

Volume 1, Nomor 1, April 2014

The Methods for Efficient Transverse Vibration of Structural Dynamics: a Historical Point of View
A. Rugerri Toni Liong

Korelasi Temperatur Udara dan Intensitas Radiasi Matahari Terhadap Performansi Mesin Pendingin Siklus Adsorpsi Tenaga Matahari
Tulus B. Sitarus, Farel H. Napitupulu, dan Himsar Ambarita

Designing and Building a Water Level Control Display by Implementing Water Conductivity and Microcontroller
Elray Neil Sudiro, Anthony Riman and Eric Jobiliang

Komparasi Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Tipe-H Dengan Bilah Profil NACA 0018 Dengan dan Tanpa Wind Deflector
Indra Herlamba Siregar

Practical Media Using Real Products in Bandung State Polytechnic for Manufacturing
Gamawan Ananta

Penerapan Metode Substruktur Dalam Analisis Dinamika Rotor
Ramses Hutahaean

Studi Eksperimental dan Pemodelan Matematika Proses Pengeringan Kakao Energi Surya Secara Intermittent
Haznam Putra, Farel H. Napitupulu, Himsar Ambarita dan Sari Farah Dina

Penentuan Hubungan Antara Defleksi Lateral dan Radial Poros Baja Pada Berbagai Jenis Tumpuan Secara Teoritik
Viktus Kolo Katen dan Duma Hasan

JURNAL ILMIAH TEKNIK MESIN

CYLINDER

Penanggungjawab

Ketua Program Studi S1 Teknik Mesin

Ketua Editor

Ir. Frederikus Wenehenubun, M.A.Sc.

Dewan Editor

Riccy Kurniawan, S.T., M.Sc., D.I.C.

Ir. Isdaryanto Iskandar, M.Sc.

Harjadi Gunawan, S.T., M.Eng.

Ir. Anthon de Fretes, M.Sc.

Ir. M. Makdin Sinaga, M.Sc.

Editor Pelaksana

Arie Sukma Jaya, S.T., M.Eng.

Reviewer

Prof. Dr. Ir. Wegie Ruslan, M.S.Math., M.B.A., I.P.M.

Prof. Ir. Hadi Sutanto, M.M.A.E., Ph.D.

Dr. Ir. P.J. Prita Dewi Basoeki, M.T.

Dr.-Ing. Ir. A. Rugerri Toni Liong, M.Sc.

Dr. Ir. Djoko Setyanto, M.Sc.

Sekretariat

Yusup Suyatno, A.Md.

Penerbit

LPT Penerbit Unika Atma Jaya (PUAJ)

Jenderal Sudirman 51 Jakarta 12930

e-mail: upt.penerbit@atmajaya.ac.id

Alamat Sekretariat

Program Studi Teknik Mesin – Fakultas Teknik

Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya

Jenderal Sudirman 51 Jakarta 12930, Indonesia

Tel.: (021) 5708826 Fax.: (021) 57900573

e-mail: prodi.mesin@atmajaya.ac.id

Komparasi Kinerja Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Tipe-H Dengan Bilah Profil NACA 0018 Dengan dan Tanpa *Wind Deflector*

Indra Herlamba Siregar

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
Kampus UNESA Raya Ketintang Gedung A.6 Lt. 2.
E-mail: indra_adsite2006@yahoo.com

ABSTRACT

The length of 80791.42 km coastline Indonesia is a potential area for the development of wind energy with wind speeds average is generally between 3 m / s to 5 m/s, the total wind energy potential is estimated to reach 9 GW. However, the geographical Indonesia as a tropical country has characteristics of wind direction in Indonesia frequent changes, which condition is causing the sustainability of energy production from horizontal axis wind turbine rotor turbine disrupted due must always deal with the arrival of the wind direction. It required the design of the turbine according to the characteristics and the wind speed in Indonesia. In the present study to see the effect of adding wind deflector on the performance of vertical axis wind turbine models Darrieus type-H blades with NACA 0018 profile of the tested wind speed 2.86 m / s and 3.43 m / s and a pitch angle of 15⁰, 20⁰, 25⁰ and 30⁰ with a load of 200, 250 and 300 gr. The results presented that the addition of wind deflector can improve the performance of vertical axis wind turbines Darrieus type-H in the form of 56.37% power turbine and turbine performance coefficient of 65.03% on the pitch angle 30⁰ at wind speed 3.43 m / s

