

# Kajian Eksperimental dan Numerikal Turbin *Air Helikal Gorlov* Untuk *Twist Angle* 60° dan 120°

Iwan Kurniawan

Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Univeristas Riau  
Kampus Binawidya Jl. HR Subrantas Km. 12,5 Pekanbaru 28293

## Abstract

This research aims to find the optimum parameters of the power coefficient against tip speed ratio  $\lambda$ , and twist angle  $\psi$  which is also the optimum parameters to design a helical cross flow turbine type. Parameters are obtained from the test results and through numerical simulations. The test is conducted using the two physical parameters of twist angle 60 degree and 120 degree with the pitch angle of 72.56 degree and 57.8 degree, while the height and diameter turbine are 0.3 m and 0.18 m respectively. Test results gives for the twist angle 60 degree has coefficient power of 10.1% while the twist angle 120 degree has the coefficient power of 9.9%. Numerical simulation gives the results of the calculation as follows: the coefficient power has 27.5% for twist angles 60 degree and has 31% for the twist angle 120 degree. The coefficient power data from the test results and numerical simulations show different figures due to the numerical simulation does not take into account the friction mechanical loss and other losses, but the curve of the coefficient power against tip speed ratio in the test and numerical simulation shows a slightly different trend.

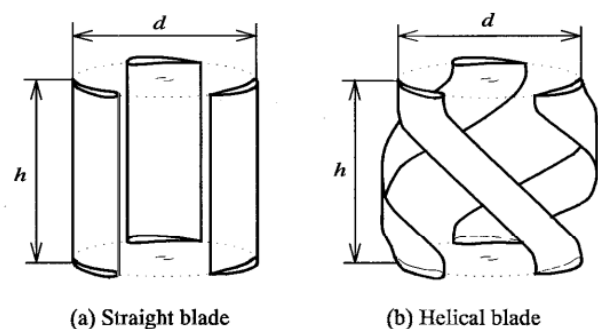
*Key words: Gorlov Helical Turbine, twist angle, power coefficient, tip speed ratio. Numerical simulation.*

## 1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi arus air di Indonesia belum begitu di minati. Ini dapat dilihat dengan sumber energi yang ada masih di dominasi oleh pembangkit tenaga air yang memanfaatkan energi potensial. Jika dilihat dari sudut pandang iklim dan letak geografisnya, Indonesia punya potensi besar untuk memanfaatkan teknologi arus air ini.

Teknologi arus air dibagi dalam dua kategori yaitu *Axial Flow Turbine* yaitu arah aliran air sejajar dengan poros turbin dan *Cross Flow Turbine* yaitu arah aliran air tegak lurus dengan poros turbin. Untuk *Cross Flow* posisi poros turbin dibagi dua yaitu *Horizontal Axis Water Turbine* (HAWT) yaitu posisi sumbu putar turbin adalah horizontal dan *Vertical Axis Water Turbine* (VAWT) yaitu posisi sumbu putar turbin adalah vertikal. Untuk *Cross Flow Turbine* ada dua turbin air yang terkenal yaitu turbin air Darrieus dan turbin air helikal Gorlov. Turbin Darrieus lebih baik dalam menghasilkan daya tetapi menimbulkan vibrasi pada *tip speed ratio* yang tinggi. Sedangkan turbin Gorlov lebih baik dari *starting rotation* (Shiono dkk: 2002). Turbin air helikal Gorlov merupakan penyempurnaan dari turbin Darrieus (Winchester dan Quayle:2009).

Turbin Darrieus mempunyai *blade* lurus sedangkan turbin Gorlov mempunyai *blade* helikal.



Gambar 1. Bentuk *blade* turbin air

Beberapa keunggulan dari turbin Gorlov (Gorlov:1998) yaitu :

1. Dapat beroperasi pada gelombang samudera, air pasang surut dan arus sungai.
2. Dapat berputar pada kecepatan air 0.6 m/s.
3. Berputar tanpa fluktuasi.

