

BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Turbin Angin Savonius

Pengujian eksperimen turbin angin Savonius diawali dengan melakukan pengukuran kecepatan angin pada *windtunnel* dengan melakukan pengukuran kecepatan angin pada 9 titik dengan jeda waktu pengukuran setelah 30 detik setiap titiknya kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai variasi kecepatan angin. Skema pengujian turbin angin dan pengukuran kecepatan angin dapat dilihat pada Gambar 3.8 dan Gambar 3.9. Untuk mendapatkan variasi kecepatan angin maka digunakan *dimmer switch* untuk mengatur kecepatan angin yang dihasilkan oleh kipas angin, sehingga didapatkan 5 variasi kecepatan angin yaitu 2,23 m/s, 3,03 m/s, 3,41 m/s, 4,31 m/s, dan 4,7 m/s.

Penelitian ini terdapat 10 variasi data dengan 5 variasi kecepatan angin dimana untuk 1 variasinya dilakukan 3 kali pengulangan disetiap kecepatan angin. Jeda waktu pengambilan data dilakukan setelah 30 detik untuk 1 pengulangan dan setiap pergantian kecepatan angin jeda waktu 1 menit agar kecepatan angin relatif konstan kembali. Data hasil pengujian turbin angin Savonius disajikan pada Lampiran 2 dengan pengambilan data berupa putaran turbin angin Savonius, tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator. Setelah didapatkan data hasil pengujian turbin angin selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai dari performa dari turbin angin.

Perhitungan yang dilakukan menggunakan data pada Lampiran 2, diawali dengan menghitung daya aktual listrik yang dihasilkan dari generator dengan menggunakan persamaan 2.8 , sehingga didapatkan hasil sebagai berikut.

$$\begin{aligned} P_g &= V_{out} \cdot I_{out} \\ &= 3,97 \text{ V} \cdot 0,0045 \text{ mA} \\ &= 0,0180 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan daya angin dengan menggunakan persamaan 2.7, sehingga dihasilkan perhitungan daya angin sebagai berikut

$$\begin{aligned}
 P_A &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1,225 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \cdot (0,3 \text{ m} \cdot 0,2 \text{ m}) \cdot (2,23 \frac{\text{m}}{\text{s}})^3 \\
 &= 0,4075 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Setelah itu dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai koefisien daya (C_p) berdasarkan nilai dari daya aktual listrik (P_g) dan daya angin (P_A) yang telah diketahui sebelumnya. Perhitungan ini menggunakan persamaan 2.9, Sehingga dihasilkan nilai koefisien daya (C_p) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 C_p &= \frac{P_g}{P_A} \\
 &= \frac{0,0180}{0,4075} \\
 &= 0,0442
 \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai *Tip Speed Ratio* (TSR) dengan menggunakan persamaan 2.3, sehingga didapatkan nilai *Tip Speed Ratio* (TSR) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{\pi \cdot r \cdot n}{30 \cdot v} \\
 &= \frac{\pi \cdot 0,1 \text{ m} \cdot 133,33 \text{ rpm}}{30 \cdot 2,23 \text{ m/s}} \\
 &= 0,6258
 \end{aligned}$$

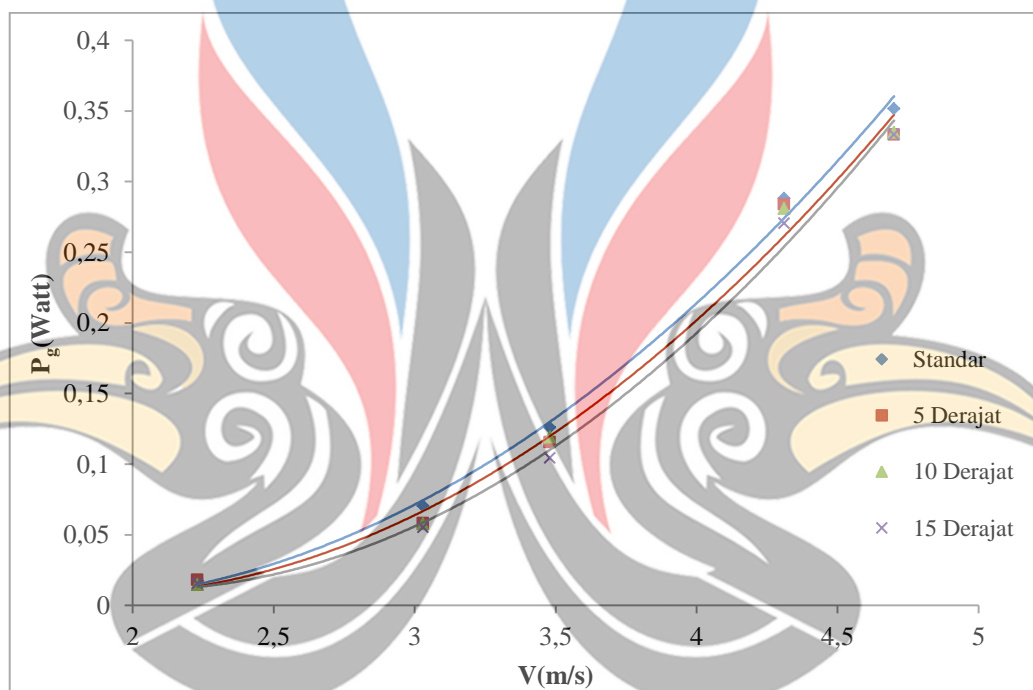
Setelah didapatkan nilai dari C_p dan TSR, maka dapat dilakukan perhitungan dengan persamaan hubungan C_p , C_T , dan TSR pada persamaan 2.11 untuk mendapatkan nilai koefisien torsi (C_T). Sehingga didapatkan nilai koefisien torsi (C_T) sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 C_T &= \frac{C_p}{\lambda} \\
 &= \frac{0,0442}{0,6258} \\
 C_T &= 0,0706
 \end{aligned}$$

