

Penggunaan Diffuser Pada Turbin Angin Poros Horisontal Di Daerah Pemukiman Dengan Berbagai Variasi Geometri

Warjito dan Agus Irawan

Laboratorium Mekanika Fluida, Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik
Universitas Indonesia
Kampus Baru UI – 16424, Depok
Telp: 021-7270032
E-mail: warjito@eng.ui.ac.id

Abstrak

Salah satu upaya pemanfaatan energi terbarukan untuk memenuhi kebutuhan energi listrik adalah dengan menggunakan turbin angin. Namun demikian pemanfaatan turbin angin skala mikro di daerah perkotaan Indonesia mempunyai kendala yaitu kecepatan angin yang rendah dan tingkat turbulensi yang tinggi. Diperlukan perbaikan dalam desain dan *engineering* agar turbin angin skala mikro dapat bekerja lebih efisien pada kondisi tersebut. Paper ini melaporkan hasil penelitian pengaruh penggunaan selubung difuser pada turbin angin poros horisontal. Penelitian ini bertujuan untuk memahami pengaruh difuser pada karakteristik angin sebelum mencapai turbin dan geometri efektif difuser dan *flange* yang memberikan peningkatan maksimal pada kecepatan angin. Penelitian dilakukan dengan memanfaatkan software CFD komersil. Setelah melakukan simulasi CFD pada berbagai variasi geometri diffuser, didapatkan bentuk atau desain yang sesuai untuk digunakan pada turbin angin skala mikro. Difuser dengan perbandingan diameter dan panjang empat berbanding lima, sudut difuser 12° dan tinggi *flange* setengah dari panjang difuser, memberikan peningkatan kecepatan pada sumbu difuser sebesar 1,8 kali kecepatan *free stream*. Hasil penelitian ini memberikan pemahaman bahwa penggunaan difuser dapat meningkatkan kecepatan angin pada turbin hingga mencapai *cutoff velocity* meskipun kecepatan *free stream* rendah.

Keywords: Turbin angin poros horisontal, diffuser, *flange*, *cutoff velocity*, CFD.

Pendahuluan

Potensi energi terbarukan di Indonesia cukup besar sehingga mempunyai peluang untuk dikembangkan (DESDM, 2003). Salah satu potensi energi terbarukan yang dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kebutuhan energi di Indonesia adalah energi angin. Dibandingkan dengan sumber energi alternatif lainnya ekstraksi energi dari angin memiliki *carbon footprint* yang relatif rendah (United Kingdom Parliamentary Office of Science and Technology, 2006). *Carbon footprint* yang dimaksud disini adalah emisi CO₂ yang dihasilkan dari keseluruhan proses produksi turbin sampai dengan operasi pemanfaatan sumber energi tersebut. Untuk Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) *carbon footprint* meliputi proses pembuatan turbin, generator, konstruksi, dan operasi dari SKEA.

Kebutuhan akan listrik saat ini sangat besar terutama untuk daerah perkotaan atau pemukiman. Karena mayoritas populasi manusia tinggal di daerah perkotaan, penerapan turbin angin skala mikro memiliki potensi untuk memberikan kontribusi yang signifikan dalam penggunaan energi terbarukan.

Turbin angin generasi mikro sudah mulai digunakan pada perumahan dan memasangnya di atap rumah. Namun dari survey dan studi literatur dari Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), pengembangan teknologi PLTB di Indonesia menghadapi beberapa masalah penting yang harus dipecahkan karena menghambat pengembangan dan mengurangi minat masyarakat untuk memakai energi angin ini, yaitu: (1) **rendahnya distribusi kecepatan angin di Indonesia.** (2) **Besarnya fluktuasi (turbulensi) kecepatan angin di Indonesia.** Yang berarti profil kecepatan angin selalu berubah secara drastis dengan interval yang cepat.

