

Karakteristik Model Turbin Angin Sumbu Vertikal Dua Tingkat Darrieus Tipe-H dengan Bilah Hibrid Profil *Modified* NACA 0018 dan Kurva S

Indra Herlamba Siregar dan Aris Anshori

Jurusan Teknik Mesin

Kampus UNESA Jl. Raya Ketintang Gedung A6 Lt. 2, Surabaya 60231, Indonesia

E-mail: indrasiregar@unesa.ac.id

ABSTRAK

Pemanfaatan energi yang terbarukan dan ramah lingkungan dibutuhkan saat ini untuk mengatasi dampak bahan bakar fosil. Indonesia dengan garis pantai minimal 81.000 km dan kecepatan angin rata-rata 3-5 m/s memiliki potensi energi sebesar 9 GW. Turbin angin sumbu vertikal sangat sesuai untuk diterapkan karena kecepatan angin rata-rata termasuk dalam kategori rendah dan sering berfluktuasi. Dalam studi ini, turbin angin dua tingkat sumbu vertikal Darrieus-tipe H dengan bilah hibrid diusulkan. Turbin angin diuji di terowongan angin dengan kecepatan angin dari 3 m/s sampai 5,5 m/s dan beban dari 500 g sampai 1800 g. Bilah hibrid yang merupakan profil modifikasi NACA 0018 memiliki variasi sudut pitch dari 0° sampai 20° sedangkan kurva S-nya memiliki variasi luas antara 240 cm² dan 180 cm². Hasil menunjukkan bahwa sudut kemiringan terbaik untuk profil NACA 0018 yang dimodifikasi adalah 10° untuk kedua bilah dengan luas 240 cm² dan 180 cm². Koefisien kinerja terbaik untuk kurva S dengan luasan 180 cm² pada kisaran tip speed ratio antara 0,3-0,4 dengan nilai rata-rata hampir 5%. Untuk kurva S dengan luasan 240 cm², koefisien kinerja tertinggi diperoleh pada kisaran tip speed ratio antara 0,25 - 0,4 dengan nilai rata-rata hampir 4%.

Kata Kunci : Bilah hibrid, modified NACA 0018, kurva S.

ABSTRACT

Utilization of energy that is renewable and environment-friendly is needed at this time to overcome the impact of fossil fuels. Indonesia with a coastline of at least 81,000 km and an average wind speed of 3-5 m/s has 9 GW energy potential. Because the average wind speed is of a low category and often fluctuates, a vertical axis wind turbine is suitable for usage. In this study, a two-stage vertical axis wind turbine Darrieus-type H with hybrid blades is proposed. The wind turbine is tested in a wind tunnel with a wind speed from 3 m/s to 5.5 m/s and a load from 500 g to 1800 g. The hybrid blades which have a modified NACA 0018 profile have a pitch angle variation from 0° to 20°. Its S curve has a variation of area of 240 cm² and 180 cm². The results show that the best pitch angle for the modified NACA 0018 profile blade is 10° for both the blades with an area of 240 cm² and 180 cm². The coefficient of performance is the best for the 180 cm² S curve in the tip speed ratio range of 0.3-0.4 with an average of nearly 5%. For the S-curve area of 240 cm², the highest coefficient of performance is obtained at the range of tip speed ratio between 0.25 and 0.4 with an average value of nearly 4%.

Keyword : Hybrid blades, modified NACA 0018, S curve.

1. PENDAHULUAN

Energi memainkan peran paling penting dalam kehidupan masyarakat hari ini baik berupa pemenuhan kebutuhan domestik maupun industri. Saat ini sumber energi utama dalam hal pemenuhan kebutuhan energi didominasi oleh energi yang bersumber pada energi fosil seperti batu bara, gas alam, minyak, dan tenaga nuklir. Namun energi fosil merupakan sumber daya yang tidak dapat diperbaharui sehingga akan menjadi mahal seiring meningkatnya permintaan energi.

