

# PENGARUH *TWIST ANGLE* TERHADAP KINERJA TURBIN AIR SUMBU VERTIKAL

---

Amri Wicaksana<sup>1</sup>, Karnowo<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang  
Email: amrywicaksana@gmail.com

**Abstrak.** Sumber energi di Indonesia masih didominasi oleh energi yang berbasis bahan bakar fosil. Banyak kerugian yang ditimbulkan dari penggunaan bahan bakar fosil ini. Maka dari itu perlu adanya suatu upaya untuk memenuhi kebutuhan energi di Indonesia, salah satunya energi listrik dari turbin air. Salah satu faktor yang mempengaruhi daya yang akan dihasilkan turbin adalah twist angle ( $\Psi$ ). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh twist angle terhadap kinerja turbin air sumbu vertikal. Penelitian ini menggunakan variasi twist angle 00 twist angle 450 dan twist angle 900. Aliran air yang digunakan adalah aliran air dari sungai. Kecepatan arus air yang digunakan adalah 0,88 m/s, 0,97 m/s, 1,08 m/s dan 1,19 m/s. Pengukuran daya menggunakan multimeter digital dan untuk pengukuran putaran turbin menggunakan tachometer digital. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa selain kecepatan air, twist angle juga sangat mempengaruhi kinerja pada turbin air sumbu vertikal. Semakin besar twist angle (sampai dengan 90°) maka putaran dan daya turbin yang dihasilkan semakin rendah di semua variasi kecepatan. Sedangkan untuk koefisien daya ( $C_p$ ), semakin tinggi kecepatan air maka koefisien daya ( $C_p$ ) dari semua variasi twist angle semakin rendah. Hal ini disebabkan oleh peningkatan daya input atau daya air tidak sebanding dengan daya output atau daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin. Nilai koefisien daya ( $C_p$ ) tertinggi adalah turbin dengan twist angle 0 pada kecepatan air 0,97 m/s dengan nilai  $C_p$  sebesar 0,00397

**Kata Kunci :** twist angle; turbin air; daya;  $C_p$ .

**Abstract.** Energy sources in Indonesia are still dominated by fossil fuel-based energy. Many losses are caused by the use of this fossil fuel. Therefore it is necessary to have an effort to meet energy needs in Indonesia, one of them is electricity from a water turbine. One factor that influences the power to be produced by a turbine is the twist angle ( $\Psi$ ). This study aims to determine the twist angle effect on the performance of the vertical axis water turbine. This study uses a variation of twist angle 00 twist angle 450 and twist angle 900. The flow of water that is used is the flow of water from the river. The velocity of water flow used is 0.88 m / s, 0.97 m / s, 1.08 m / s and 1.19 m / s. Power measurement uses a digital multimeter and for measuring turbine turns using a digital tachometer.

The results of this study indicate that in addition to water velocity, the twist angle also greatly affects the performance of the vertical axis water turbine. The greater the twist angle (up to 90 °) the turbine rotation and power produced will be lower at all speed variations. As for the power coefficient ( $C_p$ ), the higher the water velocity, the lower the power coefficient ( $C_p$ ) of all twist angle variations. This is caused by an increase in input power or water power not proportional to the output power or mechanical power generated by the turbine. The highest power coefficient ( $C_p$ ) is a turbine with a twist angle of 0 at a water velocity of 0.97 m / s with a  $C_p$  value of 0.00397.

**Keywords** : twist angle; water turbine; power;  $C_p$ .

## PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia saat ini semakin meningkat dan masih di dominasi oleh energi yang berbasis bahan bakar fosil, seperti minyak bumi dan batu bara. Kerugian dari penggunaan bahan bakar fosil adalah sifatnya yang tidak ramah lingkungan, karena hasil pembakaran bahan bakar fosil adalah  $CO_2$  yang merupakan gas rumah kaca. Bahan bakar fosil merupakan energi yang tak terbarukan, sehingga apabila dieksploitasi secara terus menerus maka cadangan bahan bakar fosil akan habis (Sitepu *et al.*, 2014: 72). Maka dari itu perlu adanya suatu upaya untuk memenuhi kebutuhan energi listrik di Indonesia. Salah satu energi alternatif yang mudah dan dapat digunakan adalah air. Untuk pemanfaatan energi air ialah dengan menggunakan turbin air sebagai salah satu solusinya.