Kecepatan angin di Indonesia pada umumnya yaitu 3 – 5 m/detik (DESDM, 2003). Sedangkan kebanyakan turbin angin yang ada di pasaran didesain untuk kecepatan angin yang tinggi. Ada dua pendekatan yang mungkin dilakukan, yaitu dengan mengembangkan teknologi rotor yang sesuai dengan kecepatan rendah dan memanipulasi kecepatan angin sehingga memiliki kecepatan lokal yang lebih tinggi (Wahyu, D., Purwanto, 2011).

Daya yang dihasilkan dari turbin angin sebanding dengan pangkat tiga dari kecepatan angin. Salah satu dari sekian banyak konsep untuk turbin angin dengan fitur peningkatan kecepatan adalah Diffuser Augmented Wind Turbine (DAWT) (Philips, D. G, 2003). Selubung ini berperan dalam mengumpulkan aliran dan mempercepat kecepatan angin yang melewati sudu (*blade*) turbin angin. Kinerja dari sebuah DAWT dengan penambahan flanged dapat memberikan peningkatan kecepatan 1,6 hingga 2,4 kali kecepatan angin yang datang (Ohya, Y. dkk, 2008). Sehingga diharapkan dengan kecepatan angin Indonesia yang rendah dan turbulensinya tinggi masih bisa mendapatkan daya keluaran yang lebih besar. Dengan begitu ketergantungan akan energi fosil dapat dikurangi.

Efek atau pengaruh dari pemakaian selubung berupa diffuser inilah yang akan dipelajari dari penelitian ini. Pengaruh pemakaian diffuser terhadap peningkatan aliran kecepatan ditinjau dari variasi geometri diffuser yang digunakan. Variasi geometri diffuser tersebut diantaranya yaitu variasi kemiringan sudut diffuser, rasio L/D, penggunaan inlet, dan rasio h/D. Perangkat lunak yang berbasis CFD digunakan untuk memodelkan aliran kecepatan angin yang melalui diffuser untuk membantu menganalisis desain turbin angin yang cocok digunakan di daerah perumahan.

Metoda Eksperimen & Fasilitas Yang Digunakan

Metoda penelitian digunakan secara garis besar yaitu metoda analisa, simulasi, dan perhitungan secara matematis yang tahapan-tahapannya sebagai berikut:

Studi Literatur

Studi literatur yang dilakukan berkaitan dengan konsep turbin angin dan penggunaan selubung turbin angin. Selain itu dilakukan studi tentang teori desain diffuser yang mencakup bentuk dan geometri diffuser, serta profil kecepatan dan tekanan. Juga dilakukan studi khusus tentang teori dan metode analisis pada CFD.

Pengumpulan Data

Data-data yang dibutuhkan seperti pada penelitian ini yaitu kecepatan rata-rata angin di Indonesia khususnya daerah pemukiman, geometri diffuser, hasil penelitian sebelumnya dan lain-lain.

Data Kecepatan Angin

Berdasarkan data yang diperoleh dari Departemen Energi dan Sumber Daya Manusia tahun 2003 [1], kecepatan rata-rata angin di Indonesia sekitar 3-5 m/s. Pemodelan diffuser menggunakan turbin angin skala kecil dengan diameter diffuser 800 mm. Selanjutnya dilakukan berbagai variasi mulai dari sudut kemiringan, rasio L/D, penambahan inlet dan rasio h/D. Untuk

simulasi CFD digunakan skala 1:1 (sesuai ukuran sebenarnya).

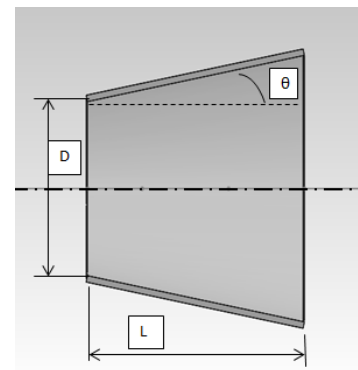
Desain Diffuser

Pada Langkah ini, dibuat beberapa model yang nantinya disimulasikan dan dilihat model mana yang memiliki nilai validasi dan verifikasi mendekati pada nilai perhitungan yang memiliki tingkat peningkatan kecepatan angin paling tinggi.

