

INTERIOR LENGKUNG *DIFFUSER* UNTUK PENINGKATAN PERFORMANSI *DIFFUSER-AUGMENTED WIND TURBINE (DAWT)*

Deka W. Purwanto, Aulia MT Nasution
Program Studi S2 Teknik Fisika - FTI
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya
dekawahyu@ep.its.ac.id, anasution@ep.its.ac.id

ABSTRAK

Diffuser-Augmented Wind Turbine (DAWT) adalah sebuah konsep turbin angin dengan menggunakan selubung sebagai konsentrator, yang sangat cocok untuk diterapkan pada daerah berkecepatan angin rendah seperti halnya di Indonesia. Percobaan telah dilakukan untuk mengukur peningkatan kecepatan angin di dalam *diffuser* pada DAWT, yang berbentuk kerucut terpancung, dengan dua bentuk profil permukaan dalam (interior) berbeda. Konfigurasi interior yang dibandingkan adalah interior rata dengan interior lengkung. Pengukuran kecepatan angin pada sumbu *axial* menghasilkan peningkatan kecepatan relatif terhadap aliran masuk, yaitu 104% (posisi 3 cm dari masukan) untuk profil rata dan 130% (posisi 6 cm dari *inlet*, lokasi lengkung maksimum) untuk profil lengkung. Perbandingan terhadap hasil perhitungan dengan analisis konservasi-massa menghasilkan *error* sebesar 1%. Sementara itu peningkatan kecepatan angin maksimum terhadap konfigurasi rata adalah 26%. Dapat disimpulkan bahwa penambahan permukaan lengkung pada *diffuser* akan memberikan peningkatan kecepatan angin yang lebih baik dalam DAWT.

Kata kunci: *Diffuser-Augmented Wind Turbine (DAWT)*, interior lengkung, peningkatan kecepatan angin

ABSTRACT

The Diffuser-Augmented Wind Turbine (abbreviated as DAWT) is wind turbine concept with a shroud (also known as *diffuser*) as concentrator, which is regarded suitable to be implemented in areas with low wind-speed regimes, like most areas in Indonesia. Experiments have been accomplished to measure the *wind velocity augmentation* in the DAWT, which has a truncated cone configuration with two different interior's profiles, i.e. plain- and curved surface profile. Axial wind speed measurements result a maximum velocity augmentation (relative to inflow) of 104% (at position of 3 cm from inlet) and of 130% (at position of 6 cm from inlet) for plain- and curved surface profile, respectively. Comparison to calculation using conservation-of-mass analysis shows an error of 1%. Meanwhile in comparison to plain surface profile, the curved surface will yield an additional 26% augmentation. In conclusion, effort to add a *curved-surface* to the DAWT's interior profile can give a significant wind augmentation.

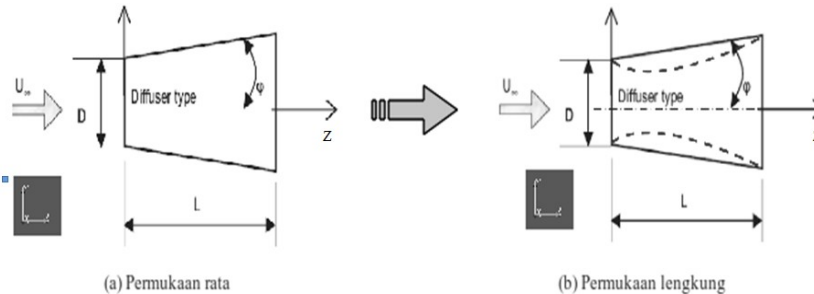
Key words: *Diffuser-Augmented Wind Turbine (DAWT)*, curved interior, wind velocity augmentation

PENDAHULUAN

Angin sebagai sumber energi alternatif telah lama digunakan dalam sejarah kehidupan manusia. Kecepatan angin di daratan Indonesia relatif lebih rendah dibandingkan di belahan bumi lain, seperti halnya di daerah subtropis. Kecepatan angin di daratan Indonesia rata-rata kurang dari 5 m/s [1]. Salah satu cara untuk memanfaatkan energi angin adalah dengan menggunakan turbin angin. Sayangnya kebanyakan turbin angin yang ada di pasaran adalah didesain untuk kecepatan angin yang tinggi - yang biasanya cocok untuk negara-negara sub-tropis di Eropa dan Amerika, yaitu rata-rata 10 m/s. Oleh karena itu untuk memanfaatkan energi angin di Indonesia lebih efektif diperlukan usaha yang lebih jeli lagi. Hingga saat ini ada dua pendekatan, yang pertama adalah dengan mengembangkan teknologi rotor yang sesuai dengan kecepatan rendah dan yang kedua adalah memanipulasi kecepatan angin sehingga memiliki *kecepatan lokal yang lebih tinggi*.