Dalam pembangkit listrik tenaga air (PLTA) turbin air merupakan peralatan utama selain generator. Turbin air adalah alat untuk mengubah energi potensial menjadi energi mekanik. Energi mekanik ini kemudian diubah menjadi energi listrik oleh generator. Turbin air dikembangkan pada abad 19 dan digunakan secara luas untuk pembangkit tenaga listrik ( Manik, 2013).

Teknologi arus air dibagi dalam dua kategori yaitu *Axial Flow Turbin* yaitu arah aliran air sejajar dengan poros turbin dan *Cross Flow Turbine* yaitu arah aliran air tegak lurus dengan poros turbin. *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 yang terkenal yaitu turbin air Darrieus dan turbin air helikal Gorlov (Kurniawan, 2014: 7). Turbin Darrieus lebih baik dalam menghasilkan daya tetapi menimbulkan vibrasi pada *tip speed ratio* yang tinggi. Sedangkan turbin Gorlov lebih baik pada *starting rotation* (Shiono *et al.*, 2002: 863). Turbin air helikal Gorlov merupakan penyempurnaan dari turbin air Darrieus.

Ada dua faktor yang mempengaruhi daya yang akan dihasilkan oleh turbin yaitu faktor eksternal dan internal dengan yang 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 heliks 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* ( $n$ ) (Kurniawan, 2014: 8). Berdasarkan uraian diatas maka penelitian ini akan memfokuskan pada analisis pengaruh *twist angle* terhadap kinerja turbin air sumbu vertikal.

Semakin besar daya yang dihasilkan turbin semakin baik pula kinerja suatu turbin. Ada faktor yang mempengaruhi daya yang akan dihasilkan oleh turbin yaitu faktor eksternal dan internal dengan yang pertama adalah faktor eksternal sendiri ialah kecepatan fluida ( $V$ )  $\text{m/s}$  dan massa jenis fluida ( $\rho$ )  $\text{kg/m}^3$ . Kedua adalah faktor internal yang merupakan geometri turbin yang berbentuk heliks yaitu salah satunya *twist angle* ( $\Psi$ ). Salah satu yang membedakan turbin Darrieus dan turbin heliks Gorlov salah satunya ialah *twist angle* ( $\Psi$ ). *Twist angle* turbin Darrieus adalah  $0^0$  dan pada turbin heliks Gorlov lebih dari  $0^0$ . Semakin besar *twist angle* maka putaran turbin semakin stabil. Tetapi semakin besar atau semakin kecil *twist angle* berpengaruh dengan daya yang dihasilkan turbin. Ada juga yang perlu diperhatikan yaitu *tip ratio speed* (TSR). Nilai TSR yang terlalu tinggi maupun rendah juga akan menghasilkan daya yang tidak optimal.