Pemanfaatan energi fosil sebagai sumber energi memiliki beberapa dampak yang negatif baik dari sisi ekonomi maupun lingkungan. Akibat dari produksi energi fosil tidak mampu memenuhi kebutuhan nasional, maka diperlukan impor minyak pada tahun 2010 tercatat sebesar 26 juta kiloliter sedangkan impor LPG 1,62 juta ton [1], dimana hal ini berimplikasi terhadap cadangan devisa negara. Sedangkan dampak pemakaian energi fosil terhadap lingkungan baik skala regional maupun global berupa pencemaran udara dan pemanasan global yang pada akhirnya menjadi penyebab utama terjadinya perubahan iklim [2].

Untuk itu perlu dicari sumber-sumber energi yang dapat diperbaharui dan ramah terhadap lingkungan seperti energi geotermal, energi matahari, energi pasang surut dan energi angin. Indonesia memiliki garis pantai yang panjangnya lebih dari 81.000 km [3] dengan kecepatan angin rata-rata di tepi pantai mencapai 2-6 m/s [4], maka Indonesia dengan kondisi ini memiliki potensi energi angin mencapai 9 GW. Angka ini merupakan suatu potensi besar jika dapat dimanfaatkan untuk menuai energi angin demi terciptanya ketahanan energi nasional dalam beberapa waktu ke depan [5].

Karakteristik angin di Indonesia sangatlah berbeda dengan zona belahan utara ataupun selatan, hal ini disebabkan posisi geografis Indonesia berada di Khatulistiwa sehingga arah angin selalu berubah-ubah, dimana kondisi ini menyebabkan kesinambungan produksi energi dari turbin angin sumbu horizontal terganggu karena rotor turbin harus selalu berhadapan dengan datangnya arah angin [6].

Energi angin dapat diubah menjadi energi yang berguna bagi manusia baik untuk

pemompaan air ataupun untuk penerangan dengan suatu alat yang disebut dengan turbin angin. Ada dua kategori turbin angin yaitu turbin angin sumbu horisontal (HAWT) dan sumbu vertikal (VAWT). Beberapa keuntungan turbin angin sumbu vertikal dibandingkan dengan sumbu horisontal adalah kemampuan VAWT untuk menerima angin dari setiap arah tanpa *yawing*. Tidak adanya sistem *yaw* menyederhanakan desain turbin. Kemudian profil bilah dari VAWT ada yang seragam dan dipilin, hal ini membuat proses fabrikasinya relatif mudah, tidak seperti bilah dari HAWT, yang harus memutar dan meruncing untuk kinerja yang optimal. Selanjutnya, hampir semua komponen yang membutuhkan perawatan terletak di permukaan tanah sehingga memudahkan pemeliharaan. Namun fluktuasi torsi yang tinggi di setiap putaran, tidak adanya kemampuan *self-starting* adalah kekurangan dari VAWT [7].

VAWT secara luas dapat dibagi menjadi tiga tipe dasar: jenis Savonius, Darrieus jenis *egg beater* dan jenis Giromill atau Darrieus tipe-H. Giromill populer untuk konfigurasi sederhana dan desain bilahnya sederhana [8].

Penelitian tentang VAWT Darrieus tipe-H telah banyak dilakukan baik secara numerik maupun eksperimental seperti Fiedler dan Stephen Tullis [9] meneliti pengaruh posisi bilah dan sudut *pitch* bilah dengan jenis bilah adalah NACA 0015 pada turbin angin sumbu vertikal tipe-H Darrieus dengan jumlah bilah tiga pada terowongan angin. Hasil penelitian memaparkan bahwa peletakan poros pemegang bilah ditengah menghasilkan efisiensi turbin yang terbaik, begitu pula sudut *pitch* bilah yang *toe-out* menghasilkan efisiensi yang lebih baik daripada sudut *pitch* bilah nol derajat.