Salah satu konsep yang sedang berkembang adalah DAWT (*Diffuser-Augmented Wind Turbine*), yang merupakan pengembangan dari konsep *horizontal axis wind turbine* yang dilengkapi dengan selubung pada rotornya. Salah satu konsep yang ada adalah *flanged DAWT* (Ohya et al, 2008), dimana selubung yang berbentuk seperti kerucut terpancung dengan interior dalam rata, yang dilengkapi dengan sebuah *flange* pada bagian belakang selubung. Kinerja dari DAWT desain Ohya dengan penambahan flange ini bisa memberikan peningkatan kecepatan 1.6 hingga 2.4 kali kecepatan angin yang datang. Kinerja DAWT jenis ini tentunya masih dapat ditingkatkan lagi dengan mengubah profil permukaan interior DAWT. Ide ini diilhami dengan adanya fenomena bahwa suatu obyek dengan permukaan lengkung akan menimbulkan kecepatan udara lokal yang lebih tinggi pada permukaannya apabila dibandingkan dengan obyek yang memiliki profil permukaan yang datar, pada kondisi medan kecepatan angin yang sama. Efek dari penambahan permukaan lengkung terhadap

kecepatan angin di dalam *diffuser* tersebut akan dipelajari dengan membandingkan profil kecepatan angin terukur pada kedua jenis profil permukaan tersebut. Ide dari penelitian ini dapat digambarkan dalam Gambar-1 berikut. Dalam paper ini akan dilaporkan studi eksperimental untuk menyelidiki pengaruh profil interior lengkung dalam peningkatan kecepatan angin lokal dalam konfigurasi DAWT.



Gambar-1: Ilustrasi ide penelitian

DASAR TEORI

Diffuser Augmented Wind Turbine

Konsep ini merupakan pengembangan konsep *horizontal axis wind turbine* yang dilengkapi dengan selubung yang berfungsi sebagai konsentrator aliran angin, sehingga aliran menjadi lebih cepat. Salah satu konsep desain yang berkembang adalah *flange* DAWT, yaitu dengan konfigurasi selubung seperti kerucut terpancung interior rata dan *flange* di bagian belakang *diffuser* [2]. Penggunaan bentuk *diffuser* seperti kerucut terpancung bisa memberikan peningkatan kecepatan di dalam *diffuser*. Tambahan *flange* ini dimaksudkan untuk menimbulkan lebih banyak lagi turbulensi di belakang *diffuser* sehingga lebih menurunkan tekanan udara di dekat keluaran dan akhirnya memperbanyak aliran udara yang masuk ke *diffuser*. Cara lain untuk meningkatkan kecepatan di sebuah sistem tertutup seperti bagian dalam *diffuser* bisa dilakukan dengan mengurangi luas penampang aliran.

Hukum Konservasi Massa dalam sistem tertutup

Salah satu metode untuk melakukan analisa terhadap sistem dinamika fluida pada sistem DAWT ini adalah hukum konservasi massa, yaitu dengan menggunakan kerangka berpikir bahwa tidak ada perubahan massa aliran fluida dalam lingkup tertentu diamati. Ketika angin melalui interior *diffuser*, maka bisa diterapkan batasan sistem tertutup mulai dari *inlet* sepanjang interior *diffuser* sampai *outlet*. Laju aliran massa \dot{M} yang terjadi di antara dua titik di dalam *diffuser* bisa diwakili dengan persamaan (1), dimana \dot{m}_1, \dot{m}_2 adalah laju aliran massa pada titik 1 dan 2.

$$\dot{M} = \dot{m}_2 - \dot{m}_1 \quad (1)$$

Karena $\dot{M} = 0$ maka persamaan (1) menjadi:

$$\begin{aligned} \dot{m}_1 &= \dot{m}_2 \\ \frac{d}{dt} \rho V_1 &= \frac{d}{dt} \rho V_2 \\ \frac{d}{dt} \rho A_1 L_1 &= \frac{d}{dt} \rho A_2 L_2 \end{aligned} \quad (2)$$

dimana ρ adalah massa jenis dari aliran, V adalah volume yang dibentuk oleh luas penampang aliran A dan panjang lintasan L . Dengan mengasumsikan bahwa aliran adalah *incompressible* maka persamaan (1) bisa disederhanakan menjadi persamaan (3).

$$U_1 A_1 = U_2 A_2 \quad (3)$$

dimana U adalah kecepatan aliran.