Putra melakukan penelitian tentang optimasi sudut *twist* dan geometri *airfoil* sudu turbin angin sumbu horizontal berbasis kecepatan angin rendah menggunakan *based-gradient method* dan algoritma genetika. Optimasi ini dimaksudkan untuk distribusi sudut *twist* (*twist angle*) dan geometri *airfoil* sudu turbin angin yang memberikan daya keluaran terbesar. Untuk melibatkan geometri *airfoil* dalam proses optimasi maka perencanaan *airfoil* dilakukan dengan metode perancangan langsung menggunakan *artificial neural network* (ANN). Dengan metode ini mula-mula geometri *airfoil* dibangkitkan dengan menggunakan transformasi Joukowski dimana sebuah lingkaran ditransformasikan menjadi bentuk *airfoil* dalam bidang kompleks. *Airfoil* yang terbentuk selanjutnya dianalisis karakteristik aerodinamiknya dengan CFD sehingga tersusun basis data antara titik pusat lingkaran dan karakteristik aerodinamik. Berdasarkan basis data ini selanjutnya ANN disusun. Dalam optimasi pada penelitian ini variabel perancangan yang digunakan adalah koordinat titik pusat lingkaran ( $x$ ,  $y$ ) yang merupakan data masukan ANN dan sudut *twist*, dinyatakan dengan konstanta A dan B yang membentuk persamaan distribusi sudut *twist* secara linier  $0_i = A + B \cdot r_i$ , dimana  $r$  adalah jarak masing-masing stasiun *airfoil* ke- $i$  dari pangkal sudu. Sedangkan optimasi dilakukan menggunakan *optimization toolbox solver* dari MATLAB dengan dua metode optimasi yaitu *based-gradient method* dan algoritma genetika. Simulasi pada turbin angin dilakukan dengan menggunakan program *yawdyn* dan bertujuan untuk mengetahui daya kelauran yang dihasilkan. Dari hasil kedua optimasi diketahui bahwa untuk kecepatan angin 5  $\text{m/s}$  turbin angin acuan yang disimulasikan menggunakan *airfoil* NREL S834 hanya mampu menghasilkan daya sebesar 200 watt, sedangkan turbin angin baru hasil optimasi

mampu menghasilkan daya keluaran sebesar 1,3 kW. Nilai optimum ini dicapai oleh turbin angin dengan *airfoil* sudu yang dibentuk oleh pasangan koordinat titik pusat lingkaran di (-1.009, 0.0951). Sedangkan distribusi sudut *twist* optimum dibentuk oleh persamaan  $O_i = -1.063 - 3.610 \cdot r_i$ . Dari hasil ini juga diketahui bahwa sudut *twist* dan geometri *airfoil* masing-masing memberikan pengaruh yang sangat signifikan terhadap daya keluaran yang dihasilkan.

Kurniawan melakukan penelitian tentang kajian eksperimental dan numerikal turbin air helikal gorlov untuk *twist angle*  $60^\circ$  dan  $120^\circ$ . Pada penelitiannya bertujuan untuk mengetahui parameter optimum koefisien daya terhadap *tip speed ratio*  $\lambda$ , dan *twist angle* ( $\psi$ ) yang juga merupakan parameter optimum untuk merancang tipe turbin *cross flow cross*. Parameter diperoleh dari hasil pengujian dan melalui simulasi numerik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan dua parameter fisik *twist angle* 60 derajat dan 120 derajat dengan sudut pitch 72,56 derajat dan 57,8 derajat, sedangkan tinggi dan diameter turbin masing-masing adalah 0,3 m dan 0,18 m. Hasil uji menghasilkan *twist angle* 60 derajat memiliki kekuatan koefisien 10,1% sedangkan *twist angle* 120 derajat memiliki kekuatan koefisien sebesar 9,9%. Simulasi dinamik memberikan hasil perhitungan sebagai berikut: koefisien daya memiliki 27,5% untuk *twist angle* 60 derajat dan memiliki 31% untuk *twist angle* 120 derajat. Data kekuatan koefisien dari hasil pengujian dan simulasi numerik menunjukkan angka yang berbeda karena simulasi numerik tidak memperhitungkan kerugian mekanis gesekan dan kerugian lainnya, akan tetapi grafik koefisien daya terhadap *tip speed ratio* pada pengujian dan simulasi numerik menunjukkan kecenderungan yang sedikit berbeda.

