

Studi Eksperimental Pengaruh Penambahan Diffuser Terhadap Unjuk Kerja Model Turbin Angin Bersudu *Loopwing* Dengan Variasi Rasio Luas Penampang Diffuser

Hermawan, M.Agung Bramantya, Lukito Ardhi Nugroho

Jurusan Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta, 55281

E-mail : hermawan_ugm@yahoo.com, bramantya99@gmail.com, lukito.ardhi@gmail.com

Abstrak

Turbin angin bersudu *loopwing* saat ini masih jarang pemanfaatannya, meskipun sebenarnya turbin angin tipe ini memiliki beberapa keunggulan, diantaranya adalah mampu bekerja pada putaran rendah, tidak berisik, dan efisiensi yang tinggi. Penambahan diffuser pada turbin angin berpotensi akan mampu meningkatkan unjuk kerja turbin angin.

Pada penelitian ini akan diteliti seberapa besar pengaruh penambahan diffuser pada unjuk kerja model turbin angin bersudu *loopwing*. Penelitian dilakukan dengan menggunakan model turbin angin bersudu *loopwing* dengan diameter 50 cm, menggunakan variasi diffuser dengan rasio luas penampang yang berbeda pada parameter panjang diffuser yang berbeda dan panjang diffuser konstan. Parameter panjang diffuser yang digunakan adalah 70 cm, 80 cm, 90 cm, sehingga diperoleh rasio luas penampang (β) 3,8, 4,1, 4,7. Untuk diffuser dengan panjang konstan (90 cm) menggunakan rasio luas penampang (β) 4,7, 5,3, dan 5,9. Penelitian dilakukan dilaboratorium dengan bantuan sebuah *stand fan* sebagai sumber anginnya. Model turbin angin diuji pada 3 variasi kecepatan angin yakni, 4,08 m/s, 4,81 m/s, dan 5,99 m/s. Unjuk kerja model turbin angin yang dianalisa pada percobaan ini adalah meliputi daya, koefisien daya, torsi, putaran poros, *tip speed ratio*, *cut in speed*, dan koefisien torsi.

Dari percobaan ini, dengan penambahan diffuser diperoleh hasil bahwa akan terjadi peningkatan kecepatan angin di depan model turbin angin bersudu *loopwing*, sehingga mampu meningkatkan unjuk kerja model turbin angin tersebut. Semakin besar rasio luas penampang diffuser yang dipergunakan, maka unjuk kerja turbin angin akan semakin meningkat. Model diffuser yang menghasilkan unjuk kerja model turbin angin bersudu *loopwing* terbaik adalah model diffuser dengan rasio luas penampang 5,3.

Kata Kunci : turbin *loopwing*, diffuser, rasio luas, *tip speed ratio*, *cut in speed*, koefisien torsi.

Pendahuluan

Penggunaan energi alternatif merupakan suatu topik yang mulai banyak dibahas. Hal ini disebabkan karena teknologi makin berkembang yang menyebabkan manusia mulai mencari sumber-sumber energi baru dan terbarukan untuk menggantikan sumber energi konvensional. Energi angin merupakan salah satu energi yang mulai dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik ataupun mengkonversinya ke energi mekanik untuk keperluan lain. Salah satu alat yang digunakan untuk memanfaatkan energi angin adalah turbin angin.

Salah satu bentuk turbin angin yang akhir-akhir ini mulai dikembangkan adalah turbin angin bersudu *loopwing*. Suatu perusahaan di Jepang mulai mengembangkan turbin angin dengan sudu berbentuk

loop yang mempunyai dua sisi, yakni di depan dan di belakang. Dengan keberagaman kecepatan angin di setiap daerah di dunia, turbin angin ini diharapkan mampu dijadikan solusi tepat karena dapat bekerja pada kecepatan angin yang rendah dan mempunyai koefisien daya yang tinggi. Selain itu efek *noise* yang selama ini menjadi problem dalam penggunaan turbin angin sebagai pembangkit listrik dapat sedikit dikurangi, karena model *loopwing* tidak mempunyai *tip vortex*, sehingga *noise* yang dihasilkan sangat rendah.

Inovasi yang sedang dikembangkan adalah penambahan diffuser dengan variasi rasio luas yang berbeda, guna mendapatkan daya yang optimal pada turbin angin bersudu *loopwing*.