Desain dari diffuser bervariasi berdasarkan geometri. Penentuan variasi desain diffuser ditentukan dari penelitian-penelitian sebelumnya. Penelitian ini dilakukan untuk mendapatkan model desain diffuser yang paling optimal untuk digunakan pada turbin angin di daerah pemukiman.

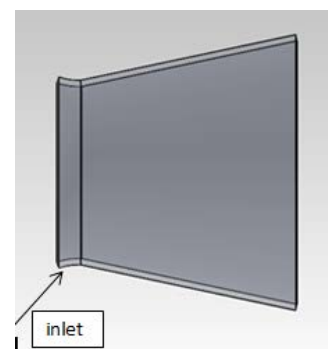
Variasi yang dilakukan pada geometri diffuser diantaranya yaitu:

- Variasi sudut kemiringan diffuser: 4°, 8°, 12°, 16°, dan 20°.
- Rasio L/D: 1; 1,25; 1,5; 1,75; dan 2.



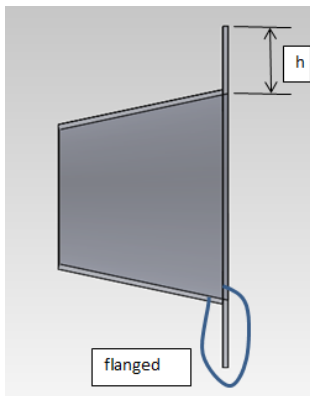
Gambar 1. Skema diffuser

- Variasi bentuk inlet pada diffuser.



Gambar 2. Diffuser dengan inlet

- Rasio h/D: 0,125; 0,250; 0,375; 0,5; dan 0,625.



Gambar 3. Diffuser dengan flange

Simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD)

Di dalam pemodelan CFD, dilakukan pemodelan diffuser secara 2-D dengan berbagai variasi desain yang telah ditentukan. Pemodelan dilakukan dengan Solidworks 2011 dan disimulasikan secara CFD dengan Flow Simulation 2011.

Setelah geometri dari selubung dibuat, maka langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi dengan memasukkan input-input variabel dan parameter – parameter yang menjadi batas pada simulasi. Hasil yang didapat berupa tampilan geometri yang memiliki plot, kontur, vektor, kisaran tekanan dan kecepatan angin dan lain sebagainya tergantung dengan apa yang akan dianalisa.

Pada langkah ini, variabel yang dimasukkan adalah data kecepatan angin pada free stream. Fluida yang digunakan adalah udara. Asumsi dalam simulasi ini adalah lingkungan dalam kondisi ideal.

Model selubung turbin angin yang disimulasikan sesuai dengan variabel data. Untuk mencari nilai peningkatan kecepatan yang paling tinggi di dalam selubung tersebut, maka diperlukan variasi data, yaitu panjang (L) dari selubung, diameter (D) dari selubung dan dari geometri flange selubung.

Yang dimasukkan dalam wizard adalah, jenis fluida yang digunakan, kecepatan angin free stream. Simulasi dilakukan pada beberapa model dengan geometri selubung yang berbeda-beda dan dengan kecepatan angin yang tetap. Setelah melakukan pada wizard, kemudian tentukan kondisi batas pada computational domain, dan menentukan goal nilai velocity pada sumbu Y.

Setelah selesai, tampilkan penampakan tekanan dan kecepatan. Untuk memperlihatkan karakteristik fluida tersebut pada daerah hitungan (computational domain), serta tampilan goal untuk selanjutnya disimpan. Apabila telah disimpan, lanjut pada model selubung lainnya dengan geometri model yang berbeda dibanding model yang sebelumnya.

