisiensi turbin angin darrieus H dengan jumlah sudu 3 buah

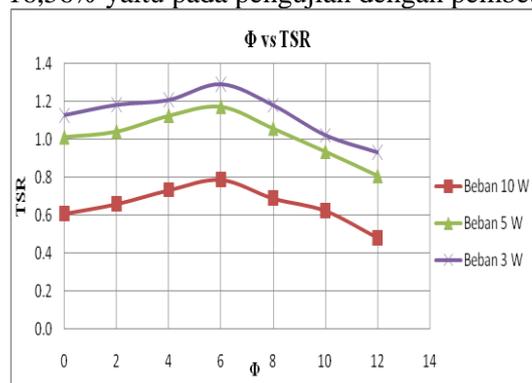
Dari grafik pengujian turbin angin dengan sudu 3 buah dapat dilihat pada TSR (*Tip Speed Ratio*) 0,79 efisiensi maksimum sebesar 16,56% yaitu pada pengujian dengan pembebanan lampu sebesar 10 W.



Gambar 4.3 Grafik pengaruh sudut *pitch* (Φ) terhadap efisiensi turbin angin

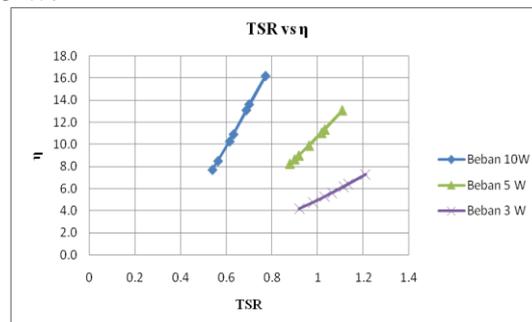
Darrieus H dengan jumlah sudu 3 buah

Dari grafik pengujian turbin angin dengan sudu 3 buah dapat dilihat pada sudut *pitch* (Φ) 6° efisiensi maksimum sebesar 16,56% yaitu pada pengujian dengan pembebanan lampu sebesar 10 W.



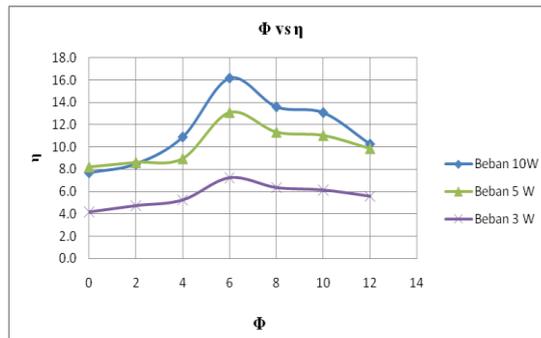
Gambar 4.4 Grafik pengaruh sudut *pitch* (Φ) terhadap *tip speed ratio* turbin angin Darrieus H dengan jumlah sudu 3 buah

Dari grafik pengujian turbin angin dengan sudu 3 buah dapat dilihat pada sudut *pitch* (Φ) 6° TSR (*Tip Speed Ratio*) mencapai nilai maksimum sebesar 1,29 yaitu pada pengujian dengan pembebanan lampu sebesar 3 W.



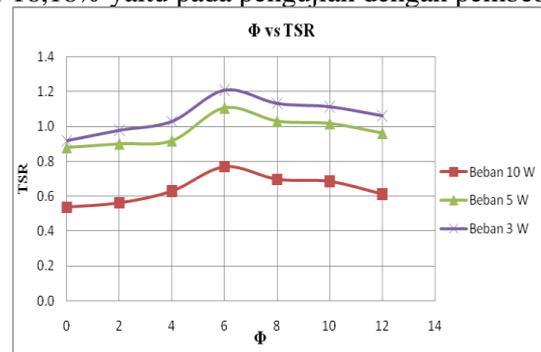
Gambar 4.5 Grafik pengaruh *tip speed ratio* terhadap efisiensi turbin angin darrieus H dengan jumlah sudu 4 buah

Dari grafik pengujian turbin angin dengan sudu 4 buah dapat dilihat pada TSR (*Tip Speed Ratio*) 0,77 efisiensi maksimum sebesar 16,18% yaitu pada pengujian dengan pembebanan lampu sebesar 10 W.