Metode Penelitian & Fasilitas Yang Digunakan

Objek penelitian yang diuji dalam penelitian adalah model turbin angin bersudu *loopwing* dengan

penambahan model diffuser. Model turbin *loopwing* menggunakan tiga blade yang terbuat dari bahan aluminium yang tersambung pada poros aluminium dengan panjang 120 cm berdiameter 12,7 mm, jari-jari turbin angin 25 cm, sudut tekuk 45° . Poros aluminium dipasang pada 2 penopang yang terbuat dari kerangka besi profil L dengan tumpuan pada dua buah *bearing*.



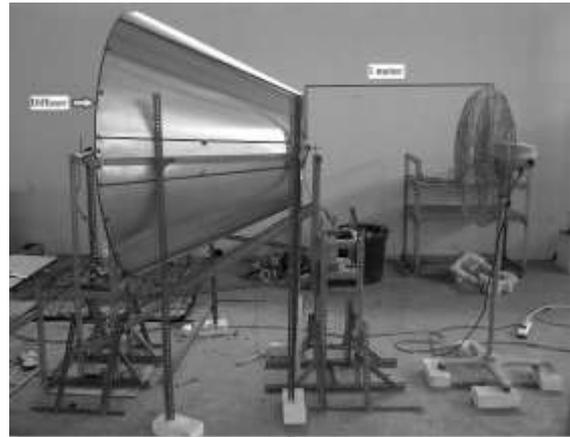
Gambar 1. Model Turbin Bersudu Loopwing



Gambar 2. Diffuser model 1.1, 1.2, 1.3



Gambar 3. Diffuser model 1.3, 2.1 dan 2.2



Gambar 4. Instalasi Penelitian

Diffuser menggunakan 5 model dengan bahan aluminium memiliki tebal 1mm,.

Tabel 1. Spesifikasi model diffuser

| Model | L (cm) | D ₁ (cm) | D ₂ (cm) | Rasio luas penampang (β) |
|-----------|--------|---------------------|---------------------|----------------------------------|
| Model 1 | - | - | - | - |
| Model 1.1 | 70 | 56 | 109,16 | 3,8 |
| Model 1.2 | 80 | 56 | 113,39 | 4,1 |
| Model 1.3 | 90 | 56 | 121,4 | 4,7 |
| Model 2.1 | 90 | 56 | 128,92 | 5,3 |
| Model 2.2 | 90 | 56 | 136 | 5,9 |

Keterangan:

- L = panjang diffuser (cm)
- D₁ = diameter inlet diffuser (cm)
- D₂ = diameter outlet diffuser (cm)

Alat pengujian dan alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. *Stand fan* seri CKE model FS-65 (650 mm)
Stand fan digunakan sebagai sumber angin.
2. *Rotary Encoder*
Rotary Incremental Shaft Type E30S merupakan alat yang berfungsi sama seperti *Tachometer*.
3. *Anemometer Digital HP-816A*
Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin.
4. Neraca Digital GDT 40
Neraca digunakan untuk mengukur torsi dari turbin angin dengan menggunakan pemberat.
5. Tali
Menghubungkan neraca dengan pemberat.
6. Beban atau pemberat
Pembebanan dilakukan dengan penambahan beban 25 gram pada setiap pengambilan data.

Hasil dan Pembahasan

Data Cut In Speed

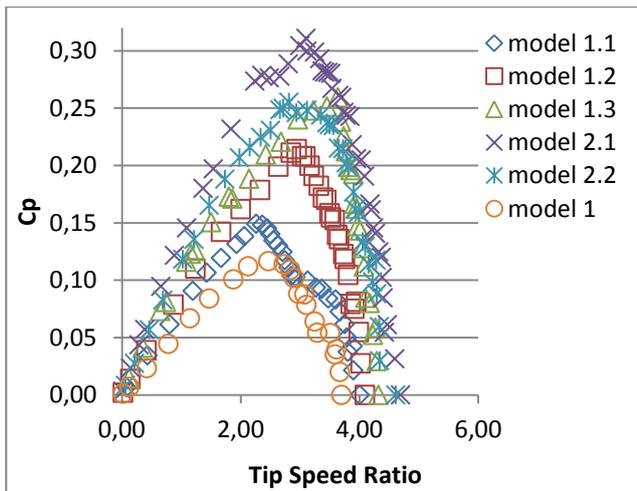
Pengambilan data untuk *cut in speed* diambil 2 variabel, yakni jarak dan kecepatan. Nilai *cut in speed* diperoleh dengan cara mengubah posisi kipas angin dari jarak yang cukup jauh kemudian didekatkan sedikit demi sedikit hingga sudu turbin angin mulai berputar. Berikut ini data *cut in speed* tiap turbin angin yang diuji.