Hasil dan Pembahasan

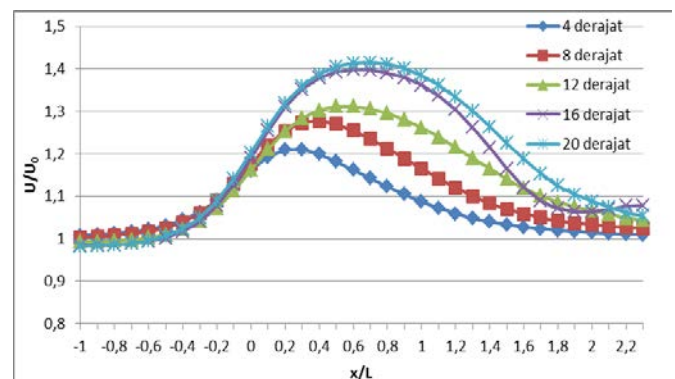
Variasi Sudut Kemiringan Diffuser

Untuk mendapatkan data sudut kemiringan diffuser yang dimodelkan dalam CFD, maka harus diketahui diameter diffuser (D) dan panjang diffuser (L) terlebih dahulu. Seperti batasan masalah yang telah ditentukan bahwa nilai dari diameter diffuser adalah tetap yaitu 800 mm. Sedangkan untuk panjang diffuser dipakai nilai 1000 mm atau rasio L/D 1,25 sebagai data awal. Berikut geometri dan data awal yang digunakan untuk mendapatkan data dari pengaruh sudut kemiringan diffuser:

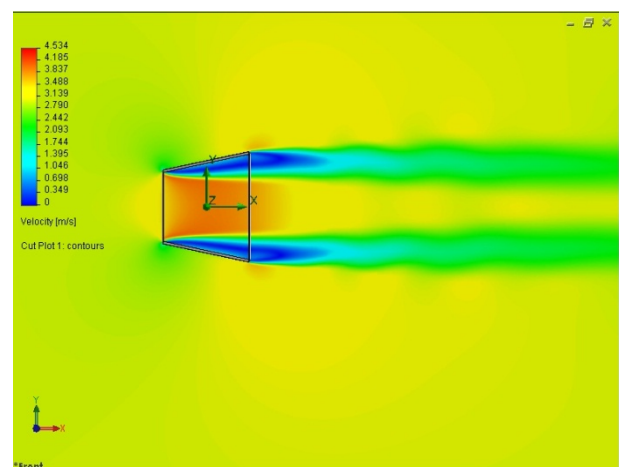
$$L = 1000 \text{ mm} \quad V = 3 \text{ m/s}$$

$$D = 800 \text{ mm} \quad \phi = 4^{\circ}, 8^{\circ}, 12^{\circ}, 16^{\circ}, 20^{\circ}$$

Dari **Gambar 4**, kenaikan kecepatan terbesar ada di titik 3 atau tepat pada inlet diffuser (pada sudut yang berbeda) dan pada sudut 12° . Peningkatan kecepatan pada centerline bertambah seiring dengan perbesaran sudut kemiringan diffuser. Kenaikan kecepatan maksimum 1,2 – 1,4 dan berada pada 0,2 – 0,6 dari inlet.



Gambar 4. Perbandingan karakteristik kecepatan pada centerline diffuser terhadap variasi sudut



Gambar 5. Cutplot velocity pada sudut kemiringan 12°

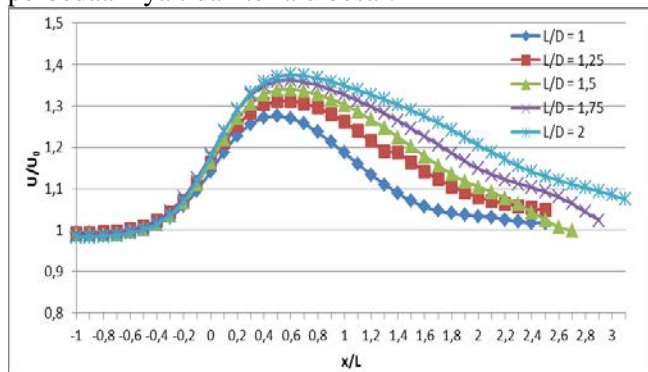
Perbandingan Rasio L/D

Setelah mendapatkan data mengenai pengaruh sudut kemiringan terhadap kecepatan aliran dan menentukan besar sudut kemiringan, selanjutnya adalah menentukan rasio L/D atau perbandingan panjang diffuser.