Keywords: *Pitch angle, VAWT of Darrieus Tipe-H, Coefficient of Performance, wind deflector.*

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman, dan ditemukannya peralatan-peralatan yang berguna untuk memudahkan mobilitas manusia untuk berpindah dari satu tempat ke tempat lain ataupun memudahkan manusia untuk hidup lebih nyaman, dimana kesemuanya ini memerlukan energi yang besar baik berupa energi listrik, energi mekanik ataupun bentuk energi lainnya.

Berdasarkan data statistika besar konsumsi energi Indonesia sebesar 0,467 ton per kapita (Pusdatin ESDM, 2011) dengan sebaran final pasokan energi primer yang berasal dari energi fosil berupa batubara, minyak bumi dan gas alam sebesar 76,2 % dari total energi Indonesia pada tahun 2010 (Syahril, 2011).

Pemakaian energi fosil memiliki beberapa dampak yang negatif baik ditinjau dari sisi ekonomi maupun lingkungan. Akibat dari produksi energi fosil tidak mampu memenuhi kebutuhan nasional, maka

diperlukannya impor minyak pada tahun 2010 tercatat sebesar 26 juta kiloliter sedangkan impor LPG 1,62 juta ton (Syahril, 2011), 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 (Armely dkk., 2004).

Untuk mengatasi ketersediaan energi Indonesia melalui PP No.5 tahun 2006 tentang kebijakan energi nasional dimana ditargetkan pada tahun 2025 minyak bumi menjadi kurang dari 20% , gas bumi menjadi lebih dari 30% , batubara menjadi lebih dari 33% , *biofuel* menjadi lebih dari 5% , panas bumi menjadi lebih dari 5% , energi baru dan terbarukan lainnya, khususnya biomassa, nuklir, tenaga air skala kecil, tenaga surya, dan tenaga angin menjadi lebih dari 5% dan bahan bakar lain yang berasal dari

pencairan batubara menjadi lebih dari 2% (Pusdatin ESDM, 2011).

Berdasarkan PP No.5 tahun 2006, salah satu energi alternatif yang dikembangkan adalah energi angin. Energi angin termasuk energi terbarukan yang didefinisikan sebagai energi yang secara cepat dapat diproduksi kembali melalui proses alam. Beberapa kelebihan energi terbarukan antara lain: sumbernya relatif mudah didapat, dapat diperoleh dengan gratis, minim limbah, tidak mempengaruhi suhu bumi secara global, dan tidak terpengaruh oleh kenaikan harga bahan bakar (Jarass, 1980).

Indonesia yang memiliki pantai sepanjang 80.791,42 km merupakan wilayah potensial untuk pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan kecepatan angin rata-rata dipesisir pantai Indonesia secara umum antara 3 m/detik hingga 5 m/detik, diperkirakan total 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 (Yudha Partomo, 2012).

Letak geografis Indonesia sebagai negara tropis menyebabkan karakteristik angin di Indonesia sangat berbeda dengan karakteristik angin di negara-negara maju yang telah memanfaatkan angin sebagai sumber energinya antara lain arah angin yang sering 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 (anonim, 2013), hal ini tidak dijumpai pada turbin angin sumbu vertikal dimana turbin jenis ini Bergeraknya tidak tergantung dari arah angin dan dapat bekerja pada kecepatan angin lebih kecil dari 3,24 m/s.

Selain itu *noise* yang dihasilkan oleh turbin angin sumbu kecil daripada *noise* yang dihasilkan oleh turbin angin sumbu horizontal vertikal (Muhammad M A, 2012).

TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian Terdahulu

Salah satu pendekatan untuk meningkatkan efisiensi adalah untuk membangun struktur khusus salah satu contoh adalah menambahkan selubung gelang diffuser pada turbin angin sumbu horizontal (Ohya et al., 2008). Karena tekanan keluar pada diffuser

diturunkan oleh *flange* eksternal, angin yang mendekati turbin mengalami percepatan sehingga kecepatan angin di *inlet diffuser* meningkat. Turbin angin yang diberi selubung gelang diffuser ini dapat menghasilkan daya keluaran 4-5 kali lebih besar daripada turbin angin horizontal standar.

Berbagai modifikasi dari konsep pelat pembelok aliran angin telah banyak diterapkan pada turbin angin sumbu vertikal Savonius. Shaughnessy dan Probert (1992) menunjukkan bahwa, optimasi konfigurasi dan posisi deflektor berbentuk V, dapat meningkatkan daya keluaran turbin 20% lebih besar daripada turbin Savonius tanpa deflektor.

Mohamed et al. (2010) melakukan studi numerik untuk mendapatkan posisi dan geometri yang optimal dari *deflector* pelat datar pada turbin angin Savonius untuk dengan jumlah bilah 2 dan 3. Meskipun geometri optimum *deflector* yang berbeda untuk kedua turbin, namun kinerja turbin angin Savonius 2 dan 3 bilah meningkat sekitar 27%.

Menurut Golecha et al. (2011), peningkatan daya koefisien-koefisien tergantung pada desain dari turbin angin Savonius yang dimodifikasi. Sebuah turbin angin Savonius satu tingkat lebih baik dari segi peningkatan kinerja daripada turbin angin Savonius tiga tingkat dengan pergeseran fasa. Dengan optimasi susunan dua pembelok pelat angin langsung masuk untuk memajukan bilah sehingga daya keluaran turbin Savonius meningkat lebih dari dua kali dari turbin standar (Altan et al., 2008).

Irabu dan Roy (2007) melaporkan bahwa turbin Savonius tertutup oleh kotak panduan yang berbentuk persegi panjang efektif dalam meningkatkan daya keluaran turbin.

Prinsip konsep *deflector* dapat diterapkan untuk meningkatkan gaya angkat pada turbin angin sumbu vertikal juga karena gaya angkat *returning blade* pada turbin angin sumbu vertikal angkat sejajar dengan arah angin, torsi negatif *returning blade* tidak sebesar seperti turbin angin sumbu vertikal berbasis *drag*. Oleh karena itu, keuntungan diwujudkan dengan angin yang terhambat secara langsung dari *returning blade* dengan *deflector* lebih kecil dibandingkan turbin angin sumbu vertikal berbasis *drag* Savonius (Chein dan Chung, 1988).

Dari penelitian terdahulu penulis tertarik meneliti penambahakan *wind deflector*

berupa *guide vane* untuk meningkatkan efisiensi turbin angin sumbu vertikal Darrieus tipe-H.

METODOLOGI PENELITIAN

Variabel – Variabel Penelitian

Salah satu pendekatan untuk variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian ini dapat diklasifikasikan menjadi tiga, antara lain:

1. Variabel bebas
Variabel bebas adalah variasi perlakuan yang diberikan pada turbin angin dimana pada penelitian ini adalah variabel bebasnya adalah variasi kecepatan angin, sudut *pitch* yang terdiri dari 15° , 20° , 25° dan 30° dan beban turbin angin terdiri dari 200 gr, 250 gr dan 300 gr.
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 jumlah bilah 3 buah dan sudut *wind deflector* 60°

Peralatan dan Instrumen Penelitian

Pengambilan data merupakan suatu proses penting untuk mencapai tujuan penelitian dimana parameter yang diukur adalah putaran, kecepatan angin, sudut *pitch*, beban, waktu tempuh beban pada jarak perpindahan beban yang ditentukan sebelumnya. Untuk mendapatkan data-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 yang digunakan pada penelitian kali ini antara lain :

1. Anemometer
Merk : Lutron ABH 4225
Unit : m/S, Km/h, knot
2. *Hygrometer*
Merk : Hanna Instruments
Unit : % RH
3. Mistar
4. *Stopwatch*
Merk : LG
Unit : 1/100 s
5. Bilah turbin