Tabel 2. Data kecepatan *cut in speed* dan jarak

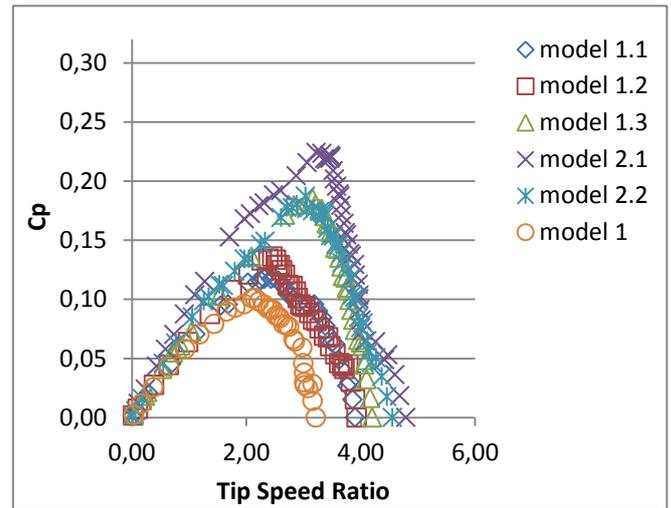
| Model | β | Jarak (m) | Kecepatan (m/s) |
|-----------|---------|-----------|-----------------|
| model 1 | - | 3,9 | 2,07 |
| model 1.1 | 3,8 | 4,3 | 2,48 |
| model 1.2 | 4,1 | 4,4 | 2,22 |
| model 1.3 | 4,7 | 4,5 | 2,08 |
| model 2.1 | 5,3 | 5,5 | 2,13 |
| model 2.2 | 5,9 | 4,65 | 2,22 |

Dari data di atas dapat diperoleh bahwa pada turbin *loopwing* dengan diffuser rasio luas penampang 5,3 mulai berputar pada jarak yang paling jauh dibandingkan dengan model lainnya, yakni pada jarak 5,5 m. Sedangkan jarak yang paling rendah untuk turbin mulai berputar, yakni pada model tanpa diffuser (model 1).

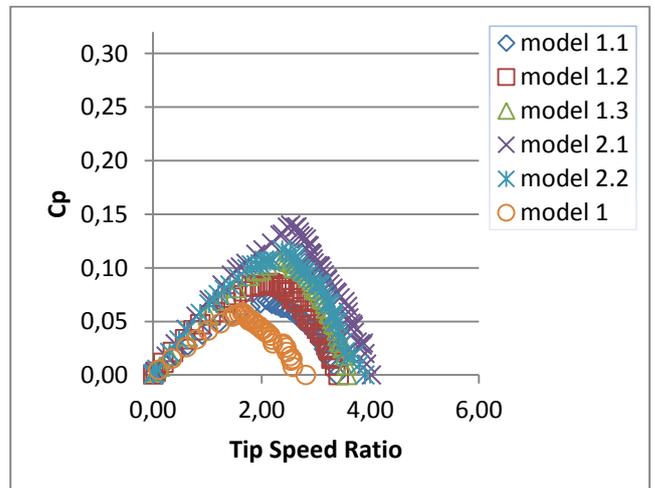
Hubungan C_p dengan Tip Speed Ratio



Gambar 5. Grafik hubungan C_p dengan *tip speed ratio* pada kecepatan angin 4,08 m/s



Gambar 6. Grafik hubungan C_p dengan *tip speed ratio* pada kecepatan angin 4,81 m/s



Gambar 7. Grafik hubungan C_p dengan *tip speed ratio* pada kecepatan angin 5,99 m/s

Pada grafik di atas diperoleh bahwa pada model tanpa diffuser memiliki nilai C_p paling rendah pada semua variasi kecepatan, yakni sebesar 0,1166 di titik *tip speed ratio* 2,45 pada kecepatan 4,08 m/s, sebesar 0,1 di titik *tip speed ratio* 2,15 pada kecepatan 4,81 m/s, sebesar 0,058 di titik *tip speed ratio* 9,89 pada kecepatan 5.99 m/s