Radu dkk [10] melakukan prediksi kinerja aerodinamis dari turbin angin sumbu vertikal Darrieus tipe-H dengan metode faktor *gust* dan momentum. Salah satu parameter yang dihitung adalah pengaruh jumlah bilah terhadap koefisien kinerja turbin angin (C_p), hasil perhitungan memaparkan bahwa semakin banyak jumlah bilah maka kecepatan angin awal yang diperlukan untuk menggerakkan turbin semakin rendah dengan C_p optimum pada rentang *tip speed ratio* antara 2 dan 3.

El-Samanoudy dkk [11] melakukan penelitian beberapa parameter desain terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal tipe-H Darrieus di terowongan angin dengan 3 jenis bilah yaitu NACA 0024, NACA 4420 dan NACA 4520 dengan panjang *chord* 8, 12 dan 15 cm dan *span* 70 cm, untuk jumlah bilah yang diujikan 2, 3 dan 4. Hasil penelitian memaparkan bahwa unjuk kerja terbaik diperoleh pada jumlah bilah 4 dengan jenis bilah NACA 0024 pada sudut *pitch* 10°.

Payam Sabaeifard dkk [12] melakukan eksperimen dan simulasi dengan CFD untuk menentukan konfigurasi yang optimum pada turbin angin sumbu vertikal tipe-H Darrieus dengan jenis bilah yang digunakan adalah NACA 0018. Salah satu aspek yang diteliti adalah jumlah bilah 2, 3 dan 4, dimana hasil penelitian memaparkan efisien tertinggi diperoleh oleh turbin angin dengan jumlah bilah 3 sebesar 0,33 pada *tip speed ratio* 3,5. Namun untuk putaran rendah dari *tip speed ratio* 1 sampai dengan 3 jumlah bilah 4 menghasilkan efisiensi turbin yang terbaik.

Marco Raciti Castelli dkk [13] meneliti pengaruh jumlah bilah terhadap kinerja turbin angin sumbu vertikal tipe-H Darrieus dengan simulasi yang menggunakan metode perhitungan RANS *unsteady* dengan jenis bilah yang digunakan adalah NACA 0025. Hasil simulasi memaparkan bahwa untuk kecepatan angin rendah atau *tip speed ratio* yang kecil antara 1,5 sampai 1,8 menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah bilah akan menaikkan efisiensi turbin, sedangkan pada kecepatan angin yang tinggi atau *tip speed ratio* yang besar lebih dari 2 kinerja yang terbaik ditemukan pada turbin dengan jumlah bilah 3.

Siregar [14] meneliti pengaruh penambahan *wind deflector* pada turbin angin sumbu vertikal tipe-H dengan jumlah bilah 3 dengan profil bilah NACA 0018 pada sudut *pitch* yang besar. Hasil penelitian memaparkan bahwa penambahan *wind deflector* meningkatkan efisiensi turbin sebesar 102% daripada efisiensi turbin angin tanpa *wind deflector*, kondisi ini terjadi pada sudut *pitch* yang besar yaitu 30°.

Siregar [15] meneliti pengaruh penambahan *wind deflector* pada turbin angin sumbu vertikal tipe H dua tingkat dengan profile *modified* NACA 0018 pada berbagai variasi sudut *pitch* dan beban. Hasil penelitian

memaparkan bahwa dengan penambahan *wind deflector* mampu meningkatkan kinerja turbin rata-rata 34,3% dengan daya dan koefisien kinerja optimum berturut-turut sebesar 0,72 W dan 13,34% pada sudut *pitch* 30° pada kecepatan angin 4,4 m/s.