Dengan

- D = 800 mm V = 3 m/s
- $\phi = 12^0$ L = 800mm, 1000 mm, 1200 mm, 1400 mm, 1600 mm

Gambar 6 menunjukkan perbedaan peningkatan kecepatan pada masing-masing rasio L/D. Pada titik 3(centerline) pada masing-masing rasio memiliki selisih sekitar 0,1, hal ini bisa disimpulkan jika perbedaannya tidak terlalu besar.



Gambar 6. Perbandingan karakteristik kecepatan pada centerline diffuser terhadap variasi L/D

Perbandingan Rasio h/D

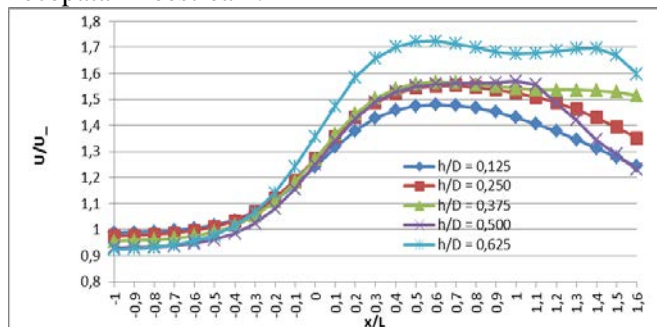
Setelah menentukan besar sudut kemiringan dan rasio L/D kemudian disimulasikan model dengan menggunakan penambahan flange, hasil simulasi berupa perbandingan dengan besar rasio h/D yang berbeda beda dan tanpa penggunaan inlet.

Dengan,

- D = 800 mm L = 1000 mm
- V = 3 m/s h = 100 mm, 200 mm, 300 mm, 400 mm, 500 mm

$\phi = 12^0$

Dari **Gambar 7**, peningkatan kecepatan terbesar ada pada model diffuser dengan rasio h/D sebesar 0,625 dengan mengalami peningkatan sebesar 1,72 kali dari kecepatan freestream.



Gambar 7. Grafik kecepatan pada titik plot dengan variasi rasio h/D

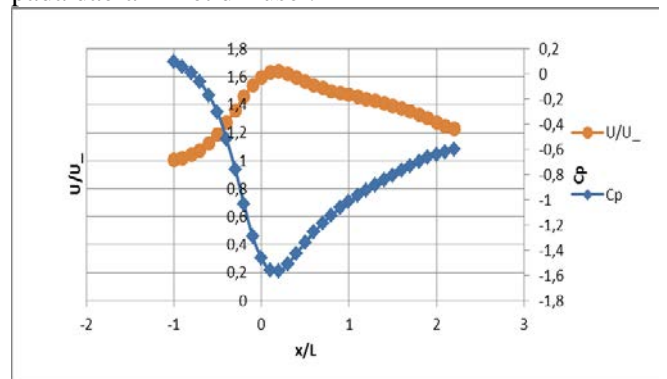
Penggunaan inlet dan flange

Setelah menentukan besar sudut kemiringan dan rasio L/D kemudian disimulasikan model dengan menggunakan penambahan flanged, hasil simulasi berupa perbandingan dengan besar rasio h/D yang berbeda beda dan menggunakan inlet.