4. Berputar hanya pada satu arah, walaupun arus datang berubah-ubah. Maka sangat ideal untuk arus pasang surut.

Ada dua faktor yang mempengaruhi daya yang akan dihasilkan oleh turbin. Pertama adalah faktor eksternal antara lain massa jenis fluida ( $\rho$ )  $\text{kg/m}^3$ , kecepatan fluida ( $V$ )  $\text{m/s}$ . Kedua adalah faktor internal yang merupakan geometri turbin yang berbentuk helik yaitu radius turbin ( $R$ )  $\text{m}$ , tinggi turbin ( $H$ )  $\text{m}$ , kecepatan sudut yang dapat dihasilkan oleh turbin ( $\omega$ )  $\text{rad/s}$ , *twist angle* ( $\Psi$ ), *pitch angle* ( $\delta$ ), panjang *chord* ( $c$ )  $\text{m}$ , jumlah *blade* ( $n$ ). Kedua faktor ini diteliti, faktor dominan yang dapat memperbaiki karakteristik turbin helikal Gorlov yaitu salah satunya adalah *tip speed ratio* terhadap koefisien daya.

Pada umumnya turbin helikal Gorlov mempunyai dua jenis *twist angle* ( $\Psi$ ) yaitu *twist angle* 60 derajat dan *twist angle* ( $\Psi$ ) 120 derajat. Dari kedua jenis ini manakah yang mempunyai efisiensi tertinggi dilihat dari hasil pengujian dan analisis numerik.

### 1.1. Turbin Air Darrieus

Turbin air Darrieus ini diadopsi dari turbin Darrieus untuk angin. Nama turbin diambil dari Mr. G.J.M Darrieus yang menemukan turbin angin pada tahun 1926. Keuntungan dari turbin ini adalah:

1. Bisa dibuat dengan diameter yang lebih besar dibanding dengan kedalamannya, sehingga dapat menyerap aliran air yang lebih besar yang akhirnya dapat menghasilkan daya yang lebih besar.
2. Porosnya yang vertikal memudahkan dalam perawatan dimana bantalan dan generatornya ditempatkan diatas permukaan air.

Kelemahan dari turbin ini adalah vibrasi yang cukup besar jika kecepatan aliran besar.

### 1.2. Turbin Air Gorlov

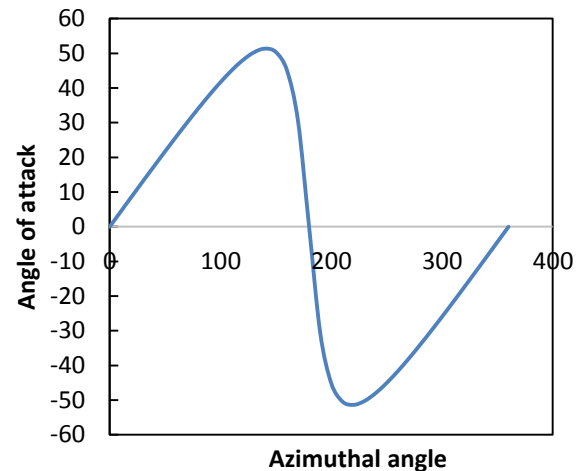
*Gorlov helical turbine* merupakan buah karya dari Prof. Alexander M Gorlov. Sebuah turbin yang memodifikasi turbin Darrieus dengan blade berbentuk helik. Kelemahan dari turbin Darrieus di dapatkan solusinya oleh turbin Gorlov ini.

Jenis turbin Gorlov dengan ukuran 6 inchi yang mempunyai dua sudu dapat menghasilkan daya hingga 10 Watt pada kecepatan air 3 knot (1,543  $\text{m/s}$ ). Turbin ini mulai menghasilkan daya pada kecepatan 1,5-2 knot.

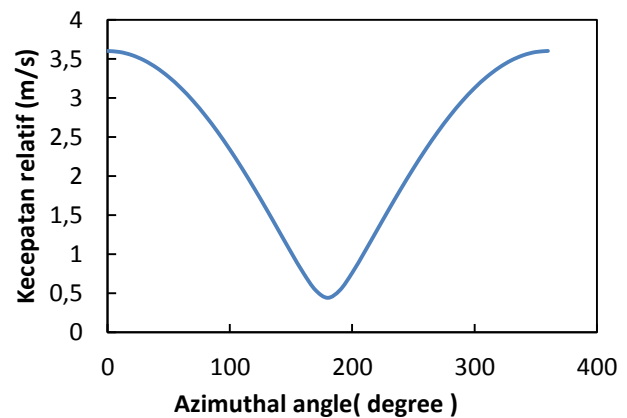
Turbin Gorlov dapat diposisikan sebagai vertikal dan horizontal turbin. Untuk posisi horizontal dapat digunakan pada air dangkal (sungai), hanya kira-kira 1 m kedalaman yang diperlukan.