Dumitrescu [16] meneliti karakteristik turbin angin sumbu vertikal tipe-H dua tingkat dengan jumlah bilah 3 per tingkat profil bilah NACA 0018 dengan variasi sudut *pitch* 0°, 3° dan 6°. Hasil penelitian memaparkan bahwa turbin menghasilkan torsi yang besar pada kecepatan angin rendah ketika sudut *pitch* yang besar, sebaliknya turbin menghasilkan torsi yang besar pada kecepatan angin yang tinggi pada sudut *pitch* yang kecil.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Variabel-Variabel Penelitian

Penelitian bertujuan menganalisis hubungan antara variabel bebas yang diujikan dan variabel respon yang kemudian dianalisis setelah itu hasil analisis disajikan dalam bentuk gambar ataupun paparan adapun variabel-variabel tersebut diklasifikasikan menjadi tiga, antara lain:

1. Variabel bebas adalah variasi perlakuan yang diberikan pada turbin angin dimana pada penelitian ini variabel bebasnya adalah variasi sudut *pitch* 0°, 5°, 10° dan 15°, serta luasan kurva S 180 cm² dan 240 cm².
2. Variabel terikat adalah variabel hasil, untuk penelitian ini variabel terikatnya adalah daya dan koefisien kinerja turbin angin.
3. Variabel kontrol adalah sesuatu yang dikontrol agar penelitian tetap fokus pada masalah yang diteliti. Variabel kontrol dalam penelitian ini adalah model turbin angin yang dimensinya dapat dilihat pada Tabel 1.

2.2 Peralatan dan Instrumen Penelitian

Pengambilan data merupakan suatu proses penting untuk mencapai tujuan penelitian dimana parameter yang diukur adalah putaran poros turbin angin, kecepatan angin, sudut *pitch*, dan beban torsi pengereman. Untuk mendapatkan data tersebut diperlukan peralatan dan alat ukur serta prosedur pengujian. Adapun susunan peralatan

dan instrumen pada penelitian kali ini dapat dilihat pada Gambar 1.

Sedangkan peralatan dan instrumen yang digunakan pada penelitian kali ini antara lain :

1. *Anemometer*
Merk : Lutron ABH 4225
Unit : m/s, km/h, knot
2. *Tachometer*
Merk : KRISBOW
Unit : m/min, rpm
3. Terowongan angin tipe *subsonic open circuit* dengan luas penampang 2025 cm².
4. Anak timbangan berfungsi untuk membebani poros turbin sehingga karakteristik turbin diperoleh.

Tabel 1. Dimensi geometris dari model turbin angin

Jenis Bilah airfoil	<i>modified</i> NACA 0018
Jumlah Bilah per tingkat, B	3
Panjang Chord, c (m)	0,034
Panjang span, h (m)	0,15
Diameter Rotor, D (m)	0,3
Tinggi Rotor (Tingkat), H (m)	0,15
Jumlah Tingkat	2
Soliditas Rotor, $\sigma = B.c/D$	0,34
Jenis Bilah Kurva	Kurva S
Jumlah Bilah per tingkat	2
Luas bilah	180 cm ² dan 240 cm ²

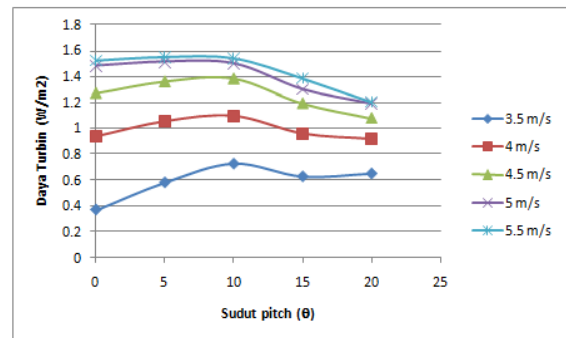


Gambar 1. Rangkaian instrumen penelitian

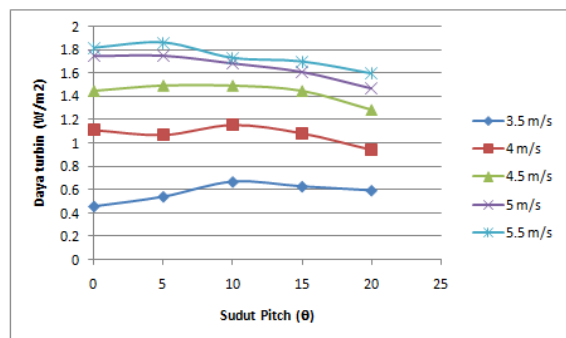
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Variasi sudut *pitch* pada beban tetap 500 g

Hasil pengujian model turbin angin yang merupakan kombinasi bilah (hibrid) profile *modified* NACA 0018 dengan bilah kurva S dengan variasi luasan yaitu 240 cm² dan 180 cm², dipaparkan dalam Gambar 2 sampai Gambar 5.