Yawara *et al.*, (2016) melakukan penelitian tentang pengaruh profil sudu terhadap koefisien daya turbin gorlov. pada penelitian ini dilakukan dengan cara simulasi menggunakan perangkat lunak *SolidWorks*. Profil yang dipilih adalah NACA0012, NACA0017 dan NACA0022, selanjutnya sudu puntir (*twist angle*) 30 derajat, 60 derajat dan 90 derajat. Pada *tip speed ratio* yang ditetapkan sebesar 2, hasil terbaik diberikan oleh turbin gorlov dengan profil NACA0017 dengan sudut puntir (*twist angle*) 30 derajat, yaitu rata-rata 17,3%.

## METODE

Tahap pertama dalam penelitian ini adalah dengan melakukan perancangan turbin melalui *software* Solidworks 2014. Bentuk turbin merupakan kombinasi dari profil *blade* Darrieus yang dibentuk heliks. Profil *blade* menggunakan *airfoil* NACA 4415 dengan sudut serang  $0^\circ$ . Nilai koefisien *lift* dari *airfoil* NACA 4415 dengan sudut serang  $0^\circ$  berdasarkan aplikasi *Thin Aerofoil Theory* adalah 0,455. Variasi *twist angle* yang digunakan yaitu *twist angle*  $0^\circ$ , *twist angle*  $45^\circ$ , *twist angle*  $90^\circ$ .



**Gambar 1. Modifikasi rotor turbin**

**Tabel 1. Spesifikasi rancangan turbin**

Paramater	<i>Twist Angle</i>		
	0°	45°	90°
<i>Hydrofil</i>	NACA 4415	NACA 4415	NACA 4415
Panjang <i>Chord</i>	5 cm	5 cm	5 cm
Diameter <i>Blade</i>	24 cm	24 cm	24 cm
Tinggal <i>Blade</i>	30 cm	30 cm	30 cm

Setelah semua alat dan bahan sudah lengkap maka tahap selanjutnya adalah *set up* alat. Harus dipastikan bahwa seluruh bagian dapat bekerja dengan baik sesuai dengan fungsinya. Alat ukur yang digunakan seperti tachometer, dan multimeter juga dipastikan dalam keadaan baik sehingga dapat digunakan dalam penelitian.

### Alat dan Bahan Penelitian

Berbagai alat yang digunakan dalam penelitian ini adalah

- Digital *tachometer* digunakan untuk mengukur putaran turbin
- DC generator 12 V – 24 V pada 1.660 – 3.350 rpm digunakan untuk mengkonversi putaran turbin menjadi listrik.
- Multimeter sebagai alat untuk mengukur tegangan dan arus listrik.

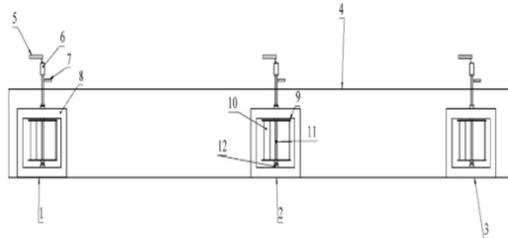
Kemudian bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

- Fiber*, sebagai bahan untuk pembuatan sudu turbin.
- Aluminium, sebagai bahan pembuatan Poros dan *Spoke*.
- Besi, sebagai bahan untuk pembuatan rangka turbin.

Pengambilan data dimulai dari mengukur kecepatan arus air dari aliran air anak sungai (saluran irigasi) menggunakan metode pelampung dengan cara mengukur langsung masuk kedalam sungai. Pelampung dalam mengukur kecepatan air menggunakan balon yang diisi air agar pelampung tersebut memiliki massa jenis yang sama dengan massa jenis air sungai tersebut sehingga memiliki keakuratan yang lebih baik dalam perhitungan kecepatan air sungai tersebut. Selanjutnya mengatur sudu-sudu pada poros yang terhubung dengan dudukan yang sudah terhubung dengan generator. Tachometer diarahkan ke solatip yang di-

tempelkan pada poros turbin untuk mengukur rpm. Setelah itu multimeter dipasang pada generator menggunakan kabel untuk mengukur voltase dan ampere yang dihasilkan turbin.