### 1.3. Torsi pada Turbin

Torsi bervariasi pada sudut azimut  $\theta$  dan ketinggian rotor karena bentuk geometri dari *blade* yang berbentuk helik.



Gambar 2. Hubungan antara angle of attack  $\alpha$  dengan sudut azimut  $\theta$ .



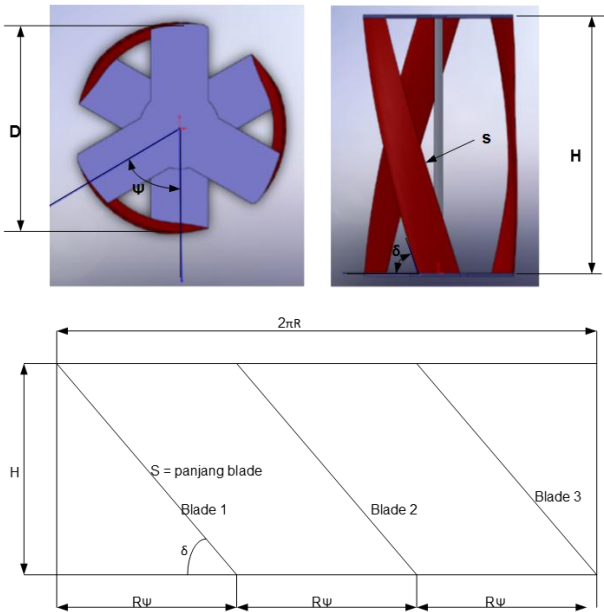
Gambar 3. Hubungan antara kecepatan relatif  $w$  dengan sudut azimut  $\theta$ .

Dari Gambar 2 dan 3 terlihat bahwa torsi akan minus jika melewati *angle of attack* yang tinggi akibat *stall* (Paraschivoiu:2002). Inilah salah satu penyebab turbin poros vertikal sukar untuk *self starting* dan mendapatkan efisiensi yang lebih tinggi dari azas Bets. Biasanya untuk turbin angin Darrieus digunakan penggerak mula untuk awal putaran turbin.

## 2. Bahan dan Metode

Turbin yang akan diuji dengan spesifikasi sebagai berikut :

- Jumlah *blade* : 3 buah
- Geometri *blade* : NACA 0020
- Panjang *chord* : 0.05 m
- Tinggi turbin : 0.300 m
- Radius turbin : 0.09 m



**Gambar 4.** Parameter pada turbin Gorlov

Dimana :  $\Psi = \text{twist angle } (^{\circ})$   
 $\delta = \text{pitch angle } (^{\circ})$

Hubungan antara parameter tersebut adalah :

Keliling lingkaran turbin adalah :  $2\pi R$

Pitch dari turbin adalah : 
$$\frac{360 * H}{\psi} = 2\pi R \tan \delta$$

Dari kedua persamaan tersebut didapatkan bahwa *pitch angle* ( $\delta$ ) adalah :

$$\delta = \tan^{-1} \frac{360 * H}{\psi * 2\pi R} \quad (1)$$

Pada gambar 2. didapatkan juga untuk persamaan luas permukaan untuk :

1. *Swept* turbin

$$A_s = 2\pi R * H \quad (2)$$

2. *Frontal* turbin

$$A_f = D * H \quad (3)$$

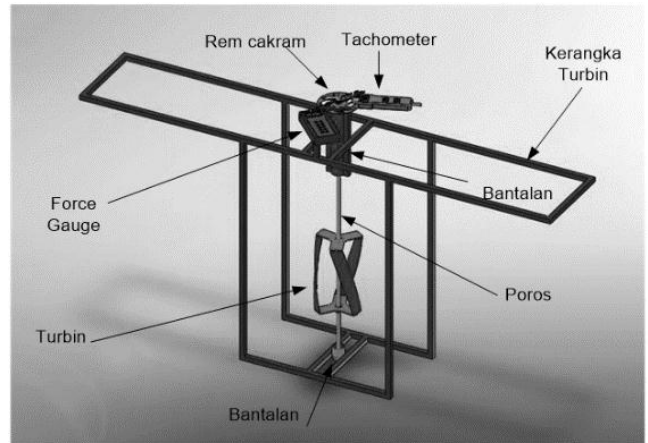
Untuk persamaan *solidity* turbin helikal Gorlov adalah :