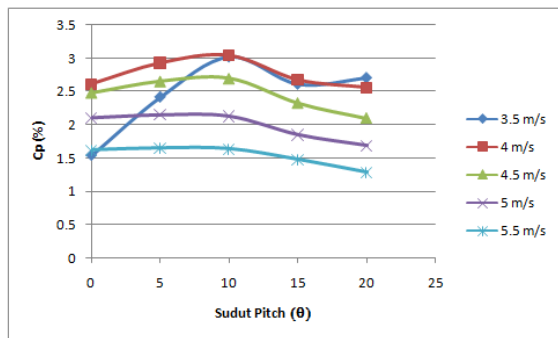
Gambar 2. Daya spesifik model turbin angin bilah hibrid dua tingkat untuk bilah kurva S dengan luasan 180 cm² pada beban 500 g



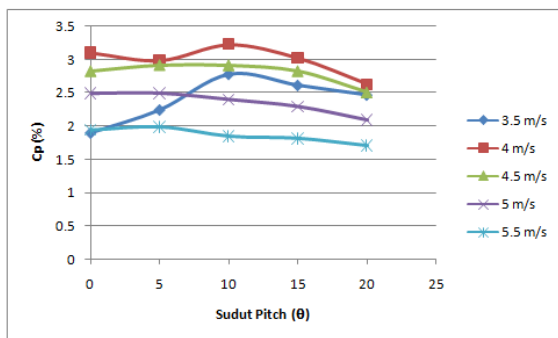
Gambar 3. Daya spesifik model turbin angin bilah hibrid dua tingkat untuk bilah kurva S dengan luasan 240 cm² pada beban 500 g

Dari Gambar 2 dan 3 terlihat bahwa daya spesifik model turbin angin pada kecepatan angin rendah 3,5 – 4,5 m/s meningkat seiring penambahan sudut *pitch* hingga 10°, kemudian turun seiring dengan penambahan sudut *pitch*. Sedangkan untuk kecepatan angin tinggi penambahan sudut *pitch* hingga 10° daya yang dihasilkan cenderung konstan setelah itu turun. Hal ini disebabkan pada kecepatan angin yang rendah, aliran yang melintasi daerah *tip* bilah kurva S dan bilah *modified* NACA 0018 (lihat Gambar

6 daerah X) mengalami percepatan sehingga terjadi peningkatan kecepatan pada ujung bilah *modified* NACA 0018 yang menyebabkan putaran turbin meningkat.



Gambar 4. Cp model turbin angin bilah hibrid dua tingkat untuk bilah kurva S dengan luasan 180 cm² pada beban 500 g

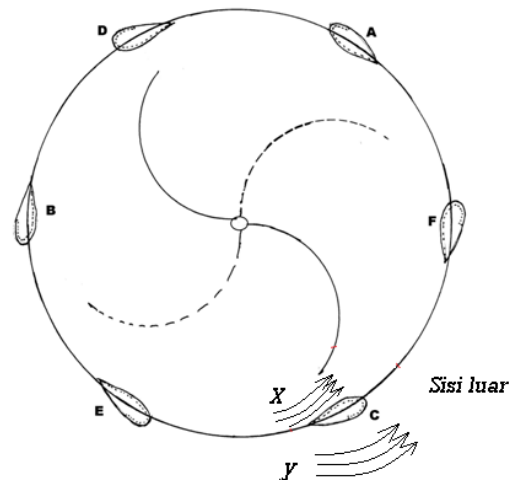


Gambar 5. Cp model turbin angin bilah hibrid dua tingkat untuk bilah kurva S dengan luasan 240 cm² pada beban 500 g