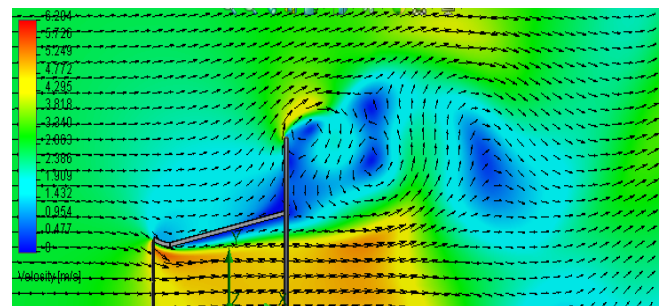
Dengan,

- D = 800 mm
- V = 3 m/s
- $\phi = 12^0$
- L = 1000 mm

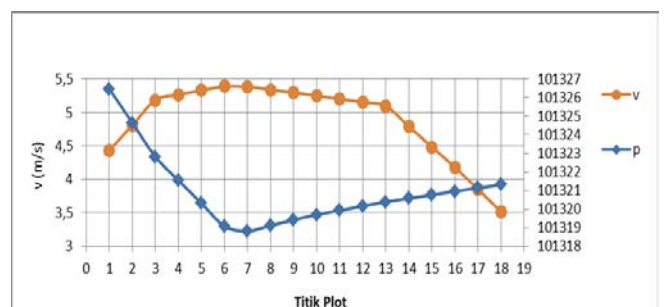
Berdasarkan perbandingan rata-rata distribusi kecepatan pada daerah inlet dan pada point 8 (kecepatan tertinggi pada centerline) maka dipilih letak untuk menempatkan rotor dari turbin angin yaitu pada daerah inlet diffuser.



Gambar 8. Grafik kecepatan pada titik plot pada centerline

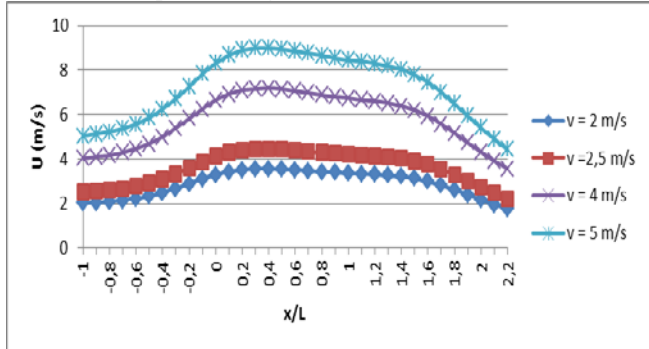


Gambar 9. Plot distribusi kecepatan di dalam selubung

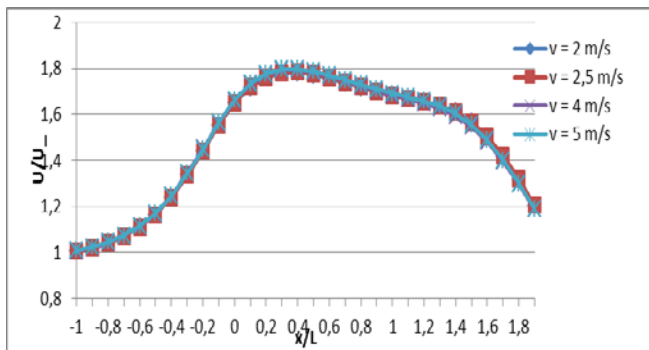


Gambar 10. Grafik kecepatan dan tekanan pada diffuser dengan inlet dan flange

Variasi Kecepatan Angin Freestream



Gambar 11. Distribusi kecepatan angin yang di centerline pada berbagai kecepatan



Gambar 12. Karakteristik peningkatan kecepatan angin yang melalui centerline

Gambar 11 menunjukkan distribusi kecepatan angin di centerline yang melalui diffuser. Pada **Gambar 12** memperlihatkan bahwa peningkatan kecepatan pada diffuser dengan inlet dan flange tetap yaitu sebesar 1,8.

Perhitungan Daya

Untuk mendapatkan besarnya daya yang dihasilkan oleh turbin angin dengan selubung pada daerah pemukiman digunakan data sekunder yaitu spesifikasi turbin angin. Spesifikasi turbin angin yang digunakan yaitu Turbin angin LAGG 1 kW. Berikut adalah spesifikasi dari turbin angin LAGG 1 kW:

- * Rated power : 1 kW
- * Swept Area : 7,07 m²
- * Cut in speed : 2,5 m/s
- * Rated wind speed : 8,35 m/s
- * Rotor diameter : 3 m
- * Cp : 0,4

Berdasarkan spesifikasi tersebut bahwa dengan kecepatan angin 8,35 m/s dapat menghasilkan daya sebesar 1 kW dengan diameter rotor 3 m.