$$\sigma = \frac{ncS}{A_s} \quad (4)$$

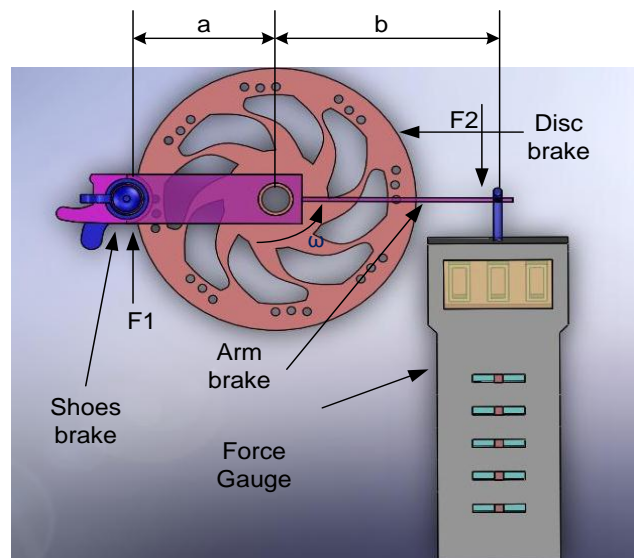
Dalam pengujian ada dua macam sudu turbin yaitu :

1. Sudu turbin dengan *twist angle*  $60^{\circ}$
2. Sudu turbin dengan *twist angle*  $120^{\circ}$

Pengujian Turbin dilakukan seperti tampak pada Gambar 5 sebagai berikut :



**Gambar 5.** Pengujian Turbin Gorlov Persamaan Torsi.



**Gambar 6.** Prinsip kerja dari force gauge dan rem.

Kerja alat ukur *force gauge* dan rem pada Gambar 6 adalah sebagai berikut :

Pada mulanya *disc brake* berputar dengan bebas tanpa adanya gesekan pada *shoes brake*. Maka gaya yang dihasilkan adalah nol newton. Setelah *shoes brake* memberikan tekanan pada *disc brake* (akan menghasilkan gaya  $F_1$ ) maka secara otomatis *shoes brake* dan *arm brake* akan ikut berputar. Tetapi *arm brake* yang terhubung dengan *force gauge* akan memberikan reaksi  $F_2$ . Gaya  $F_2$  akan terbaca pada *force gauge*.

Untuk mendapatkan torsi yang diinginkan maka persamaan yang digunakan adalah :

$$T_1 = F_1 * a = F_2 * b = T_2$$

Torsi turbin yaitu

$$T_{\text{turbin}} = F_2 * b \quad 5$$

Hasil Pengujian akan dibandingkan dengan dengan hasil analisa numerik dengan menggunakan software CFD fluent v.6.3.26.

Mesh : element tetrahedral/hybrid

Type : Tgrid

Spacing

: 5 (interior)

: 3 (turbin)

: 50 (duct)

Dimensi :

Tinggi : 0,3 m

Radius : 0,09 m

Tinggi interior 0,348 m, radius 0,1 m berbentuk silinder

Duct 1.5 x 1 x 1 m, berbentuk kubus

Solver

a. Solver : seagagate, implicit, steady, 3D

b. Massa jenis air : 998,2 kg/m<sup>3</sup>.