Hal ini menyebabkan terjadinya peningkatan daya yang dihasilkan turbin. Namun seiring bertambahnya sudut *pitch* kearah *toe-in* [9], maka daya yang dihasilkan model turbin menurun, hal ini diduga semakin besar sudut *pitch* arah *toe-in* menyebabkan jarak antara ujung dari bilah kurva S dan bilah *modified* NACA 0018 semakin sempit sehingga aliran akan mengalami hambatan, sehingga banyak massa udara mengalir disisi luar bilah *modified* NACA 0018 (lihat Gambar 6 daerah Y), hal ini juga menyebabkan kecepatan pada ujung bilah *modified* NACA 0018 mengalami penurunan.

Koefisien kinerja dari model turbin (lihat Gambar 4 dan 5) juga mengalami fenomena yang sama dengan daya dengan hasil terbaik pada sudut 10° pada kecepatan angin 4 m/s. Hal ini dikarenakan seiring kenaikan kecepatan angin maka massa udara yang

mengalir semakin besar sehingga menyebabkan terjadinya hambatan karena antrian udara untuk menyapu permukaan bilah kurva S dan *modified* NACA 0018. Fenomena ini menyebabkan banyak aliran massa melintasi sisi luar dari turbin, hal inilah yang menyebabkan turunnya kemampuan model turbin untuk mengekstraksi potensi energi angin yang ada.



Gambar 6. Perkiraan pola aliran melintasi konfigurasi turbin angin bilah hibrid

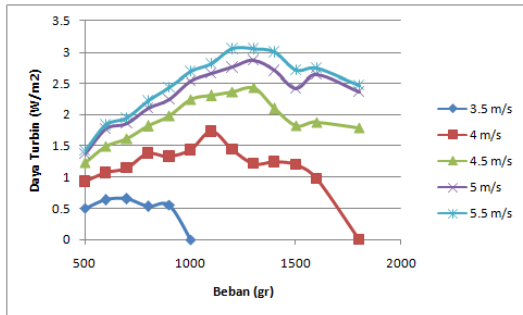
Alasan ini diduga sebagai faktor penyebab terjadinya penurunan nilai koefisien kinerja pada kecepatan angin yang tinggi. Nilai koefisien kinerja terbaik untuk luasan kurva S 180 cm² diperoleh pada rentang λ sebesar 0,3-0,4 dengan nilai mendekati 5% sedangkan untuk luasan kurva S 240 cm² diperoleh pada rentang *tip speed ratio* (λ) sebesar 0,25-0,4 dengan nilai mendekati 4%.

3.2 Variasi beban pada sudut *pitch* yang optimum

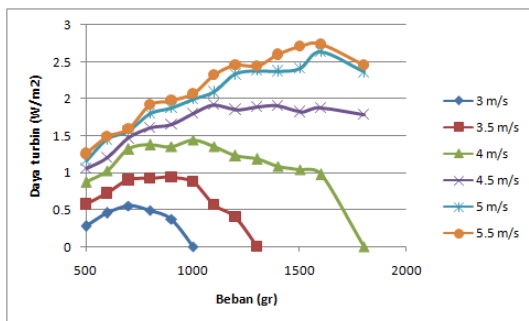
Setelah diperoleh sudut *pitch* yang menghasilkan kinerja model turbin angin yang baik, maka penelitian dilanjutkan dengan memvariasikan beban agar diperoleh data kemampuan yang optimum dari model turbin yang didesain. Data hasil pengujian model turbin angin dengan memvariasikan beban disajikan pada Gambar 7 sampai Gambar 10.