Spesifikasi : Profil NACA 0018 bahan PVC dengan dimensi panjang *chord* 100 mm dan panjang *span* 300 mm



Gambar 1. Rangkaian instrumen pengujian dengan *wind deflector*

Prosedur Penelitian

a. Tahap Persiapan

1. Menyusun/membuat rangkaian objek penelitian seperti pada Gambar 1.
2. Menyiapkan peralatan dan instrumen penelitian, yaitu anemometer, mistar, *stopwatch*.
3. Menyiapkan beberapa variasi beban yang digunakan pada pengujian.

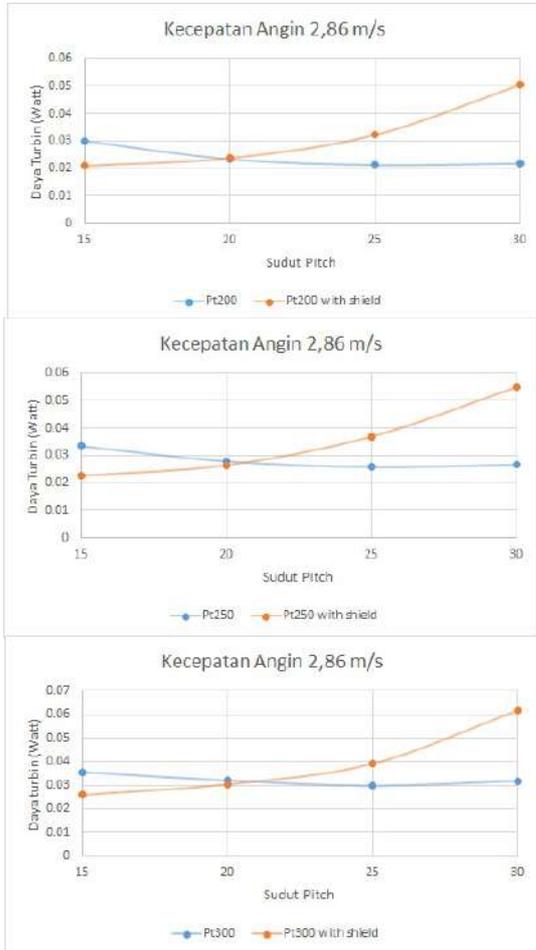
b. Tahap Percobaan

1. Menghidupkan kipas angin.
2. Melakukan pengaturan kecepatan angin pada kipas dengan potensiometer. Kemudian dilakukan pengecekan kecepatan angin dengan anemometer, pengecekan ini dilakukan setelah angin melewati penenang, mengatur sudut *pitch* dan beban.
3. Pengamatan mulai dilakukan dengan memberi beban yang telah dipersiapkan pada tali di *pulley*. Kemudian kipas dihidupkan dan diatur pada kecepatan angin 2,86 m/s dan 3,43 m/s, pengamatan dilakukan hingga beban tersebut terangkat 10 cm dari posisi awal.
4. Melakukan pencatatan data yang meliputi waktu, kecepatan angin, putaran turbin, dan beban.
5. Mengulangi langkah percobaan 2 – 4. Hingga tiga kali.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Daya