Adapun hasil perhitungan P_g , P_A , C_p , C_T , dan TSR secara keseluruhan dapat dilihat pada lampiran 2.

4.2 Pengaruh Posisi *Slotted Blades* dan *Slot Angel* Terhadap Performa Turbin Angin www.itk.ac.id

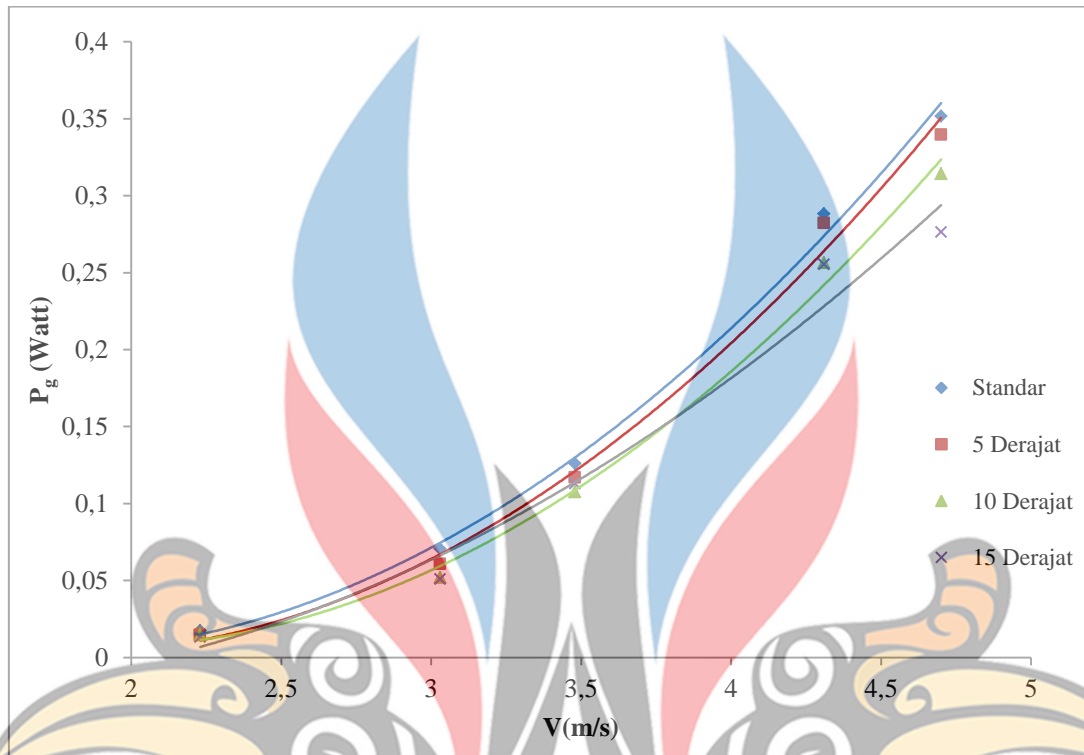
Pengaruh dari posisi *slotted blades* dan *slot angle* terhadap performa turbin angin dapat dilihat melalui grafik kecepatan angin terhadap daya yang dihasilkan, *Tip speed ratio* terhadap koefisien daya (C_P) dan *Tip speed ratio* terhadap koefisien torsi (C_T). Berdasarkan data pada Lampiran 2 didapatkan grafik tersebut yang dilakukan pada variasi posisi *slotted blades* yang berbeda yaitu standar, 30%, 50%, 70% dan variasi *slot angle* yaitu 5° , 10° , dan 15° .



Gambar 4.1 Grafik kecepatan angin terhadap daya keluaran pada posisi *slotted blades* 30%

Berdasarkan pada Gambar 4.1 menunjukkan grafik kecepatan angin terhadap daya keluaran dengan variasi standar dan *slot angle* 5° , 10° , dan 15° pada posisi *slotted blades* 30%. Dihasilkan pada variasi *slot angle* 5° memiliki nilai daya yang dihasilkan lebih besar dibanding dengan variasi lainnya yaitu sebesar 0,0180 Watt pada kecepatan angin 2,23 m/s. Pada kecepatan angin 3,03 m/s, 3,41 m/s, 4,31 m/s, dan 4,7 m/s variasi sudut standar memiliki daya keluaran yang cenderung lebih baik hingga memiliki nilai maksimal daya keluaran sebesar 0,3516 Watt pada kecepatan angin 4,7 m/s, sedangkan untuk variasi *slot angle* 10°

dan 15° cenderung memiliki nilai daya keluaran yang kurang baik dibandingkan dengan variasi standar dan *slot angle* 5° .