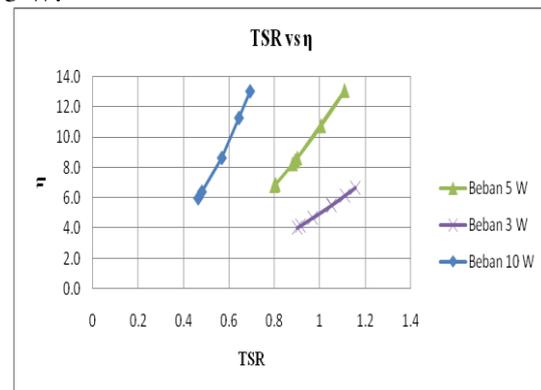
Gambar 4.6 Grafik pengaruh sudut *pitch* (Φ) terhadap efisiensi turbin angin Darrieus H dengan jumlah sudu 4 buah

Dari grafik pengujian turbin angin dengan sudu 4 buah dapat dilihat pada sudut *pitch* (Φ) 6^o efisiensi maksimum sebesar 16,18% yaitu pada pengujian dengan pembebanan lampu sebesar 10 W.



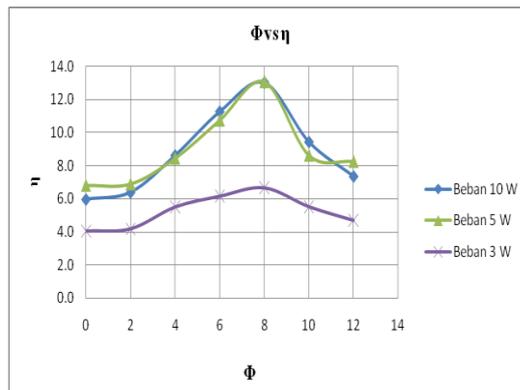
Gambar 4.7 Grafik pengaruh sudut *pitch* (Φ) terhadap *tip speed ratio* turbin angin Darrieus H dengan jumlah sudu 4 buah

Dari grafik pengujian turbin angin dengan sudu 4 buah dapat dilihat pada sudut *pitch* (Φ) 6^o TSR (*Tip Speed Ratio*) mencapai nilai maksimum sebesar 1,21 yaitu pada pengujian dengan pembebanan lampu sebesar 3 W.



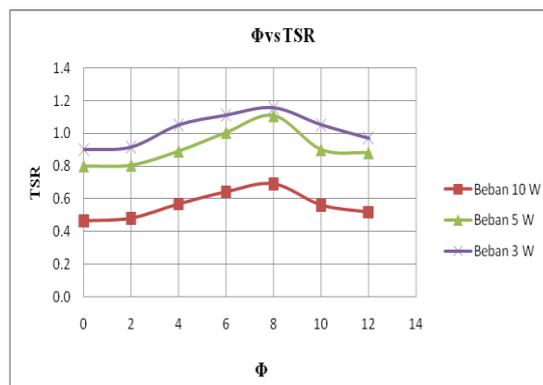
Gambar 4.8 Grafik pengaruh *tip speed ratio* terhadap efisiensi turbin angin darrieus H dengan jumlah sudu 5 buah

Dari grafik pengujian turbin angin dengan sudu 5 buah dapat dilihat pada TSR (*Tip Speed Ratio*) 1,11 efisiensi maksimum sebesar 13,09% yaitu pada pengujian dengan pembebanan lampu sebesar 5 W.