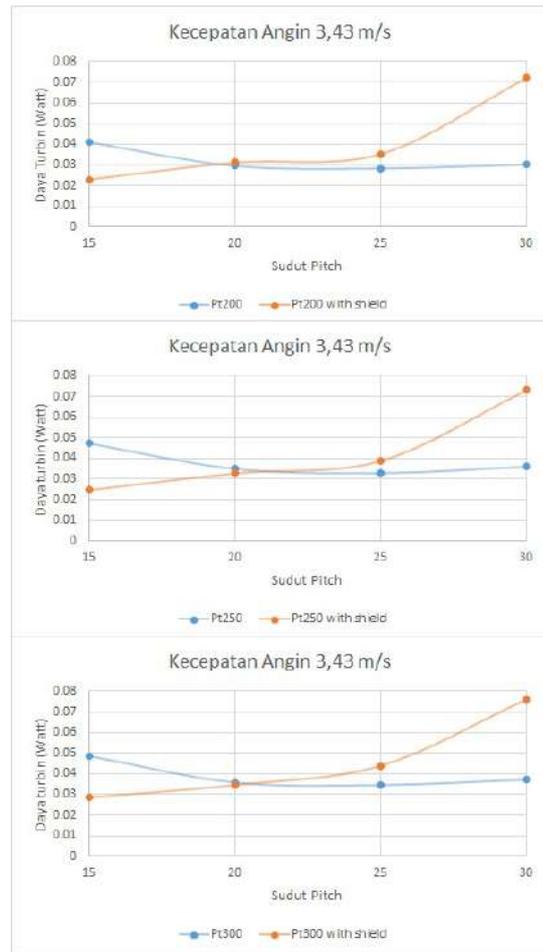
Daya turbin adalah daya yang dihasilkan oleh turbin angin setelah mengekstrak energi dari udara yang bergerak yang mengenai turbin dimana hasilnya dapat dilihat mulai Gambar 2 sampai 5.



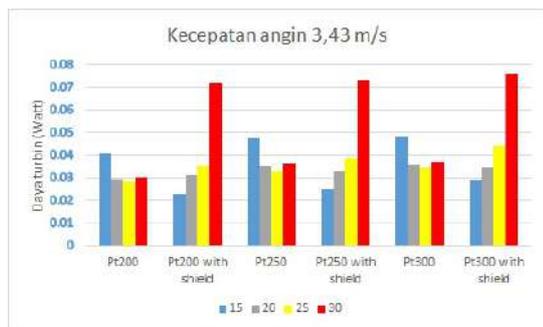
Gambar 2. Daya turbin angin terhadap sudut pitch pada kecepatan 2,86 m/s



Gambar 3. Komparasi daya turbin angin dengan dan tanpa wind deflector pada kecepatan 2,86 m/s



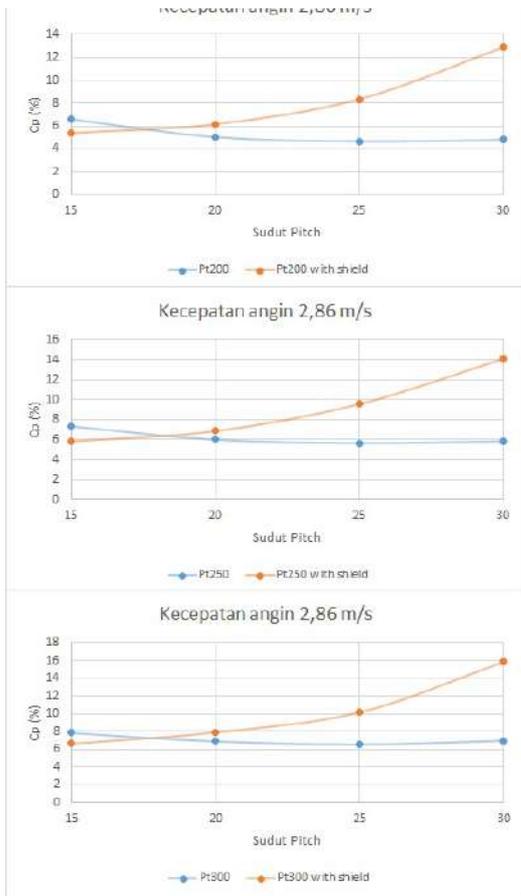
Gambar 4. Daya turbin angin terhadap sudut pitch pada kecepatan 3,43 m/s



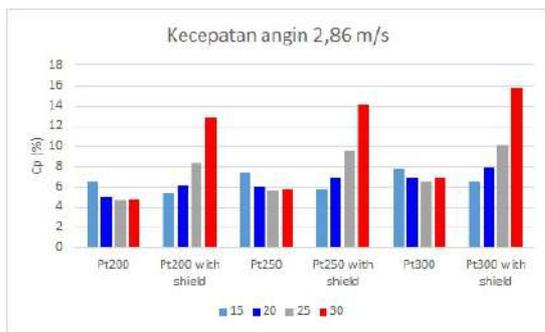
Gambar 5. Komparasi daya turbin angin dengan dan tanpa wind deflector pada kecepatan 3,43 m/s