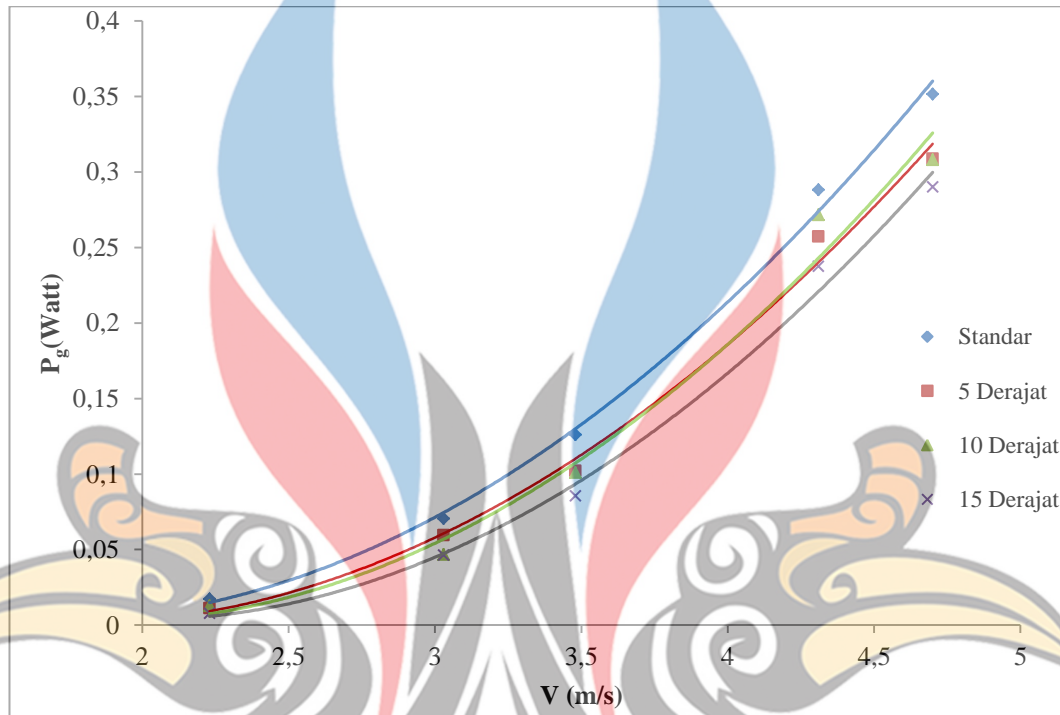


Gambar 4.2 Grafik kecepatan angin terhadap daya keluaran pada posisi *slotted blades* 50%

Gambar 4.2 menunjukkan hasil dari grafik kecepatan angin terhadap daya keluaran dengan variasi standar dan *slot angle* 5° , 10° , dan 15° pada posisi *slotted blades* 50% , dimana variasi sudut standar memiliki nilai daya keluaran yang lebih baik dibandingkan variasi *slot angle* 5° , 10° , dan 15° . Variasi standar memiliki nilai daya keluaran maksimum sebesar 0,3516 Watt pada kecepatan angin 4,7 m/s sedangkan untuk variasi *slot angle* 5° , 10° , dan 15° masing-masing memiliki daya keluaran maksimum sebesar 0,3396 Watt, 0,3144 Watt, dan 0,2765 Watt pada kecepatan angin 4,7 m/s.