Data penelitian diambil dari turbin dengan tinggi 20 cm, diameter 24 cm, panjang *chord* sudu 5 cm, pada variasi *twist angle* dan variasi kecepatan arus air. Parameter dalam penelitian ini yang digunakan untuk menentukan kinerja adalah banyaknya rotasi per menit (rpm) dari turbin yang diujikan dengan menggunakan *tachometer* dan mengukur besarnya arus dan tegangan yang dihasilkan multimeter.



Keterangan:

- |                              |                  |
|------------------------------|------------------|
| 1. Posisi Pengambilan Data 1 | 7. Tachometer    |
| 2. Posisi Pengambilan Data 2 | 8. Rangka Turbin |
| 3. Posisi Pengambilan Data 3 | 9. Spoke Arm     |
| 4. Aliran Sungai (10 m)      | 10. Sudu         |
| 5. Multimeter                | 11. Poros Turbin |
| 6. DC Generator              | 12. Bearing      |

**Gambar 2. Skema penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode deskriptif eksperimen yaitu metode dalam membuat penelitian secara sistematis dan akurat tentang fakta yang didapat dari penelitian. Dalam perhitungan data yang telah diambil, rumus-rumus yang diperlukan adalah rumus daya generator ( $P$ ) seperti persamaan (2.8), rumus koefisien daya ( $C_p$ ) seperti persamaan (2.2) dan rumus *tip speed ratio* (TSR) seperti persamaan sebagai berikut:

$$P_{generator} = V \cdot I \quad P_{generator} = V \cdot I \quad (1)$$

Dimana:

$P_{generator}$  = daya motor listrik (watt)

$V$  = tegangan motor listrik (volt)

$I$  = arus listrik (ampere)

$$C_p = \frac{P_{turbin}}{P_{air}} \quad C_p = \frac{P_{turbin}}{P_{air}} \quad (2)$$

$$= \frac{V \times I}{0,5 \times \rho \times A \times v_1^3} \quad = \frac{V \times I}{0,5 \times \rho \times A \times v_1^3}$$

Dimana:

$C_p$  = Koefisien daya

$V$  = Tegangan motor listrik (volt)

$I$  = Arus listrik (ampere)

$\rho$  = Massa jenis air (1.000 kg/m<sup>3</sup>)

$$\lambda = \frac{U}{v} = \frac{\omega R}{v} \lambda = \frac{U}{v} = \frac{\omega R}{v} \quad (3)$$

Dimana :

$\lambda$  = tip speed ratio

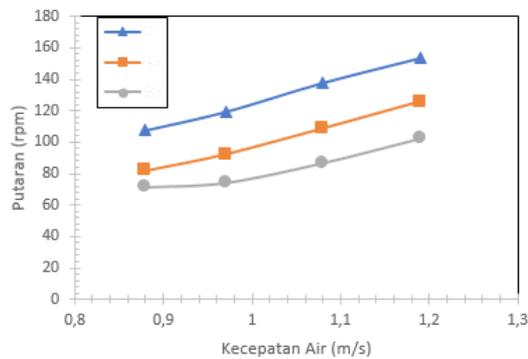
$\omega$  = kecepatan sudut rotor (rad/s)

$R$  = jari-jari turbin (m)

$V$  = kecepatan air (m/s)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hubungan Variasi *Twist Angle* terhadap Putaran Turbin



Gambar 3. Grafik Hubungan Variasi *Twist Angle* terhadap Putaran Turbin

Tabel 2. Variasi *Twist Angle* Terhadap Putaran Tubin

Kecepatan Air (m/s)	Putaran, $n$ (rpm)		
	0°	45°	90°
0,88 m/s	103,81	81,96	71,63
0,97 m/s	119,48	92,29	74,39
1,08 m/s	137,86	108,55	86,95
1,19 m/s	153,57	125,48	102,49