Koefisien Unjuk Kerja Turbin (Cp)

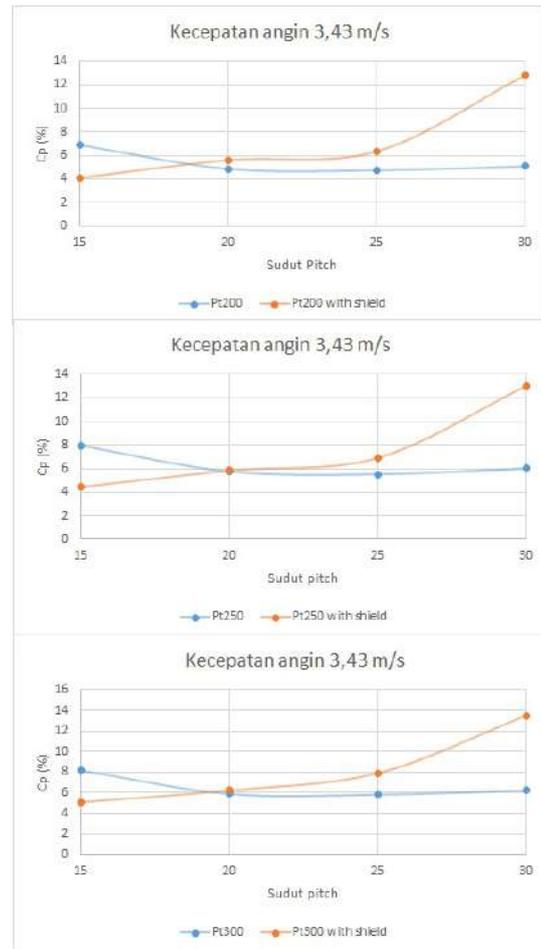
Koefisien unjuk kerja turbin adalah parameter yang menunjukkan seberapa besar potensi daya angin yang bisa diekstrak oleh turbin, dimana hasilnya dapat dilihat mulai Gambar 6 sampai 9.



Gambar 6. Nilai C_p terhadap sudut *pitch* pada kecepatan 2,86 m/s



Gambar 7. Komparasi Nilai C_p dengan dan tanpa *wind deflector* pada kecepatan 2,86 m/s



Gambar 8. Nilai C_p terhadap sudut *pitch*, pada kecepatan 3,43 m/s



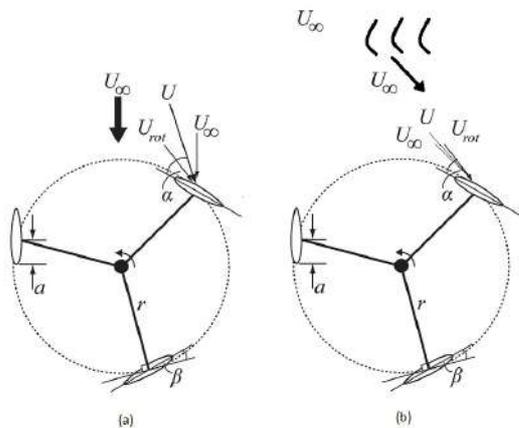
Gambar 9. Komparasi Nilai C_p dengan dan tanpa *wind deflector* pada kecepatan 3,43 m/s

Pembahasan

Dari paparan Gambar 2 sampai dengan Gambar 9 terlihat bahwa semakin besar sudut *pitch* maka kinerja turbin angin sumbu vertikal Darrieus tipe-H tanpa *wind deflector* berupa daya yang dihasilkan maupun koefisien kinerja turbin angin semakin turun. Hal ini diduga semakin besar sudut *pitch* menyebabkan sudut serang juga semakin besar akibatnya aliran udara semakin cepat berubah

menjadi turbulen sehingga fenomena *dynamic stall* muncul, hal ini ditandai oleh munculnya *shedding vortex* yang pusarannya berupa pasangan pusaran yang berpusar berlawanan satu pusaran di sekitar pusat turbin dan yang lain berkembang seterusnya dan yang lain berpusar di permukaan bawah bilah turbin (Fujisawa N, 2001).