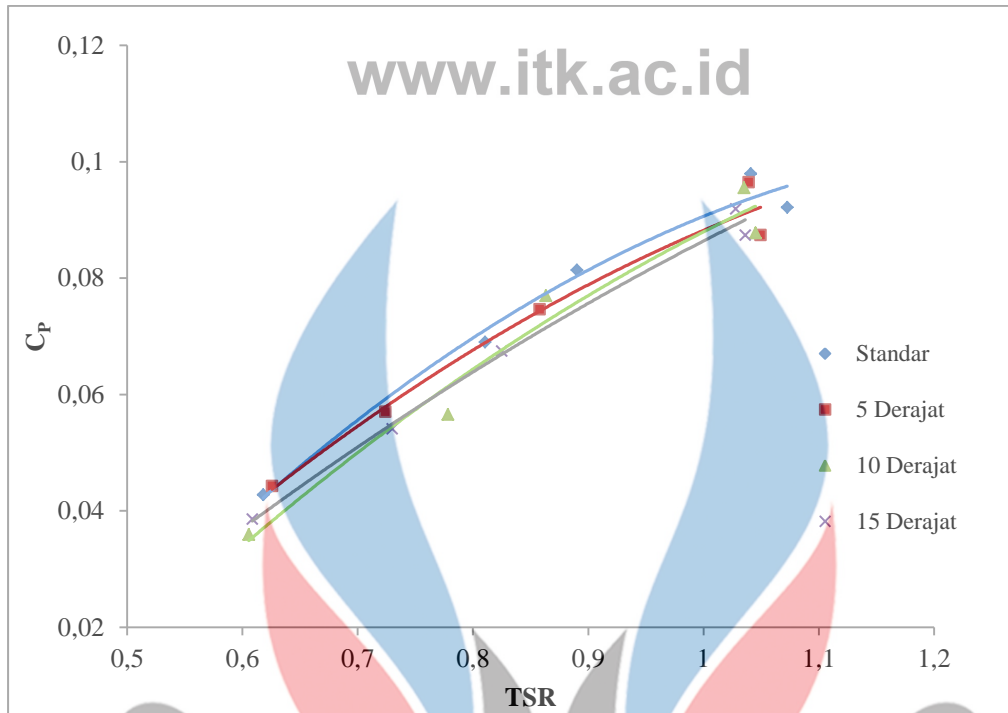
Grafik kecepatan angin terhadap daya keluaran dengan variasi standar dan *slot angle* 5° , 10° , dan 15° pada posisi *slotted blades* 70% dapat dilihat pada Gambar 4.3 dimana variasi sudut standar memiliki nilai daya keluaran yang lebih baik dibandingkan variasi *slot angle* 5° , 10° , dan 15° . Variasi standar memiliki

nilai daya keluaran maksimum sebesar 0,3516 Watt pada kecepatan angin 4,7 m/s sedangkan untuk variasi *slot angle* 5°, 10°, dan 15° masing-masing memiliki daya keluaran maksimum sebesar 0,3087 Watt, 0,3082 Watt, dan 0,2901 Watt pada kecepatan angin 4,7 m/s.



Gambar 4.3 Grafik kecepatan angin terhadap daya keluaran pada posisi *slotted blades* 70%

Berdasarkan pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3 dimana *trend* grafik kecepatan angin terhadap daya keluaran yang dihasilkan dari generator cenderung mengalami kenaikan seiring dengan meningkatnya kecepatan angin, hal ini disebabkan oleh sudu turbin angin Savonius yang merupakan turbin angin yang memanfaatkan gaya *drag* atau gaya hambat yang berasal dari angin yang melewati sudu turbin angin yang menyebabkan rotor turbin angin dapat berputar, sehingga semakin tingginya kecepatan angin yang melewati rotor turbin maka putaran turbin angin juga meningkat sehingga akan berpengaruh pada daya keluaran yang yang dihasilkan oleh generator yang juga akan meningkat seiring dengan meningkatnya putaran rotor pada turbin angin.

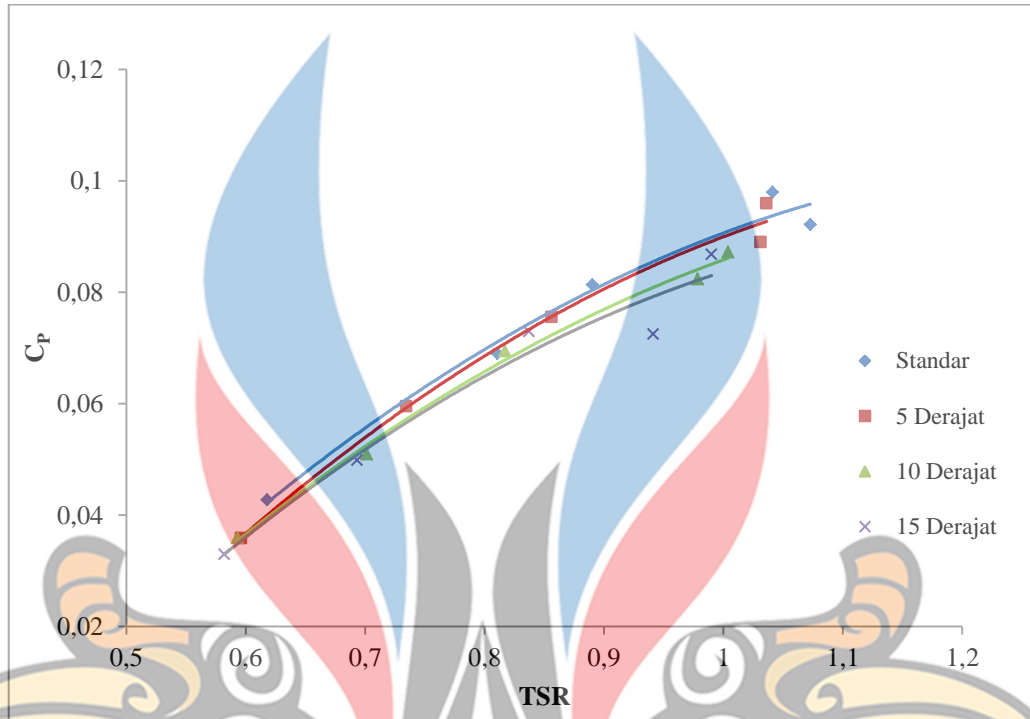


Gambar 4.4 Grafik *Tip speed ratio* (TSR) terhadap koefisien daya (C_p) pada variasi posisi *slotted blades* 30%