Turbulence Intensity (TI)

Parameter ini merupakan salah satu dari analisa domain amplitudo atas data pengukuran dengan menggunakan *hotwire* anemometer. *Turbulence intensity* merupakan sebuah parameter yang menunjukkan tingkat turbulensi di suatu titik pengukuran, yang dengan kata lain menyatakan tingkat fluktuasi sebuah aliran. Sebuah aliran yang tenang akan memiliki *turbulence intensity* yang kecil.

Perhitungan parameter ini adalah sebagai berikut:

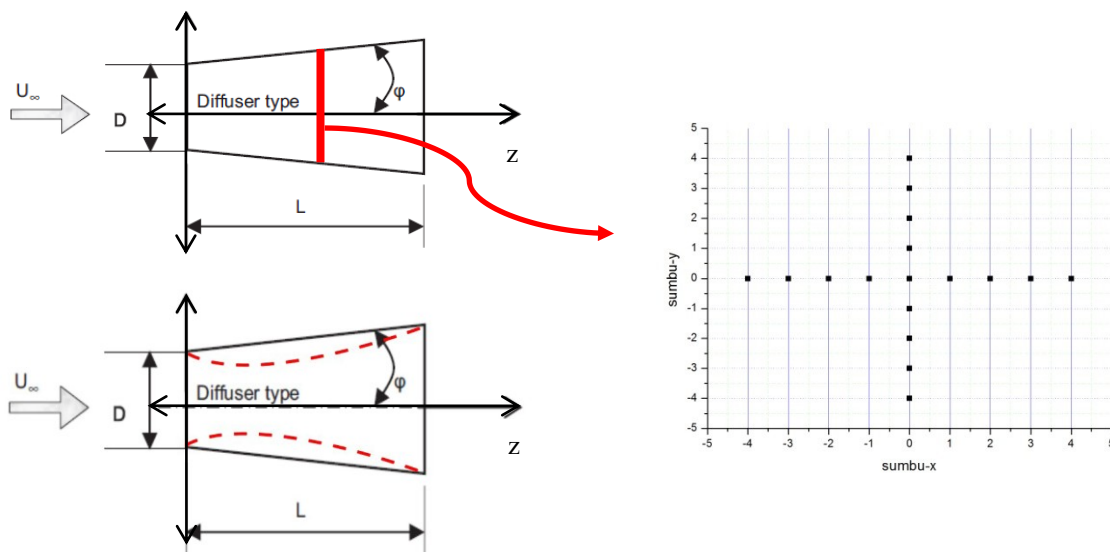
$$TI = \frac{u'}{U} \tag{4}$$

Dimana u' adalah standar deviasi dari pengukuran kecepatan aliran, dan U adalah rata-rata kecepatan angin terukur.

METODE PENELITIAN

Konfigurasi *diffuser* interior datar yang digunakan memiliki dimensi sebagai berikut: diameter *inlet* (D) 10 cm, panjang *diffuser* (L) 20 cm, dan sudut bukaan (ϕ) 3.718° . *Diffuser* ini diletakkan 10 cm dari sebuah saluran (*duct*) berukuran 10 x 10 cm yang mengeluarkan udara dengan aliran laminer sehingga aliran yang masuk ke *diffuser* adalah laminer. Sementara itu pada penambahan kelengkungan interior dalam dilakukan dengan posisi lengkung di jarak 6.24 cm dari *inlet* dan tinggi 1.52 cm. Sehingga diameter *diffuser* pada posisi kelengkungan maksimum berkurang menjadi 7.36 cm.

Percobaan dilakukan dengan mengukur kecepatan angin di dalam kedua *diffuser* yang memiliki profil permukaan yang berbeda diatas, dengan menggunakan anemometer dengan *hotwire sensor*. Pengukuran dilakukan di *Arbeitsgruppe Turbulenz, Windenergie, und Stokastik (TWiSt), Fakultät für Physik, Carl von Ossietzky Universität, Oldenburg* – Jerman. Pengukuran dilakukan pada beberapa titik pada bidang-bidang xy , yang terletak disepanjang sumbu- z , dimulai dari posisi 1 cm di depan *inlet* (yang dianggap merupakan kecepatan aliran masuk) hingga 2 cm dibelakang outlet (yang dianggap merupakan kecepatan aliran keluar). Secara skematis, lokasi titik-titik pengukuran diperlihatkan dalam Gambar-2 berikut.