Dari Gambar 7 dan Gambar 8 terlihat bahwa kemampuan dari model turbin dengan luasan kurva S yang semakin besar, untuk menyerap energi angin menurun. Hal ini disebabkan dengan semakin luas permukaan bilah kurva S maka permukaan bilah yang

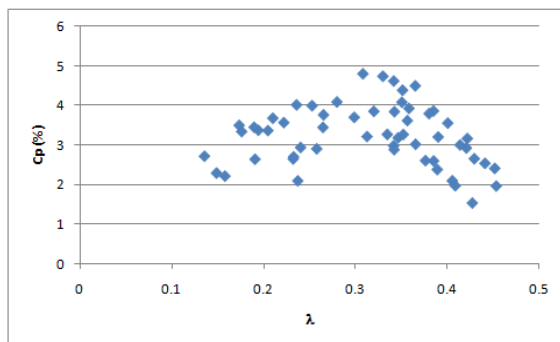
menerima aliran menjadi semakin besar sehingga selain menghasilkan gaya *drag* yang lebih besar bagian cekungnya (*concave*) yang menghasilkan torsi positif, juga menghasilkan gaya *drag* yang lebih besar bagian cembungnya (*convex*) yang menghasilkan torsi negatif lihat Gambar 11.



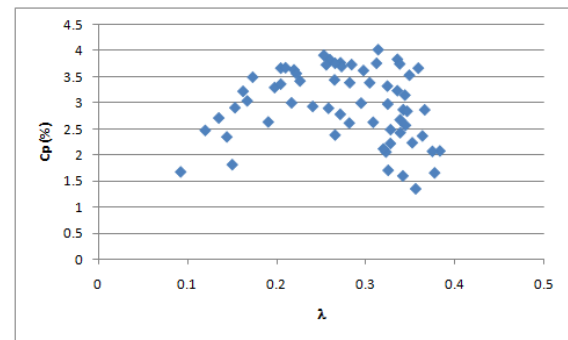
Gambar 7. Daya spesifik model turbin angin bilah hibrid dua tingkat untuk bilah kurva S dengan luasan 180 cm² pada variasi beban



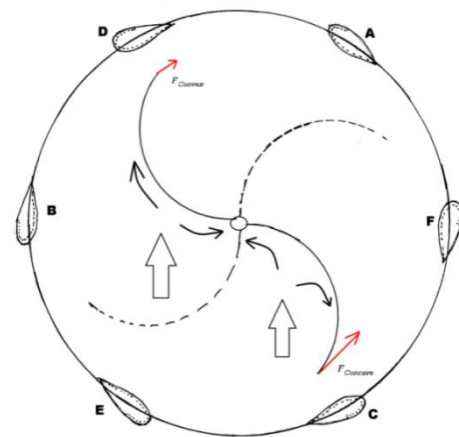
Gambar 8. Daya spesifik model turbin angin bilah hibrid dua tingkat untuk bilah kurva S dengan luasan 240 cm² pada variasi beban



Gambar 9. Cp model turbin angin bilah hibrid dua tingkat untuk bilah kurva S dengan luasan 180 cm² pada variasi beban



Gambar 10. Cp model turbin angin bilah hibrid dua tingkat untuk bilah kurva S dengan luasan 240 cm² pada variasi beban



Gambar 11. Skema gaya drag yang bekerja pada bilah kurva S

4. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian model turbin angin dengan bilah hibrid profil *modified* NACA 0018 dan kurva S dengan susunan dua tingkat di terowongan angin dapat ditarik beberapa kesimpulan.

1. Perubahan sudut *pitch* memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kinerja model turbin angin baik model turbin angin dengan kombinasi bilah kurva S dengan luasan 180 cm² maupun 240 cm². Sudut *pitch* optimum terjadi pada sudut 10° untuk kedua luasan kurva S.
2. Nilai koefisien kinerja (Cp) yang terbaik untuk bilah kurva S dengan luasan kurva S 180 cm² diperoleh pada rentang λ sebesar 0,3-0,4

dengan nilai mendekati 5% sedangkan untuk luasan kurva S 240 cm² diperoleh pada rentang λ sebesar 0,25-0,4 dengan nilai mendekati 4%.