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 Grafik *Tip speed ratio* (TSR) terhadap koefisien daya (C_p) pada variasi posisi *slotted blades* 30%, dihasilkan bahwa sudu dengan variasi derajat *slot* yang kecil atau variasi *slot angle* 5° menghasilkan nilai koefisien daya (C_p) yang relatif lebih baik dari variasi lainnya yaitu sebesar 0,0442 pada *Tip speed ratio* (TSR) yang rendah yaitu sebesar 0,6258 di kecepatan angin 2,23 m/s. Seiring meningkatnya nilai *Tip speed ratio* (TSR) maka variasi sudu standar memiliki nilai koefisien daya (C_p) yang cenderung lebih baik dibandingkan variasi sudu *slot*, dimana variasi standar memiliki nilai koefisien daya (C_p) maksimal sebesar 0,0979 pada *Tip speed ratio* 1,0410 di kecepatan angin 4,31 m/s. Untuk variasi *slot angle* 10° ,dan 15° memiliki nilai koefisien daya (C_p) yang relatif lebih kecil dibandingkan variasi sudu standar dan sudu *slot angle* 5° .

Kinerja turbin angin Savonius dengan sudu *slotted* menurun untuk *Tip speed ratio* (TSR) yang tinggi jika dibandingkan dengan yang diperoleh untuk konfigurasi standar. Di sisi lain dengan sudut *slot* yang kecil dapat menghasilkan

kinerja aerodinamik yang lebih baik untuk *Tip speed ratio* (TSR) yang rendah (Alaimo, dkk, 2012). www.itk.ac.id

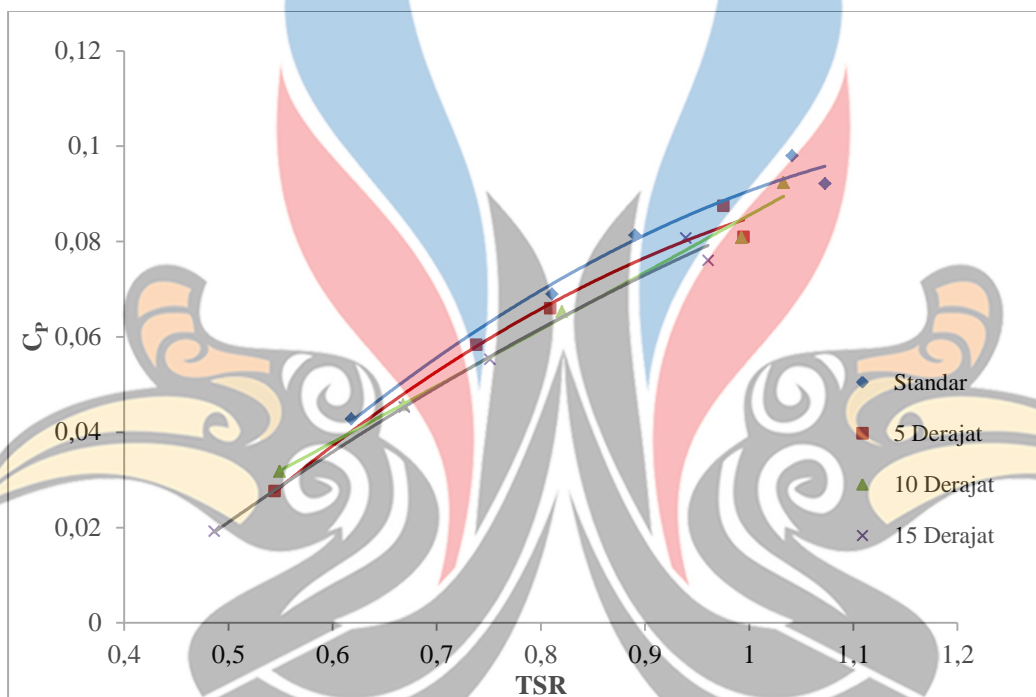


Gambar 4.5 Grafik *Tip speed ratio* (TSR) terhadap koefisien daya (C_p) pada variasi posisi *slotted blades* 50%

Berdasarkan pada Gambar 4.5 dapat dilihat grafik *Tip speed ratio* (TSR) terhadap koefisien daya (C_p) pada variasi posisi *slotted blades* 50%, dimana dihasilkan bahwa variasi sudut standar cenderung memiliki nilai koefisien daya (C_p) yang relatif lebih baik dibandingkan dengan variasi lainnya yaitu *slot angle* 5° , 10° , dan 15° , walaupun terlihat pada Gambar 4.5 dimana variasi *slot angle* 5° memiliki nilai koefisien daya (C_p) yang relatif mendekati nilai variasi standar. Berdasarkan grafik variasi sudut standar memiliki nilai koefisien daya (C_p) maksimal sebesar 0,0979 pada *Tip speed ratio* 1,0410 dikecepatan angin 4,31 m/s. Untuk variasi sudut *slot angle* 5° , 10° , dan 15° memiliki nilai koefisien daya (C_p) masing-masing sebesar 0,0959, 0,0872, dan 0,0868 pada *Tip speed ratio* sebesar 1,0360, 1,0037, dan 0,9900 pada kecepatan angin 4,31 m/s.