Gambar 4.9 Grafik pengaruh sudut *pitch* (Φ) terhadap efisiensi turbin angin Darrieus H dengan jumlah sudu 5 buah

Dari grafik pengujian turbin angin dengan sudu 5 buah dapat dilihat pada sudut *pitch* (Φ) 8° efisiensi maksimum sebesar 13,09% yaitu pada pengujian dengan pembebanan lampu sebesar 5 W.



Gambar 4.10 Grafik pengaruh sudut *pitch* (Φ) terhadap *tip speed ratio* turbin angin Darrieus H dengan jumlah sudu 5 buah

Dari grafik pengujian turbin angin dengan sudu 4 buah dapat dilihat pada sudut *pitch* (Φ) 8° TSR (*Tip Speed Ratio*) mencapai nilai maksimum sebesar 1,16 yaitu pada pengujian dengan pembebanan lampu sebesar 3 W.



Gambar 4.11 Grafik pengaruh jumlah sudu terhadap efisiensi turbin angin Darrieus H

Dari grafik dapat dilihat pada jumlah sudu 3 buah efisiensi maksimum sebesar 16,56% pada pembebanan sebesar 10 W dan semakin banyak jumlah sudu maka efisiensi semakin mengalami penurunan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

KESIMPULAN

Dari hasil pengujian turbin angin Darrieus H yang telah dilaksanakan, didapat kesimpulan Turbin angin dengan jumlah sudu 3 buah lebih efisien mengekstrak energi angin daripada turbin angin dengan jumlah sudu 4 buah dan 5 buah. Efisiensi maksimum untuk tiap jumlah sudu yaitu:

- 3 sudu, $\eta_{\max} = 16,56 \%$
- 4 sudu, $\eta_{\max} = 16,18 \%$
- 5 sudu, $\eta_{\max} = 13,03 \%$

Dengan penurunan putaran dari tanpa beban ke beban 10 W @ η_{\max} :

- 3 sudu, dari $n_{\text{ave}} = 86.7 \text{ rpm} \rightarrow n_{\text{ave}} = 38.6 \text{ rpm}$ (turun 55.48%)
- 4 sudu, dari $n_{\text{ave}} = 77.9 \text{ rpm} \rightarrow n_{\text{ave}} = 37.8 \text{ rpm}$ (turun 51.48%)
- 5 sudu, dari $n_{\text{ave}} = 76.1 \text{ rpm} \rightarrow n_{\text{ave}} = 34.0 \text{ rpm}$ (turun 55.32%)

Turbin angin dengan profil sudu NACA 0018 lebih efektif mengekstrak energi angin pada sudut serang lokal (*local angle of attack*) yang relatif rendah, hal ini disebabkan oleh berubahnya nilai sudut serang sebagai fungsi dari sudut azimuth (θ). Efisiensi maksimum untuk jumlah sudu 3 dan 4 buah pada sudut *pitch* (Φ) = 6° sementara untuk jumlah sudu 5 buah efisiensi maksimum pada sudut *pitch* (Φ) = 8° .

SARAN

Pada saat penelitian selanjutnya sebaiknya lebih teliti lagi pada saat fabrikasi agar tidak terlalu banyak kerugian-kerugian akibat kesalahan fabrikasi. Perlu diteliti pengaruh material sudu terhadap efisiensi turbin seperti dengan menggunakan fiber, kayu, atau material lainnya. Pada saat pengujian dilakukan dengan menggunakan wind tunnel agar didapat hasil yang lebih akurat pada saat pengujian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] KESDM. 2010. *Indonesia Energy Outlook 2010*. Jakarta
- [2] <http://majalahenergi.com>
- [3] <http://michaelsuseno.blogspot.com/2011/09/airfoil>
- [4] Hau, Eric. 2006. *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Applications, Economics*. Edisi 2. Springer: Berlin, Germany
- [5] Twidell, John dan Tony Weir. 2006. *Renewable Energy Resource. Second Edition*. New York : Taylor and Francis Group.