3. Model turbin angin sumbu vertikal dua tingkat dengan bilah hibrid ini terkategori turbin tipe *drag*.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai oleh Universitas Negeri Unesa dalam skema Penelitian Hibah Bersaing BOPTN 2015 dengan SPK No: 050.74/UN38.11-P/LT/2015

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Syahrial E, "Handbook of Energy & Economic Statistics of Indonesia," (<https://www.esdm.go.id/assets/media/content/content-handbook-of-energy-economic-statistics-of-indonesia-2012-dcexnjb.pdf>), 2012. (diakses 28 Mei 2017).
- [2] Armely dkk, "Bumi Makin Panas," ([http://www.pelangi.or.id/publikasi/2007/ bumi makin panas.pdf](http://www.pelangi.or.id/publikasi/2007/ bumi%20makin%20panas.pdf), 2004 (diakses 27 Mei 2008).
- [3] Martosaputro S., Murti N., "Blowing the Wind Energy in Indonesia," Energy Procedia 47 (273 – 282), 2014.
- [4] Musyafa A., I. Made Yulistya Negara, Robandi I., "A Wind Turbine for Low Rated Wind Speed Region in East Java," International Journal Of Academic Research Vol. 3 No. 5, Part II, 2011.
- [5] Pratomo Y., "Indonesia pun bisa memanen energi angin," <http://www.hijauku.com/2012/04/10/ indonesia-pun-bisa-memanen-angin/>, 2012. (diakses 28 Mei 2017).
- [6] Anonim, "Kompatibilitas dengan karakteristik angin di Indonesia," (<http://www.alpensteel.com/article/53-101-energi-terbarukan--renewable-energy/3588--kompatibilitas-dengan-arah-angin-yang-sering-berubah-ubah.html>). (diakses 28 Mei 2017).
- [7] Claessens, M.C., "The Design and Testing of Airfoils for Application in Small Vertical Axis Wind turbines," Delft University, 2009.
- [8] Mathew, S. 2006, "Wind Energy: Fundamental, resource Analysis and Economics.", Springer.
- [9] Fiedler, Andrzej J. & Stephen Tullis, "Blade. Offset and Pitch Effects on a High. Solidity Vertical Axis Wind Turbine". Wind Engineering Volume 33, No. 3 pp. 237–246, 2009.
- [10] Radu, Bogăţeanu., Bogdan Dobrescu, Ion Nilă, "Aerodynamic performance prediction of Darrieus-type wind turbines," Incas Bulletin, Volume 2, No.2. pp. 26 – 32, 2010.
- [11] El-Samanoudy, M., A.A.E. Ghorab, Sh. Z. Youssef, "Effect of some design parameters on the performance of a Giromill vertical axis wind turbine," Ain Shams Engineering Journal 1, pp. 85–95, 2010.
- [12] Payam S., Haniyeh R., Ayat F., "Determination of Vertical Axis Wind Turbines Optimal Configuration through CFD Simulations," International Conference on Future Environment and Energi IPCBEE Vol.28, 2012.
- [13] Marco Raciti Castelli, Stefano De Betta and Ernesto Benini., "Effect of Blade Number on a Straight-Bladed Vertical-Axis Darrieus Wind Turbine," International Journal of Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering Vol 6, No 1, 2012.
- [14] Siregar, Indra Herlamba. "Komparasi Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Tipe-H dengan Bilah Profile Naca 0018 dengan dan Tanpa Wind Deflector," Jurnal Ilmiah Teknik Mesin Cylinder Vol 1. No.1 pp. 28-34, 2014.
- [15] Siregar, Indra Herlamba, "Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Tipe-H Dua Tingkat Dengan Bilah Profile Modified NACA 0018 Dengan dan Tanpa Wind Deflector," Jurnal OTOPRO Vol 8. No 2 pp. 126-138. 2013.
- [16] Dumitrescu, H., A. Dumitrache., C. L. Popescu , M. O. Popescu, F. Frunzulică and A. Crăciunescu. "Wind Tunnel Experiments on Vertical-Axis Wind Turbines with Straight Blades," International Conference on Renewable Energy and Power Quality (ICREPQ'14), Cordoba (Spain) , 2014.