A. Laneville (1986) menyatakan bahwa munculnya fenomena *dynamic stall* akan menyebabkan gaya *lift* yang merupakan gaya yang dominan menghasilkan torsi pada turbin sumbu vertikal juga menurun. Hal ini tentunya akan menurunkan daya yang dapat diekstrak oleh turbin angin sumbu vertikal. Penurunan daya turbin otomatis juga akan menurunkan koefisien kinerja turbin angin.



Gambar 10. Arah angin menimpa bilah turbin angin (a) tanpa dan (b) dengan *wind deflector*

Namun sebaliknya untuk turbin angin dengan *wind deflector* semakin besar sudut *pitch* maka kinerja turbin angin sumbu vertikal Darrieus tipe-H berupa daya yang dihasilkan maupun koefisien kinerja turbin angin semakin naik. Hal ini diduga akibat arah angin diubah oleh *deflector* sehingga sudut serang (α) yang dibentuk dari vektor kecepatan *absolute* (U) dengan garis *chord* bilah turbin angin lebih kecil daripada turbin angin tanpa *wind deflector* pada sudut *pitch* yang sama, dimana pada sudut serang yang terjadi diduga pada rentang profil bilah NACA 0018 memiliki nilai koefisien *lift* yang besar sehingga gaya *lift* bersih yang terjadi dari kombinasi perubahan sudut serang ke-3 bilah lebih besar daripada turbin angin tanpa *wind deflector*. Hal inilah yang menjadi penyebab terjadinya kenaikan daya yang dapat diekstraksi oleh turbin, kenaikan daya ini tentunya berkorelasi lurus dengan kenaikan koefisien kinerja turbin (C_p).

Dari paparan Gambar 3 dan Gambar 5 terlihat bahwa daya turbin terbesar yang dihasilkan untuk turbin angin sumbu vertikal Darrieus tipe-H tanpa *wind deflector* sebesar 0,0486 Watt pada kecepatan angin 3,43 m/s dan sudut serang 15° sedangkan turbin angin dengan *deflector* daya turbin terbesar yang dihasilkan sebesar 0,076 Watt pada sudut serang 30° . Jika dibandingkan daya turbin terbesar yang dihasilkan oleh turbin angin sumbu vertikal Darrieus tipe-H tanpa dan dengan *wind deflector*, terjadi peningkatan daya turbin angin yang dihasilkan dengan penambahan *wind deflector* sebesar 56,37 %

Untuk koefisien kinerja turbin angin dari paparan Gambar 7 dan Gambar 9 terlihat bahwa koefisien kinerja turbin angin terbesar yang dihasilkan untuk turbin angin sumbu vertikal Darrieus tipe-H tanpa *wind deflector* sebesar 8,18 % pada kecepatan angin 3,43 m/s dan sudut serang 15° sedangkan turbin angin dengan *deflector* koefisien kinerja turbin angin terbesar yang dihasilkan sebesar 13,5 % pada sudut serang 30° . Jika dibandingkan koefisien kinerja turbin angin terbesar yang dihasilkan oleh turbin angin sumbu vertikal Darrieus tipe-H tanpa dan dengan *wind deflector*, terjadi peningkatan koefisien kinerja turbin angin yang dihasilkan dengan penambahan *wind deflector* sebesar 65,03 %