c. Viskositas air : 0.001003 kg/m-s

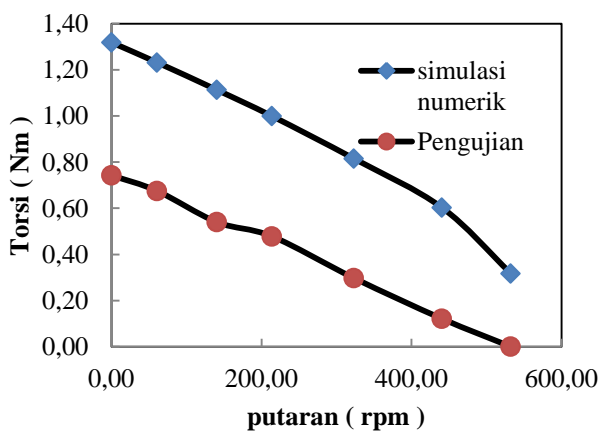
d. Tekanan operasi : 101325 Pascal

### 3. Hasil dan Pembahasan

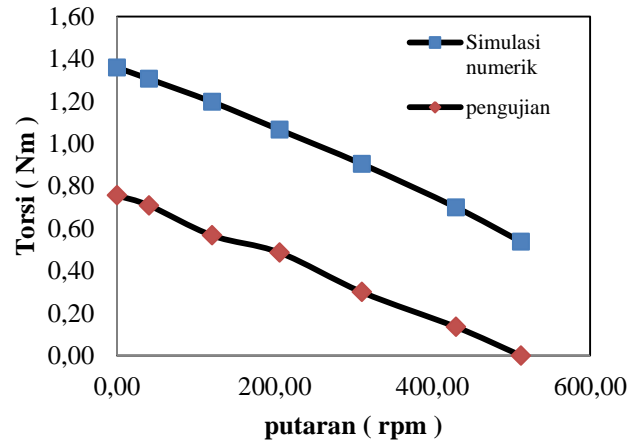
#### 3.1. Hasil pengujian dan analisa numerik Torsi

**Tabel 1.** Hasil pengujian dan analisa numerik untuk torsi

| N (rpm) | T (Nm) Simulasi numerik $\psi = 60$ | T (Nm) pengujian $\psi = 60$ | n (rpm) | T (Nm) Simulasi numerik $\psi = 120$ | T (Nm) Pengujian $\psi = 120$ |
|---------|-------------------------------------|------------------------------|---------|--------------------------------------|-------------------------------|
| 0,00    | 1,318                               | 0,743                        | 0,00    | 1,359                                | 0,756                         |
| 60,70   | 1,232                               | 0,675                        | 40,70   | 1,306                                | 0,709                         |
| 140,40  | 1,113                               | 0,540                        | 120,90  | 1,197                                | 0,567                         |
| 214,00  | 0,999                               | 0,478                        | 206,30  | 1,066                                | 0,486                         |
| 323,40  | 0,814                               | 0,297                        | 310,60  | 0,904                                | 0,300                         |
| 440,40  | 0,603                               | 0,122                        | 430,00  | 0,699                                | 0,135                         |
| 532,50  | 0,317                               | 0,000                        | 512,50  | 0,537                                | 0,000                         |

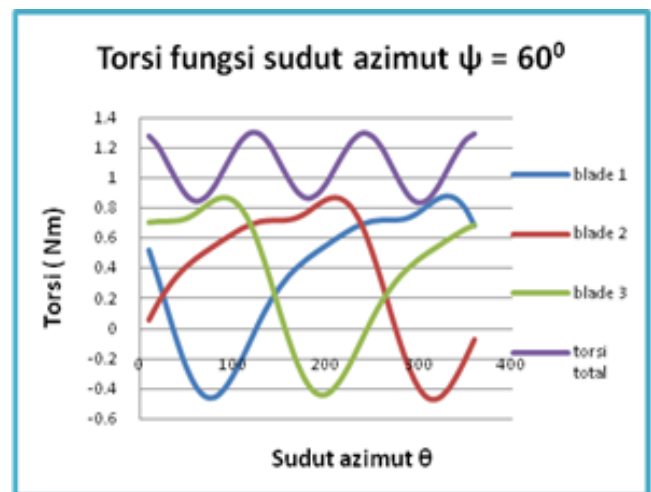


**Gambar 7.** Grafik torsi fungsi putaran turbin untuk  $\psi = 60^{\circ}$



**Gambar 8.** Grafik torsi fungsi putaran turbin untuk  $\psi = 120^{\circ}$

Dari Tabel 1 dan gambar 7-8 terlihat bahwa torsi yang dihasilkan oleh turbin dengan analisa numerik terdapat perbedaan cukup besar dengan pengujian yaitu sekitar 50%, baik untuk *twist angle* 120<sup>o</sup> maupun *twist angle* 60<sup>o</sup>. Perbedaan ini di sebabkan karena pada simulasi numerik tidak memperhitungkan kerugian gesek poros dan bantalan. Disamping itu dari tabel dan gambar juga terlihat bahwa torsi untuk *twist angle* 120<sup>o</sup> lebih besar dari *twist angle* 60<sup>o</sup> baik secara analisis numerik maupun pengujian.