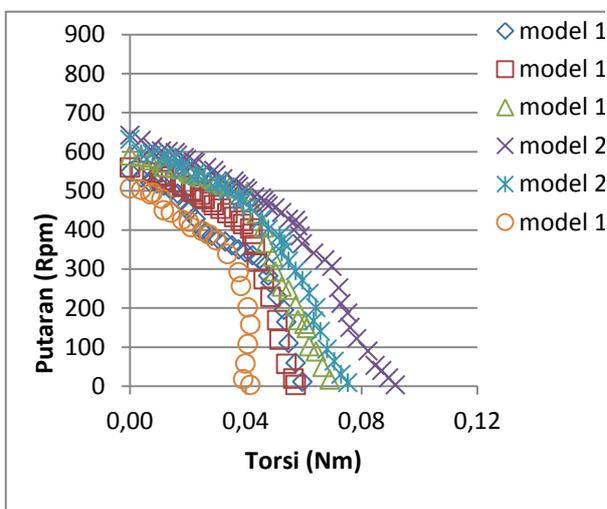
Untuk model turbin angin dengan diffuser nilai C_p tertinggi diperoleh pada model 2.1 dengan rasio luas 5,3. Pada grafik dapat dilihat bahwa dengan kenaikan rasio luas penampang diffuser akan berpengaruh pada kenaikan C_p . Peningkatan nilai C_p disebabkan karena adanya peningkatan kecepatan angin di depan mulut diffuser. Dengan bertambahnya variasi rasio luas penampang diffuser pada model 1.1 hingga model 2.1, maka prosentase peningkatan kecepatan angin akan meningkat, namun tidak berlaku pada model 2.2, ($\beta = 5,9$) kenaikan kecepatan angin di mulut diffuser tidak

signifikan. Dengan meningkatnya kecepatan angin di mulut diffuser, akan berdampak pada peningkatan putaran rotor turbin angin sehingga nilai C_p bertambah.

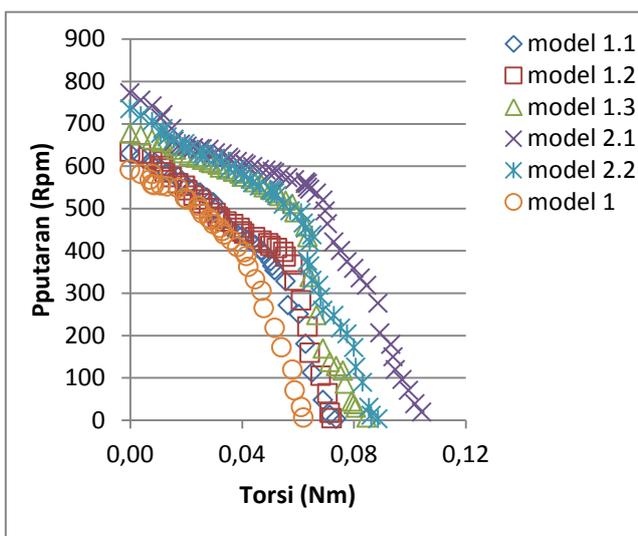
Tabel 3. Prosentase kenaikan C_p tiap model

| Model diffuser | (β) | Kenaikan C_p (%) | | |
|----------------|-----------|--------------------|----------|----------|
| | | 4,08 m/s | 4,81 m/s | 5,99 m/s |
| model 1.1 | 3,8 | 35,54 | 18 | 20,68 |
| model 1.2 | 4,1 | 94,901 | 36,2 | 47,93 |
| model 1.3 | 4,7 | 136,36 | 85,1 | 88,27 |
| model 2.1 | 5,3 | 181,8 | 124 | 141,37 |
| model 2.2 | 5,9 | 127,23 | 80 | 100 |