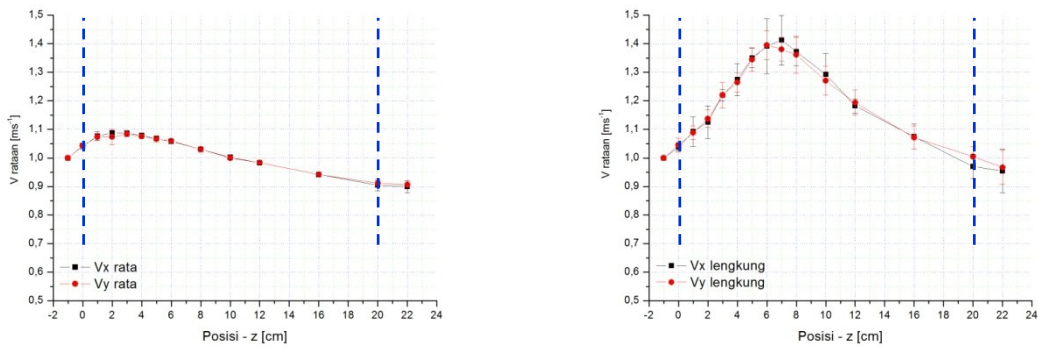
Gambar-2: Skema lokasi pengukuran kecepatan angin dengan hotwire anemometer

Dari data pengukuran bisa diturunkan parameter-parameter lain seperti penambahan kecepatan angin dan *turbulence intensity*. Dengan demikian profil peningkatan kecepatan angin dan aliran di dalam *diffuser* bisa diketahui, dan efek penambahan profil permukaan lengkung bisa dipelajari lebih lanjut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perbandingan rata-rata kecepatan angin lokal (relatif terhadap U_∞) untuk setiap perubahan posisi jarak lateral dalam arah sumbu- z dapat ditunjukkan dalam Gambar-3.

Hasil pengukuran diatas memperlihatkan bahwa pada kedua konfigurasi DAWT terjadi kenaikan kecepatan angin lokal (relatif terhadap U_∞), dimulai dari tepi *inlet* selubung DAWT hingga mencapai nilai maksimum pada posisi lateral tertentu dari *inlet*. Setelah mencapai kecepatan maksimum, perlahan teramati penurunan gradual kecepatan lokal pada lokasi sisa panjang pada selubung, hingga mencapai kecepatan lebih rendah dari U_∞ .



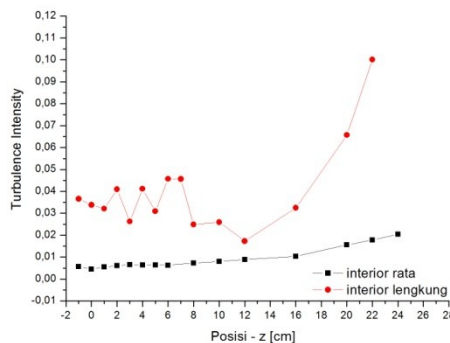
Gambar-3: Perbandingan rata-rata kecepatan angin lokal untuk setiap perubahan posisi lateral-z dalam selubung DAWT (daerah dibatasi garis putus-putus)

Pada konfigurasi interior rata, kenaikan kecepatan maksimum terjadi hingga 10 % pada lokasi disekitar $1 < z < 4$ cm. Hasil ini sesuai dengan hasil pengukuran yang telah dilakukan oleh [2]. Sementara itu adanya perubahan kelengkungan interior menunjukkan kenaikan kecepatan angin lokal (relatif terhadap U_{∞}) hingga sekitar 35 - 40 % pada lokasi disekitar $5 < z < 8$ cm. Penambahan konfigurasi lengkung pada interior selubung DAWT berkontribusi pada peningkatan kecepatan lokal maksimum dalam selubung hingga 25 – 30 %.

Puncak kelengkungan interior lengkung yang digunakan adalah berada pada $z = 6.24$ cm, dengan tinggi lengkung adalah 1.52 cm. Berdasarkan data tersebut serta kecepatan axial pada inlet, maka bisa dihitung kecepatan angin pada titik $z = 6.24$ cm pada sumbu axial. Diameter penampang selubung di lokasi $z = 6.24$ cm pada selubung DAWT dengan profil permukaan rata adalah sebesar 10.81 cm. Adanya tambahan profil lengkung setinggi 1.52 cm ini, maka diameter penampang menjadi 7.77 cm. Dengan menggunakan hubungan dalam hukum konservasi massa, maka di lokasi $z = 6.24$ cm terukur kecepatan angin sebesar 5.38 m/s (setara dengan peningkatan kecepatan angin lokal sebesar 129% dari U_{inlet}). Sementara dari hasil pengukuran pada di lokasi $z = 6.24$ cm, diperoleh bahwa terjadi kenaikan kecepatan angin sebesar 130%.