**Gambar 9.** Torsi fungsi sudut azimuth untuk  $\psi = 60^{\circ}$ .



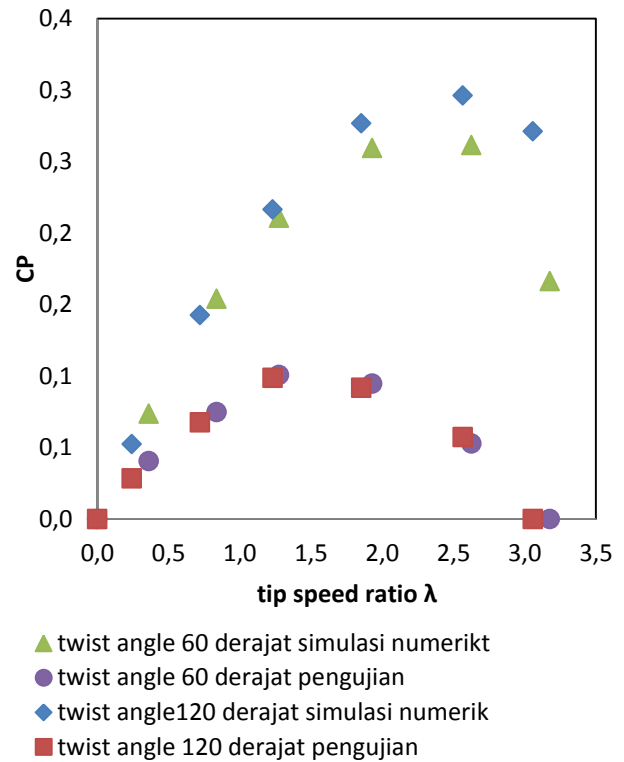
**Gambar 10.** Torsi fungsi sudut azimuth untuk  $\psi = 120^\circ$ .

Dari gambar 9 dan 10 terlihat variasi torsi pada setiap sudut azimuth turbin tidak mengalami fluktuasi. Untuk  $\psi = 120^\circ$  pola yang lebih baik dari *twist angle*  $60^\circ$ . Hasil ini menunjukkan pola yang hampir sama dari hasil eksperimen (shiono dkk.)

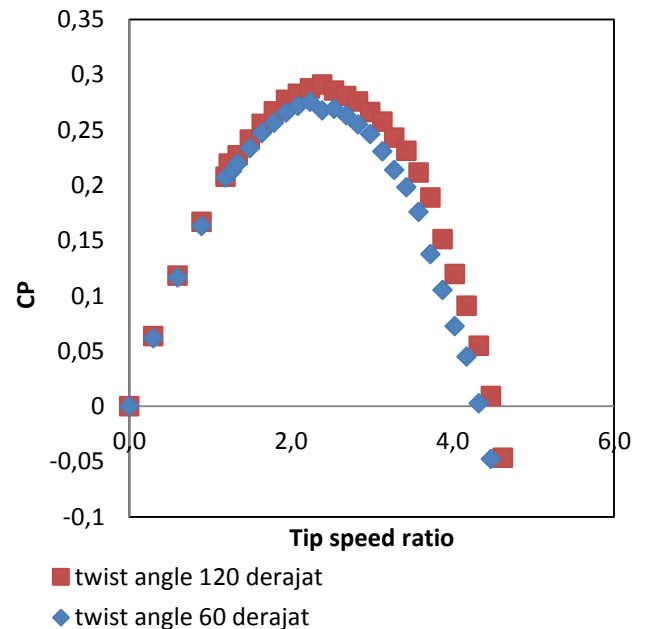
### 3.2. Koefisien daya fungsi tip speed ratio