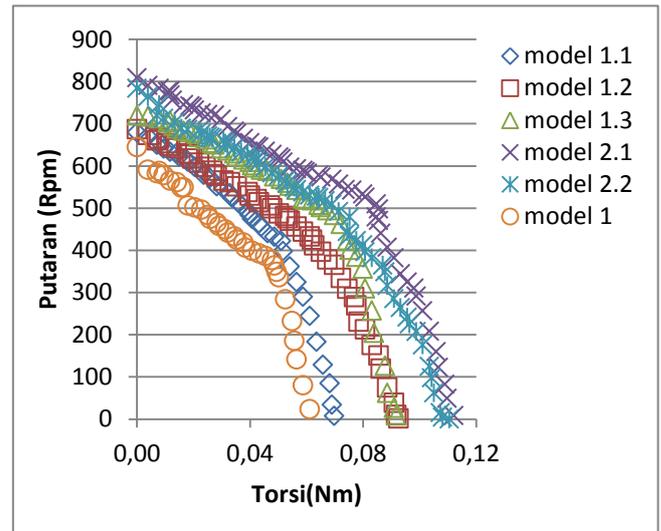
Hubungan Putaran dengan Torsi



Gambar 8 . Grafik hubungan torsi dengan putaran pada kecepatan angin 4,08 m/s



Gambar 9 . Grafik hubungan torsi dengan putaran pada kecepatan angin 4,81 m/s



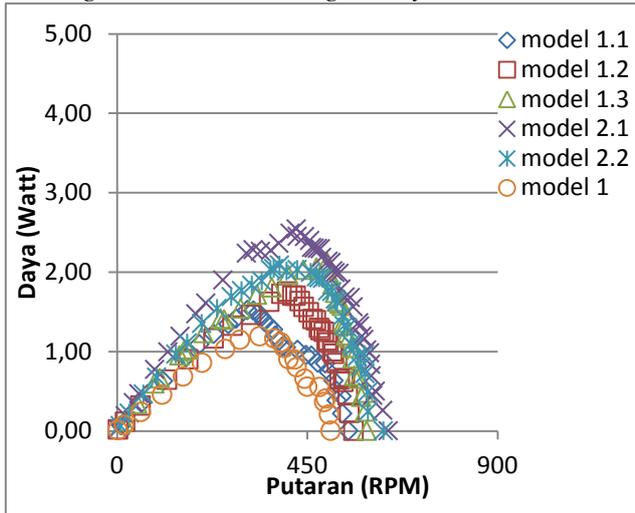
Gambar 10 . Grafik hubungan torsi dengan putaran pada kecepatan angin 5,99 m/s

Dari ketiga grafik di atas dapat dilihat bahwa pada model 1 (tanpa diffuser) memiliki torsi yang paling rendah pada ketiga kecepatan, Turbin angin dengan diffuser mampu menghasilkan torsi yang paling besar, hal ini terjadi pada model diffuser 2.1 ($\beta = 5,3$) pada kecepatan 5,99 m/s, yakni sebesar 0,112 Nm, sebesar 0,10472 Nm pada kecepatan 4,81 m/s, dan sebesar 0,09173 Nm pada kecepatan 4,08 m/s, sedangkan peningkatan torsi juga terjadi pada model 1.1 ($\beta = 3,8$) hingga model 2.1 ($\beta = 5,3$), namun kenaikan torsi pada rasio luas penampang yang lebih besar tidak terlalu signifikan, yakni model 2.3 ($\beta = 5,9$), hal ini berlaku pada variasi kecepatan 4,08m/s, 4,81 m/s dan 5,99 m/s.

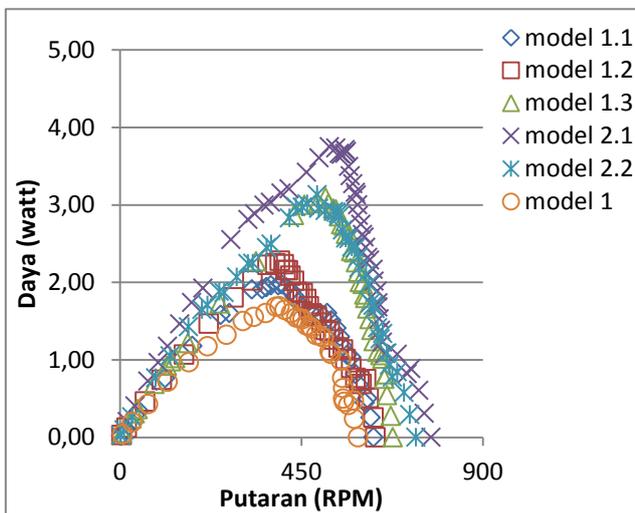
Tabel 4. Prosentase kenaikan torsi tiap model

| Model diffuser | (β) | Kenaikan torsi (%) | | |
|----------------|-----------|--------------------|----------|----------|
| | | 4,08 m/s | 4,81 m/s | 5,99 m/s |
| model 1.1 | 3,8 | 43,55 | 19,67 | 15 |
| model 1.2 | 4,1 | 45,49 | 19,52 | 53,33 |
| model 1.3 | 4,7 | 67,63 | 38,8 | 54,18 |
| model 2.1 | 5,3 | 83,11 | 70,49 | 86,66 |
| model 2.2 | 5,9 | 64,84 | 45,24 | 84,23 |

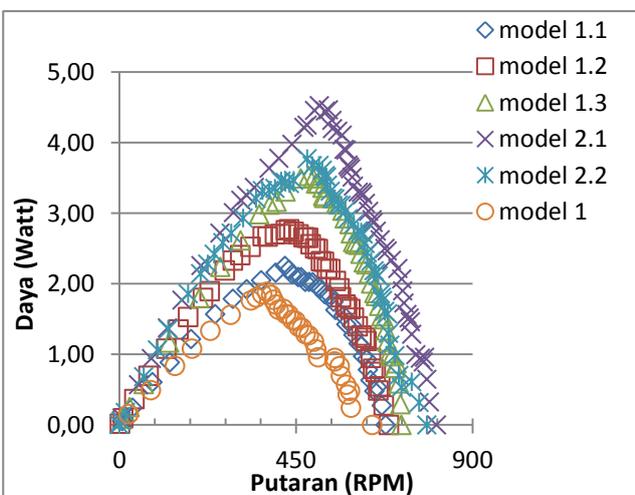
Hubungan Putaran dengan Daya Aktual



Gambar 11. Grafik hubungan putaran dengan daya aktual pada kecepatan angin 4,08 m/s