Grafik *Tip speed ratio* (TSR) terhadap koefisien daya (C_p) pada variasi posisi *slotted blades* 70%, dapat dilihat pada Gambar 4.6, dimana variasi sudut

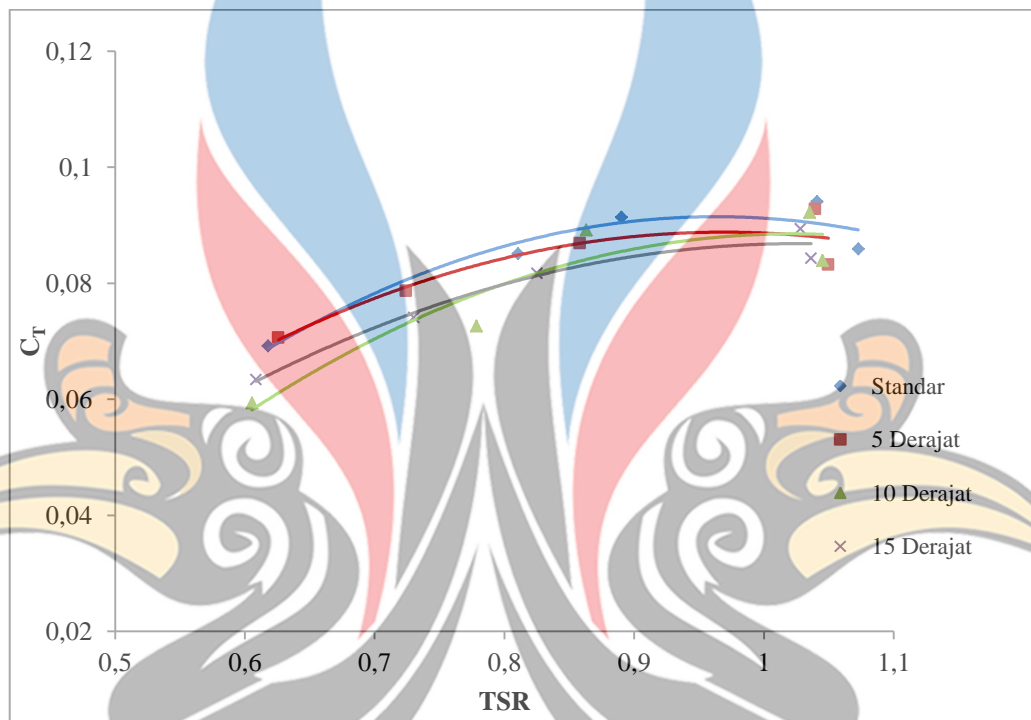
standar memiliki nilai koefisien daya (C_p) yang relatif lebih baik dibandingkan dengan variasi *slot angle* 5° , 10° , dan 15° . Variasi sudut standar memiliki nilai koefisien daya (C_p) maksimal sebesar 0,0979 pada *Tip speed ratio* 1,0410 dikecepatan angin 4,31 m/s. Untuk variasi sudut *slot angle* 5° , 10° , dan 15° memiliki nilai koefisien daya (C_p) masing-masing sebesar 0,0875, 0,0923, dan 0,0807 pada *Tip speed ratio* sebesar 0,9754, 1,0329, dan 0,9390 pada kecepatan angin 4,31 m/s.



Gambar 4.6 Grafik *Tip speed ratio* (TSR) terhadap koefisien daya (C_p) pada variasi posisi *slotted blades* 70%

Berdasarkan pada Gambar 4.4, Gambar 4.5 dan Gambar 4.6 dimana terlihat pada grafik *Tip speed ratio* (TSR) terhadap koefisien daya (C_p) yang cenderung mengalami meningkat seiring bertambahnya nilai dari *Tip speed ratio* (TSR) hingga mencapai nilai maksimal kemudian mengalami penurunan. Terlihat pada grafik mengalami penurunan nilai koefisien daya (C_p) terjadi ketika *Tip speed ratio* (TSR) yang telah melebihi nilai 1, hasil ini menunjukkan grafik sesuai dengan penelitian Albert Betz pada Gambar 2.12 yang menunjukkan nilai koefisien daya (C_p) akan mengalami penurunan setelah mencapai nilai maksimal. Penempatan