**Tabel 2.** Hasil analisa simulasi numerik dan pengujian untuk berbagai  $\lambda$

| $\lambda$   | $\lambda$    | $C_p$ simulasi numerik | $C_p$ pengujian | $C_p$ simulasi numerik | $C_p$ pengujian |
|-------------|--------------|------------------------|-----------------|------------------------|-----------------|
| $\psi = 60$ | $\psi = 120$ | $\psi = 60$            | $\psi = 60$     | $\psi = 120$           | $\psi = 120$    |
| 0,00        | 0,00         | 0,000                  | 0,000           | 0,000                  | 0,000           |
| 0,36        | 0,24         | 0,074                  | 0,040           | 0,052                  | 0,028           |
| 0,84        | 0,72         | 0,154                  | 0,075           | 0,143                  | 0,068           |
| 1,28        | 1,23         | 0,211                  | 0,101           | 0,217                  | 0,099           |
| 1,93        | 1,85         | 0,259                  | 0,095           | 0,277                  | 0,092           |
| 2,63        | 2,56         | 0,262                  | 0,053           | 0,296                  | 0,057           |
| 3,18        | 3,06         | 0,166                  | 0,000           | 0,271                  | 0,000           |



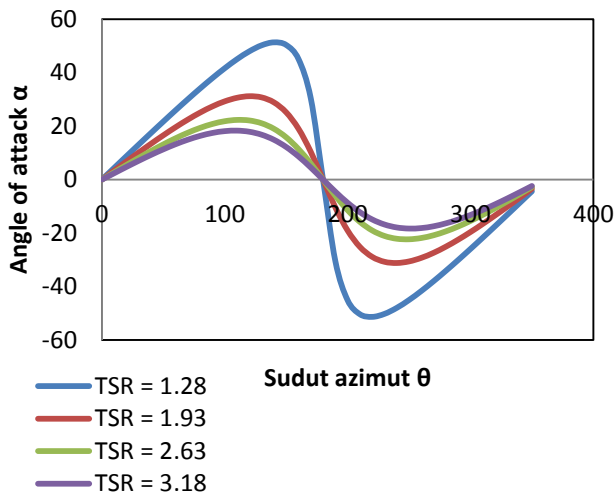
**Gambar 11.**  $C_p$  fungsi tip speed ratio untuk pengujian dan simulasi numerik



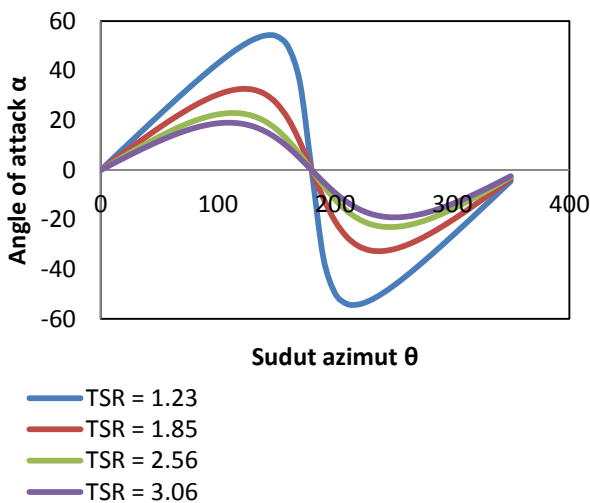
**Gambar 12.**  $C_p$  optimal fungsi *tip speed ratio*

Dari pengujian didapatkan data berbentuk putaran (rpm) dan torsi (Nm) baik untuk turbin dengan twist angle  $60^\circ$  dan  $120^\circ$  selanjutnya disimulasikan pada fluent. Kemudian data tersebut dikonversikan menjadi data nondimensional yaitu *tip speed ratio*  $\lambda$  dan koefisien daya

$C_p$ . Pada table 2 dan gambar 11 dan 12 terlihat bahwa untuk pengujian  $C_p$  terbesar didapat pada  $\lambda = 1,28$  untuk  $\psi = 60^0$  yaitu 0,101. Sedangkan untuk  $\psi = 120^0$   $C_p$  terbesar didapat  $\lambda = 1,23$  yaitu 0,099. Untuk simulasi fluent  $C_p$  terbesar untuk  $\psi = 60^0$  pada  $\lambda = 2,63$  yaitu 0,262. Sedangkan untuk  $\psi = 120^0$  pada  $\lambda = 2,56$  yaitu 0,296. Karena data untuk kedua turbin pada pengujian mempunyai putaran yang berbeda. Maka untuk membandingkan hasil kedua turbin dengan putaran yang sama maka perlu dilakukan simulasi numerik kembali dengan rentang tip speed ratio mulai dari nol sampai keadaan dimana  $C_p$  turbin kembali menuju harga nol. Seperti yang terlihat pada gambar 12. bahwa  $\psi = 120^0$  mempunyai  $C_p$  lebih besar dari  $\psi = 60^0$  yaitu sekitar 0,31 dan 0,275. Sedangkan dari data eksperimen didapatkan  $C_p$  tertinggi yaitu berkisar 11-15% diantara tip speed ratio 1,2 -1,5 (shiono dkk.).