Gambar 12. Grafik hubungan putaran dengan daya aktual pada kecepatan angin 4,81 m/s



Gambar 13. Grafik hubungan putaran dengan daya aktual pada kecepatan angin 5,99 m/s

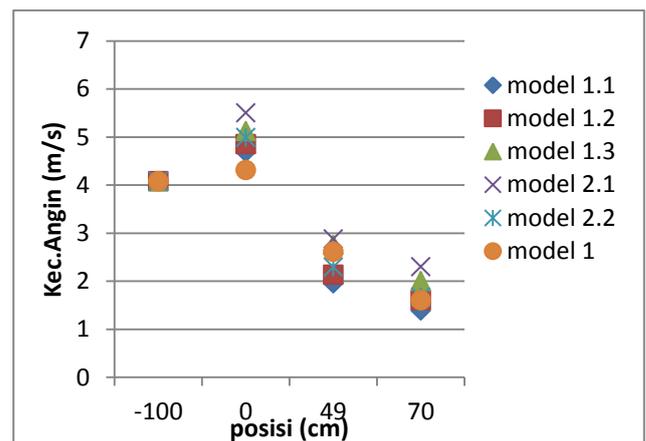
Pada grafik di atas didapatkan daya rotor turbin angin maksimum terjadi pada turbin angin model 2.1 dengan rasio luas penampang 5,3 di semua kecepatan, yakni pada kecepatan angin 5,99 m/s sebesar 4,52 Watt pada putaran 510,2 rpm, pada kecepatan angin 4,88 m/s sebesar 3,75 Watt pada putaran 598 rpm, dan pada kecepatan angin 4,08 m/s sebesar 2,54 Watt pada putaran 448 rpm. Sedangkan pada model 1 (tanpa diffuser) menghasilkan daya rotor yang paling rendah di semua variasi kecepatan, yakni sebesar 1,88 Watt pada kecepatan 5,99 m/s, sebesar 1,69 Watt pada kecepatan 4,81 m/s, dan sebesar 1,19 Watt pada kecepatan 4,08 m/s. Semakin besar kecepatan angin yang diberikan maka daya yang dihasilkan juga meningkat.

Tabel 5. Prosentase kenaikan daya tiap model

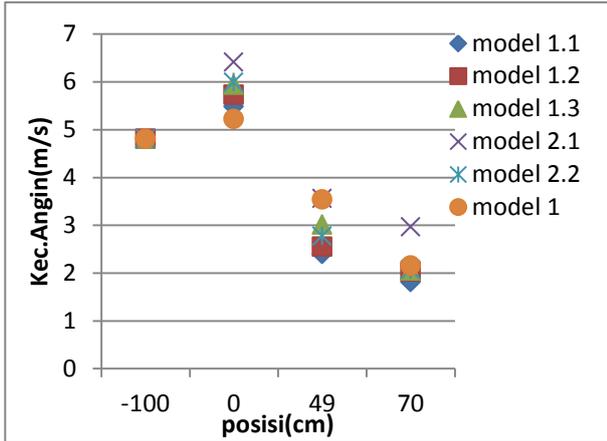
| Model diffuser | (β) | Kenaikan daya (%) | | |
|----------------|-----------|-------------------|----------|----------|
| | | 4,08 m/s | 4,81 m/s | 5,99 m/s |
| model 1.1 | 3,8 | 27,89 | 16,74 | 19,68 |
| model 1.2 | 4,1 | 47,05 | 34,79 | 47,34 |
| model 1.3 | 4,7 | 78,15 | 83,43 | 87,23 |
| model 2.1 | 5,3 | 110,92 | 119,52 | 140,42 |
| model 2.2 | 5,9 | 74,78 | 85,2 | 100,532 |

Dari data di atas diperoleh, bahwa kenaikan daya paling besar pada model 2.1 ($\beta = 5,3$), sedangkan yang paling rendah pada model 1.1 dengan rasio luas ($\beta = 3,8$). Hal ini berlaku pada variasi kecepatan angin yang diberikan, yakni pada kecepatan 4,08 m/s, 4,81 m/s, dan 5,99 m/s