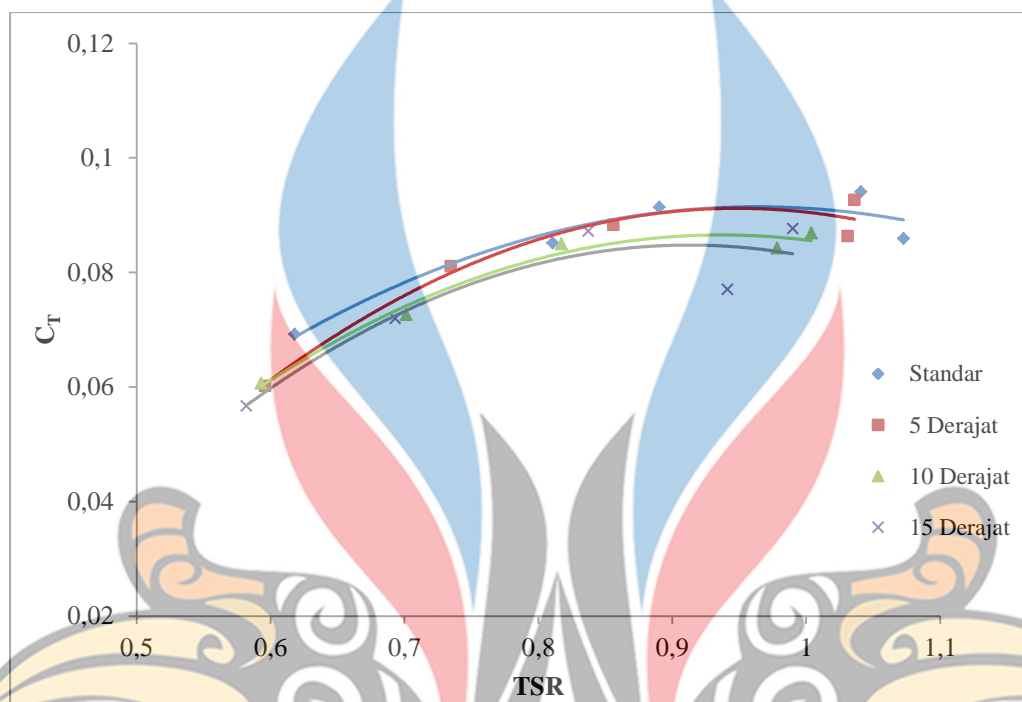
posisi *slotted blades* sangat berpengaruh terhadap performa yang dihasilkan pada turbin angin dengan sudu *slotted*. Diharapkan bahwa posisi *slotted blades* 30% memiliki hasil yang relatif lebih baik dibandingkan posisi *slotted blades* 50% dan 70% hal ini disebabkan turbin angin dengan posisi *slotted blades* 30% berada dekat dengan rotor turbin cenderung dapat mengurangi gaya hambat dari sudu turbin sehingga dapat meningkatkan performa turbin angin.



Gambar 4.7 Grafik *Tip speed ratio* (TSR) terhadap koefisien torsi (C_T) pada variasi posisi *slotted blades* 30%

Berdasarkan pada Gambar 4.7 dapat dilihat grafik *Tip speed ratio* (TSR) terhadap koefisien torsi (C_T) pada variasi posisi *slotted blades* 30%, dihasilkan dimana sudu dengan variasi *slot angle* 5° memiliki nilai koefisien torsi (C_T) yang lebih baik pada *Tip speed ratio* (TSR) yang rendah dibandingkan dengan variasi lainnya yaitu sebesar 0,0706 pada *Tip speed ratio* (TSR) 0,6258 di kecepatan angin 2,23 m/s. Selain itu, seiring meningkatnya nilai *Tip speed ratio* (TSR) maka variasi sudu standar memiliki nilai koefisien torsi (C_T) yang cenderung lebih baik dibandingkan variasi sudu *slot*, dimana variasi standar memiliki nilai koefisien torsi (C_T) maksimal sebesar 0,0941 pada *Tip Speed ratio* 1,0410 dikecepatan

angin 4,31 m/s. Untuk variasi *slot angle* 10°, dan 15° memiliki nilai koefisien torsi (C_T) yang relatif lebih kecil dibandingkan variasi sudut standar dan sudut *slot angle* 5°.