Dikarenakan diameter rotor pada turbin angin LAGG 1 kW sebesar 3 m, sedangkan diameter diffuser yang akan digunakan yaitu 0,8 m maka diasumsikan turbin angin tersebut dibuat pada skala yang lebih kecil dengan diameter rotor yaitu 0,78 m. Sehingga spesifikasinya menjadi:

- * Rotor diameter : 0,78 m
- * Cp : 0,4
- * Swept area : 0,48 m²

Dengan rated wind speed sebesar 8,35 m/s, turbin angin yang telah diperkecil tersebut mampu menghasilkan daya sebesar:

$$P = \frac{1}{2} C_p \cdot \rho \cdot A \cdot U^3$$

$$P = \frac{1}{2} 0,4 \cdot \rho \cdot 0,48 \cdot (8,35)^3 = 70 \text{ W}$$

Jika turbin angin tersebut ditambahkan diffuser, maka daya yang dihasilkan yaitu:

U free stream : 8,35 m/s
 U di inlet diffuser : 14,55 m/s

$$P = \frac{1}{2} C_p \cdot \rho \cdot A \cdot U^3$$

$$P = \frac{1}{2} 0,4 \cdot \rho \cdot 0,48 \cdot (14,55)^3 = 371 \text{ W}$$

Peningkatan daya yang dihasilkan mencapai 5,3 kali daya awal.

Power coefficient untuk sistem turbin angin dengan diffuser ini yaitu

$$C_p = P / (\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^3)$$

$$C_p = 371 / (\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot 0,48 \cdot 8,35^3)$$

$$C_p = 2,11$$

Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh beberapa kesimpulan:

- Pada selubung jenis diffuser peningkatan kecepatan sebanding dengan besarnya sudut diffuser.
- Peningkatan kecepatan juga berbanding lurus dengan rasio L/D.
- Dengan penambahan flange pada daerah outlet diffuser dapat menghasilkan kecepatan hingga 1,6 kali dari kecepatan freestream.
- Dari hasil simulasi didapatkan geometri dari diffuser yang cocok bagi skala pemukiman dengan rasio L/D sebesar 1,25, sudut diffuser 12°, dan rasio h/D sebesar 0,625 yang menghasilkan kecepatan hingga 5,2 m/s atau meningkat 1,6 kali dari kecepatan free stream.
- Pada selubung diffuser, penempatan rotor sebaiknya ditempatkan pada sisi inlet diffuser mengingat pada titik tersebut terjadi peningkatan yang signifikan.

Nomenklatur

- P daya (Watt)
- L panjang difuser (m)
- D diameter (m)
- h tinggi flange (m)
- U velocity (ms⁻¹)
- U0 velocity freestream (ms⁻¹)
- x panjang lintasan (m)
- Cp koefisien daya
- p pressure (N m⁻²)
- A swept area (m²)

Greek letters

Φ sudut diffuser
 ρ massa jenis (kg m^{-3})

Referensi

DESDM. Kebijakan Pengembangan Energi Terbarukan dan Konservasi Energi (Energi Hijau). Jakarta (2003)

United Kingdom Parliamentary Office of Science and Technology. *Postnote on Carbon Footprint of Electricity Generation*. November (2006)

DESDM. *Blueprint* Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025. Jakarta (2005)

Kusdiana. *Kondisi Riil Kebutuhan Energi Di Indonesia Dan Sumber-Sumber Energi Alternatif Terbarukan*. Bogor (2008)

Internasional Energy Agency – IEA. *World Energy Outlook 2008*.

Wahyu, D., Purwanto. *Analisa Variasi Geometri Terhadap Kinerja Diffuser pada Diffuser Augmented Wind Turbine*. ITS. Surabaya. (2011)

Phillips, D. G. *An Investigation on Diffuser Augmented Wind Turbine Design*. Auckland, New Zealand. Doctoral Thesis with the University of Auckland. (2003)

Ohya, Y., Karasudani, T., Sakurai, A., Abe, K. and Inoue, M.. *Development of a shrouded wind turbine with a flanged diffuser*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2008. **96**: p. 524-53