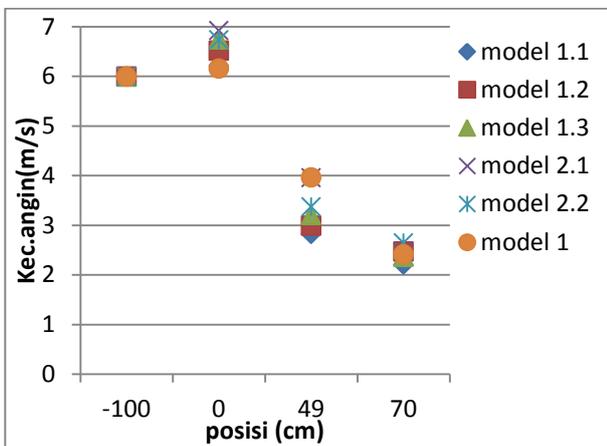
Grafik Hubungan Kecepatan Angin Terhadap Posisi Tiap Model



Gambar 14. Kecepatan angin di beberapa titik didalam diffuser, saat kecepatan angin 4,08 m/s



Gambar 15. Kecepatan angin di beberapa titik didalam diffuser, saat kecepatan angin 4,81 m/s



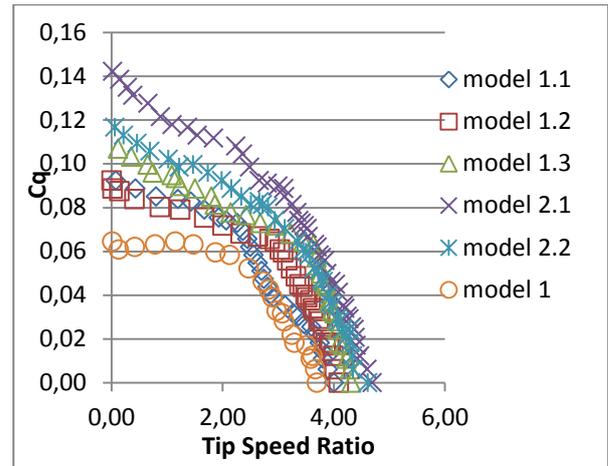
Gambar 16. Grafik kecepatan angin di beberapa titik didalam diffuser, saat kecepatan angin 5,99 m/s

Pada ketiga grafik di atas dapat dilihat bahwa peningkatan kecepatan angin yang paling signifikan terjadi pada kecepatan angin 4,08 m/s dengan diffuser model 2.1 rasio luas 5,3 dan peningkatan yang paling rendah terjadi pada model 1 yakni turbin angin tanpa diffuser pada kecepatan angin 5,99 m/s.

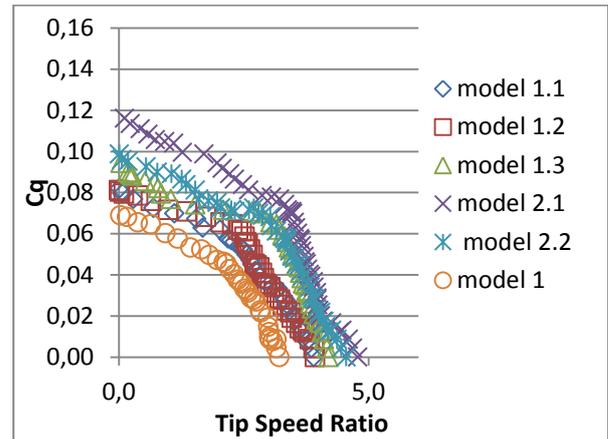
Tabel 6. Prosentase kecepatan angin tiap posisi

| Model | (β) | Kenaikan Kecepatan Angin (%) | | |
|-----------|-----------|------------------------------|----------|----------|
| | | 4,08 m/s | 4,81 m/s | 5,99 m/s |
| model 1.1 | 3,8 | 14,7 | 13,92 | 3,67 |
| model 1.2 | 4,1 | 18,87 | 19,12 | 8,68 |
| model 1.3 | 4,7 | 25,49 | 23,49 | 12,52 |
| model 2.1 | 5,3 | 34,8 | 33,26 | 15,19 |
| model 2.2 | 5,9 | 22,3 | 24,53 | 12,35 |
| model 1 | - | 5,67 | 8,52 | 2,63 |