KESIMPULAN

Dari uraian di atas dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

- Karakteristik kinerja turbin angin sumbu vertikal Darrieus tipe-H tanpa *wind deflector* berlawanan dengan turbin angin sumbu vertikal Darrieus tipe-H dengan *wind deflector* dimana untuk turbin angin sumbu vertikal Darrieus tipe-H tanpa *wind deflector* kinerja turun seiring bertambah besarnya sudut *pitch* sedangkan kinerja turbin angin sumbu vertikal Darrieus tipe-H dengan *wind deflector* meningkat seiring bertambah besarnya sudut *pitch*.
- Penambahan *wind deflector* dapat meningkatkan ekstraksi daya turbin sebesar 56,37% lebih besar daripada turbin angin tanpa *wind deflector*.
- Penambahan *wind deflector* dapat meningkatkan koefisien kinerja turbin angin sebesar 65,03% lebih besar daripada turbin angin tanpa *wind deflector*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Anonim, 2009, Import Premium Indonesia Tahun 2008, (Online) (www.pertaminatongkang.co.id di akses 12 April 2009).
2. Anonim, 2012, Pemerintah dalam Pengelolaan Energi Nasional online <http://bem.feb.ugm.ac.id/index.php/publication/kajian/66-pemerintah-dalam-pengelolaan-energi-nasional-7-10-2012>
3. 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>
4. A. Laneville, P. Vittecoq, Dynamic stall; The case of the sumbu vertikal wind turbine, ASME J. Sol. Energy Eng. 108 (1986) 140±145.
5. Armely dkk., 2004, Bumi Makin Panas, (Online) (http://www.pelangi.or.id/publikasi/2007/bumi_makin_panas.pdf diakses 27 mei 2008).
6. Chein, R., Chung, J.N., 1988. Discrete-vortex simulation of flow over inclined and normal plates. Computers and Fluids 16, 405–427
7. David J., Sheskin, 2000, Handbook of parametric and nonparametric statistical procedures, 2nd edition, Boca ranton, Chapman and Hall.
8. Dewan Riset Nasional, 2006, Arah Kebijakan Riset Nasional 2006 – 2009, Jakarta.
9. Fujisawa N, Shibuya S, 2001, Observations of dynamic stall on Darrieus windturbine bilahs, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 89.
10. Golecha, K., Eldho, T.I., Prabhu, S.V., 2011. Influence of the deflector plate on the performance of modified Savonius water turbine. Applied Energy 88, 3207–3217
11. Herlamba S., Indra. 2007. “Mesin Konversi Energi”. Surabaya: Unipress.
12. Irabu, K., Roy, J.N., 2007. Characteristics of wind power on Savonius rotor using a guide-box tunnel. Experimental Thermal and Fluid Science 32, 580–586.
13. Mohamed, M.H., Janiga, G., Pap, E., Thevenin, D., 2010. Optimization of Savonius turbines using an obstacle shielding the returning blade. Renewable Energy 35, 2618–2626
14. Pusdatin ESDM, 2011, *Indonesia Energy Outlook 2010*. (Online) (http://www.esdm.go.id/publikasi/indonesia-energy-outlook/ringkasan-eksekutif/doc_download/1255-ringkasan-eksekutif-indonesia-energy-outlook-2010.html), diakses pada tanggal 7 Oktober 2012).
15. Pusdatin ESDM, 2011, *KIndonesia Energy Outlook 2010 ey Indicator of Indonesia Energy and Mineral Resources*. (Online) (www.esdm.go.id/publikasi/statistik/doc_download/487-key-indicator-of-indonesia-energy-and-mineral-resources.html), diakses pada tanggal 27 Mei 2008).
16. Outlook energi indonesia 2011, http://www.bppt.go.id/index.php/unduh/unc-download/467/chk,94dca47a3fd72356e98c9e65ef607405/no_html,1/.
17. Ohya, Y., Karasudani, T., Sakurai, A., Abe, K., Inoue, M., 2008. Development of a shrouded wind turbine with a flanged diffuser. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 96, 524–539
18. Syahrial E, 2011, HANDBOOK of ENERGY & ECONOMIC STATISTICS of INDONESIA (<http://prokum.esdm.go.id/Publikasi/Handbook%20of%20Energy%20&%20Economic%20Statistics%20of%20Indonesia%20/Handbook%20of%20Energy%20&%20Economic%20Statistics%20ind%202011.pdf>).
19. Shaughnessy, B.M., Probert, S.D., 1992. Partially-blocked Savonius rotor. Applied Energy 43, 239–249