**Gambar 13.** Tip speed ratio fungsi sudut azimuth untuk  $\psi = 60^0$



**Gambar 14.** Tip speed ratio fungsi sudut azimuth untuk  $\psi = 120^0$

Dari segitiga kecepatan didapatkan hubungan antara *angle of attack* dengan *tip speed ratio* sebagai fungsi sudut azimuth  $\theta$ . Seperti yang terlihat pada gambar 13-14. Dari data pengujian yang didapatkan bahwa semakin besar *tip speed ratio* akan menghasilkan sudut *angle of attack*  $\alpha$  yang semakin kecil. Jika dihubungkan dengan gambar 11 ternyata semakin kecil nya *angle of attack* atau semakin besarnya *tip speed ratio* tidak selalu menghasilkan koefisien daya turbin ikut naik. Ada titik optimalnya yang dapat dicapai oleh turbin itu sendiri. Setelah melewati titik optimalnya yaitu disebelah kanan titik optimal dari gambar 11 garis  $C_p$  mulai mengalami penurunan. Salah satu penyebabnya karena putaran yang sangat cepat menimbulkan pusaran (*wake*) yang terjadi dibelakang blade rotor. Bila pusaran (*wake*) tersebut di lalui oleh blade rotor maka energi kinetik dari aliran bebas tidak dapat terserap secara sempurna. Oleh karena itu  $C_p$  turbin mengalami penurunan. Untuk garis  $C_p$  disebelah kiri titik optimal nya, terjadinya penurunan  $C_p$  disebabkan putaran blade rotor yang rendah akan menghasilkan *angle of attack* yang besar sehingga terjadi *stall* pada *blade* rotor. *Stall* adalah sifat aerodinamis *blade* dimana terjadinya pemisahan aliran di *trailing edge blade* sehingga gaya angkat (*lift*) pada *blade* turun dengan cepat. Oleh karenanya efisiensi turbin juga turun.

**4. Kesimpulan**

Dari hasil pengujian dan analisa numerik turbin helikal Gorlov menggunakan profil NACA 0020, baik untuk turbin dengan twist angle 600 maupun twist angle 1200. Nilai  $C_p$  yang didapat dari hasil simulasi numerik adalah 31% dan 27,5% untuk twist angle 1200 dan twist angle 600. Sedangkan hasil pengujian menunjukkan harga  $C_p$  adalah 10% dan 9,9% untuk twist angle 600 dan 1200. Jika dibandingkan dengan dengan nilai  $C_p$  yang didapat Gorlov, yang berkisar antara 32% sampai dengan 38%, maka pengujian dan simulasi numerik masih berada dibawahnya. Salah satu perkiraan penyebab perbedaaan ini karena dalam analisa numerik, model dari blade turbin tidak mengikuti kelengkungan garis edar dari turbin sehingga pada sudut azimuth 00 dan 1800 coeficient lift nya (CL) nol.

Torsi pada turbin helikal Gorlov tidak menunjukkan fluktuasi sehingga vibrasi tidak terjadi.

**Ucapan Terima Kasih**

Penulis sangat berterima kasih kepada Pemerintah Provinsi Riau yang telah bersedia mendanai penelitian ini.

**Daftar Pustaka**

Gorlov, Alexander.1998. Development of The Helical Reaction Hydraulic Turbine. MIME Department

Shiono, Mitsuhiro, Katsuyuki Suzuki, Seiji Kiho. 2002. Output Characteristic Odf Darrieus Water Turbine with Helical Blade fo Tidal Current Generations. Proceeding of The Twelfth International Offshore

- and Polar Engineering Conference. Kitakyushu. Japan. P. 859
- Paraschivoiu, Ion. 2002. Wind Turbine Design With Emphasis on Darrieus Concept. Polytechnic International Press. P. 66-71.
- Winchester, J.D and S.D. Quayle. 2009. Torque ripple and variable blade force: A comparison of Darrieus and Gorlov-type turbines for tidal stream energy conversion. Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference. Uppsala. Sweden. P.676.