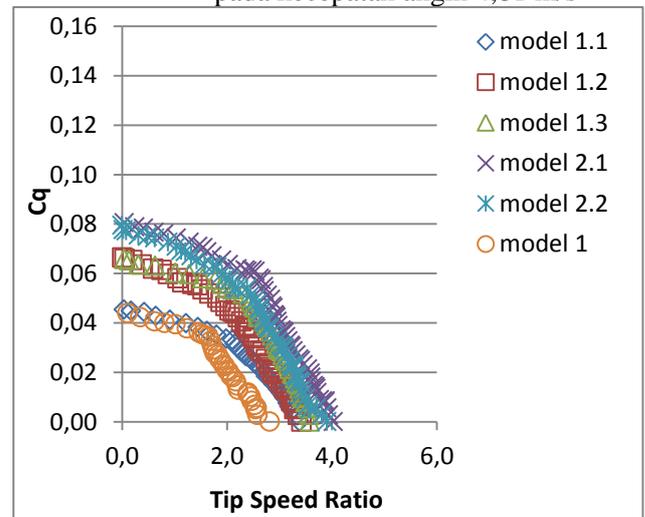
Hubungan Koefisien Torsi dengan Tip Speed Ratio



Gambar 17. Hubungan C_q dengan tip speed ratio pada kecepatan angin 4,08 m/s



Gambar 18. Hubungan C_q dengan tip speed ratio pada kecepatan angin 4,81 m/s



Gambar 19. Hubungan C_q dengan tip speed ratio pada kecepatan angin 5,99 m/s

Dari ketiga grafik di atas diperoleh bahwa nilai koefisien torsi tertinggi terjadi pada penggunaan diffuser dengan model 2.1 ($\beta=5,3$), sedangkan nilai terendah terjadi pada model 1 (tanpa diffuser). Semakin bertambahnya nilai rasio luas penampang maka besar koefisien torsi akan meningkat pula, yakni pada model 1.1 ($\beta=3,8$) hingga model 2.1 ($\beta = 5,3$), namun pada model 2.2 ($\beta = 5,9$) terjadi penurunan nilai C_q . Seiring bertambahnya kecepatan angin, maka nilai koefisien torsi tiap model akan berkurang. Hal ini dikarenakan torsi teoritis akan semakin besar nilainya bila kecepatan angin bertambah, sehingga sebagai pembanding torsi aktual, nilai koefisien torsi akan menurun.

Tabel 7. Prosentase kenaikan C_q tiap model

| Model | (β) | Kenaikan Koefisien Torsi (%) | | |
|-----------|-----------|------------------------------|----------|----------|
| | | 4,08 m/s | 4,81 m/s | 5,99 m/s |
| model 1.1 | 3,8 | 40,62 | 17,68 | 10 |
| model 1.2 | 4,1 | 43,75 | 17,82 | 60 |
| model 1.3 | 4,7 | 56,25 | 36,74 | 62,5 |
| model 2.1 | 5,3 | 118,75 | 68,11 | 100 |
| model 2.2 | 5,9 | 71,875 | 42,03 | 97,5 |

Kesimpulan

1. Penambahan diffuser pada turbin angin bersudu *loopwing* mampu meningkatkan unjuk kerja. Peningkatan unjuk kerja dapat dilihat dari peningkatan putaran rotor dan torsi sehingga menghasilkan daya rotor yang lebih besar.
2. Variasi rasio luas penampang pada diffuser berpengaruh terhadap unjuk kerja turbin angin. Model diffuser yang paling optimal pada penelitian ini adalah model 2.1 yakni diffuser dengan rasio luas penampang 5,3. Hal ini dapat dilihat dari besar torsi yang dihasilkan meningkat sebesar 86,66% peningkatan daya sebesar 140,42 %, dan peningkatan nilai C_p sebesar 181,8%.

Ucapan Terima kasih

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Jurusan Teknik Mesin Dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah Mada yang berkenan memberikan dana penelitian dan kepada Laboratorium Mekanika Fluida Jurusan Teknik Mesin Dan Industri Fakultas Teknik Universitas Gadjah

Mada yang memberikan fasilitas tempat dan peralatan untuk terlaksananya penelitian ini.

Nomenklature

- C_p : Koefisien daya
 C_q : Koefisien torsi
 β : Rasio luas penampang diffuser
 λ : Tip speed ratio

Referensi

- Abe, K., Nishida, M., Sakurai, A., Ohya, J., "Experimental and Numerical Investigations of Flow Fields Behind a Small Wind Turbine With a Flanged Diffuser", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* (2005)
- Abe, K., Ohya, J., "An Investigation of Flow Fields Around Flanged Diffusers Using CFD", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* (2004)
- Ohya, J., Karasudani, T., Sakurai, A., "Development of A Shrouded Wind Turbine With a Flanged Diffuser", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* (2008)