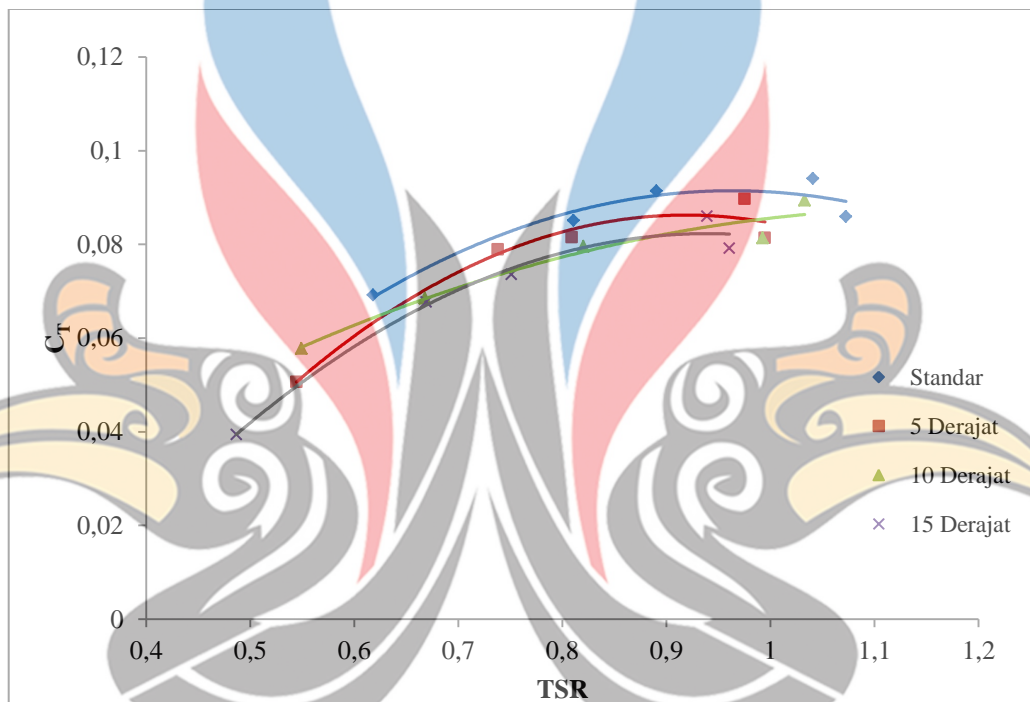


Gambar 4.8 Grafik *Tip speed ratio* (TSR) terhadap koefisien torsi (C_T) pada variasi posisi *slotted blades* 50%

Grafik *Tip speed ratio* (TSR) terhadap koefisien torsi (C_T) pada variasi posisi *slotted blades* 50%, dapat dilihat pada Gambar 4.8. Dihasilkan bahwa variasi sudut standar memiliki nilai koefisien torsi (C_T) yang relatif lebih baik dibandingkan dengan variasi *slot angle* 5°, 10°, dan 15°, meskipun terlihat pada Gambar 4.8 dimana variasi *slot angle* 5° memiliki nilai koefisien torsi (C_T) yang mendekati nilai variasi standar. Variasi sudut standar memiliki nilai koefisien torsi (C_T) maksimal sebesar 0,0941 pada *Tip speed ratio* 1,0410 dikecepatan angin 4,31 m/s. Untuk variasi sudut *slot angle* 5°, 10°, dan 15° memiliki nilai koefisien torsi (C_T) masing-masing sebesar 0,0926, 0,0869, dan 0,0877 pada *Tip speed ratio* sebesar 1,036, 1,0037, dan 0,9900 pada kecepatan angin 4,31 m/s.

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.9 grafik *Tip speed ratio* (TSR) terhadap koefisien torsi (C_T) pada variasi posisi *slotted blades* 70%, dimana

variasi sudut standar memiliki nilai koefisien torsi (C_T) yang relatif lebih baik dibandingkan dengan variasi *slot angle* 5°, 10° dan 15°. Variasi sudut standar memiliki nilai koefisien torsi (C_T) maksimal sebesar 0,0941 pada *Tip speed ratio* 1,0410 dikecepatan angin 4,31 m/s. Untuk variasi sudut *slot angle* 5°, 10°, dan 15° memiliki nilai koefisien torsi (C_T) masing-masing sebesar 0,0897, 0,0894, dan 0,0860 pada *Tip speed ratio* sebesar 0,9754, 1,0329, dan 0,9390 pada kecepatan angin 4,31 m/s



Gambar 4.9 Grafik *Tip speed ratio* (TSR) terhadap koefisien torsi (C_T) pada variasi posisi *slotted blades* 70%

Berdasarkan pada Gambar 4.7, Gambar 4.8 ,dan Gambar 4.9 dimana terlihat pada grafik *Tip speed ratio* (TSR) terhadap koefisien torsi (C_T) yang cenderung meningkat dan mengalami penurunan, hal ini disebabkan oleh peningkatan kecepatan angin pengujian turbin angin yang mengakibatkan meningkatnya kenaikan putaran dari rotor turbin angin sehingga menyebabkan peningkatan daya luaran yang dihasilkan menjadi meningkat yang mengakibatkan meningkatkan nilai koefisien daya (C_P) yang dihasilkan yang lebih besar dibandingkan peningkatan *Tip speed ratio* (TSR) pada turbin angin sehingga

koefisien torsi (C_T) menjadi meningkat. Penurunan nilai koefisien torsi (C_T) diakibatkan oleh nilai koefisien daya (C_p) yang mulai menurun seiring masih meningkatnya nilai *Tip speed ratio* pada turbin angin sehingga menyebabkan penurunan pada nilai koefisien torsi (C_T).

Variasi posisi *slotted blades* 30% menghasilkan nilai koefisien torsi (C_T) yang lebih baik dari variasi posisi *slotted blades* 50% dan 70% hal ini disebabkan oleh posisi *slotted blades* yang berada dekat dengan rotor turbin angin dapat mengurangi torsi negatif yang terjadi pada *blade* yang kembali, sehingga dapat meningkatkan nilai dari koefisien torsi (C_T) (Nugroho, dkk, 2020).



www.itk.ac.id