Parameter lain yang dimasukkan dalam analisa adalah *turbulence intensity (TI)*. Parameter ini untuk seberapa besar fluktuasi kecepatan aliran angin dalam selubung pada kedua profil permukaan yang dipelajari ini. Parameter *turbulence intensity* ini secara tidak langsung bisa merepresentasikan Reynold number [6], dimana nilainya sebanding dengan rata-rata kecepatan aliran, yang bisa digunakan untuk menentukan tekanan statis di titik tertentu berdasar persamaan Bernoulli.

Hasil perhitungan *turbulence intensity* pada sumbu axial bisa dilihat pada Gambar-4. Dengan melihat TI pada permukaan rata tampak bahwa aliran adalah bersifat tunak dengan adanya peningkatan TI yang berangsur-angsur naik sampai pada di belakang *diffuser*. Sedangkan pada permukaan lengkung diperoleh TI yang rata-rata lebih tinggi dibandingkan dengan profil permukaan rata yang kemudian turun setelah melewati konfigurasi lengkungan. Dengan adanya TI yang lebih tinggi di belakang *diffuser*, hal menunjukkan bahwa adanya turbulensi di belakang *diffuser* yang akan menurunkan tekanan statis pada *outlet diffuser*, sehingga dan menyebabkan efek hisapan udara yang lebih kuat untuk masuk ke dalam *diffuser*.



Gambar 4. turbulence intensity

SIMPULAN

Penambahan permukaan lengkung pada interior *diffuser* akan membuat aliran angin jadi lebih cepat dibandingkan dengan permukaan rata. Turbulensi yang lebih besar di belakang *diffuser* akan menyebabkan tekanan udara pada outlet *diffuser* turun, sehingga timbul efek menyedot udara masuk ke *diffuser*. Efek peningkatan kecepatan yang lebih baik tampak pada permukaan lengkung karena adanya penyempitan area penampang aliran selain efek menyedot udara ke *diffuser*. Secara umum dapat disimpulkan bahwa penambahan profil lengkung akan meningkatkan kecepatan angin maksimum hingga menjadi 30% .

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim penulis pada kesempatan ini ingin mengucapkan terima kasih pada Prof. Joachim Peinke dan seluruh *wissenschaftliche Mitarbeiter* pada *Arbeitsgruppe Turbulenz, Windenergie, und Stokastik (TWiSt)*, *Fakultät für Physik, Carl von Ossietzky Universität Oldenburg* – Jerman, atas segala dukungan fasilitas yang diperlukan dalam studi ini. Ucapan terima kasih juga ditujukan pada Herr Michael Golba (PPRE) dan Fr. Britta Stigge (DevSus), serta pada DAAD atas pendanaan kegiatan studi ini melalui skema kerjasama *Network for Developing Sustainability* (cluster program of *Renewable Energy*). Studi ini dilakukan dalam kerangka kerjasama *master-student exchange* antara Jurusan Teknik Fisika, FTI- ITS dengan *Postgraduate Programme Renewable Energy (PPRE) University of Oldenburg* – Jerman.

DAFTAR PUSTAKA

1. Herliyani Suharta. 2007. *Energy Data Indonesia, Presentation*, B2TE – BPPT (The Center of Energy Technology – The Agency of Assessment and Application of Technology) Indonesia
2. Y. Ohya, T. Karasudani, A. Sakurai, K. Abe, M. Inoue (2008), “Development of a shrouded wind turbine with a flanged diffuser”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 92, hal 524-539
3. K. Abe, Y. Ohya (2004), “An investigations of flow fields around flanged diffuser using CFD”, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96, hal 315-330
4. A.N. Alexandrou (2001), *Principles of Fluid Mechanics*, Prentice-Hall International, Inc.
5. Finn E. Jorgensen (2002), “How to measure turbulence with hot-wire anemometers – a practical guide”, Dantec Dynamics.
6. A. Adamkowski, Z. Krzemianowski, W. Janicki, “Flow rate measurement using pressure-time method in hydropower plant curved penstock”.