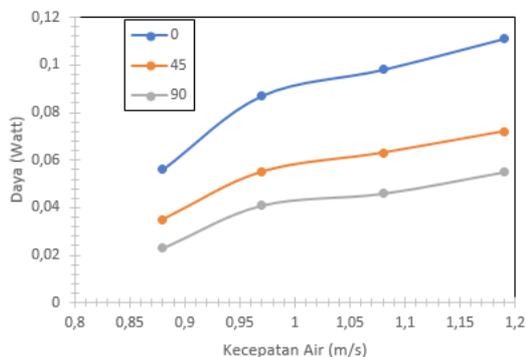
Gambar 3 dan Tabel 2 menunjukkan bahwa hubungan antara putaran turbin dan kecepatan air sebanding. Jadi, semakin tinggi kecepatan air maka putaran turbinnya juga akan semakin tinggi. Semakin tinggi kecepatan air berpengaruh positif terhadap putaran turbinnya sedangkan penambahan sudut puntir atau *twist angle* berpengaruh negatif terhadap putaran turbin.

Turbin Air sumbu vertikal dengan *twist angle*  $0^{\circ}$  memiliki rpm tertinggi dari keempat variasi kecepatan arus air, setelah itu Turbin dengan *twist angle*  $45^{\circ}$  kemudian Turbin dengan *twist angle*  $90^{\circ}$ . Putaran yang paling tinggi sebesar 153,57 rpm didapatkan pada kecepatan air 1,19 m/s oleh Turbin dengan *twist angle*  $0^{\circ}$ , sedangkan pada putaran terendah yaitu 71,63 rpm pada kecepatan air 0,88 m/s oleh Turbin dengan *twist angle*  $90^{\circ}$ . Peningkatan kecepatan arus air berpengaruh positif terhadap putaran turbin, sedangkan peningkatan besaran sudut puntir / *twist angle* sampai dengan  $90^{\circ}$  berpengaruh negatif terhadap putaran turbin.

### Hubungan Variasi *Twist Angle* terhadap Daya Turbin

Tabel 3. Variasi *Twist Angle* terhadap Daya Turbin

Kecepatan Air (m/s)	Daya, P (Watt)		
	$0^{\circ}$	$45^{\circ}$	$90^{\circ}$
0,88 m/s	0,056	0,035	0,023
0,97 m/s	0,087	0,055	0,041
1,08 m/s	0,098	0,063	0,046
1,19 m/s	0,111	0,072	0,055



Gambar 4. Grafik Hubungan Variasi *Twist Angle* terhadap Daya Turbin

Gambar 4 dan tabel 3 menunjukkan hubungan antara kecepatan air dan daya yaitu sebanding. Kecepatan air berpengaruh positif terhadap daya turbin dengan *twist angle*  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$  maupun  $90^{\circ}$ . Hal ini disebabkan karena semakin tinggi kecepatan air, maka daya input dari arus air juga semakin tinggi dan semakin tinggi tinggi daya input turbin, maka secara umum daya output atau

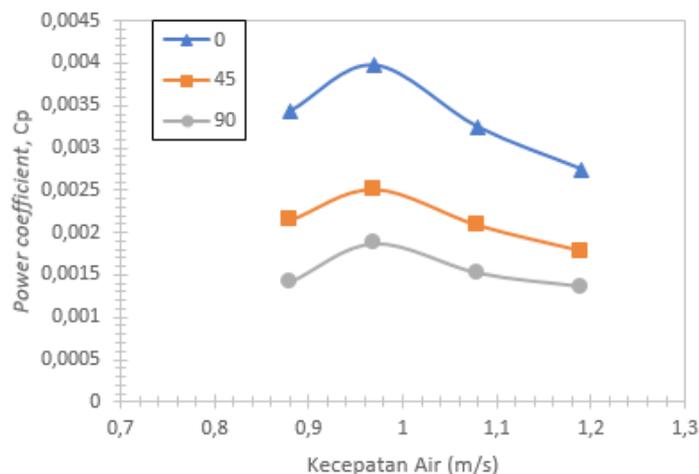
daya mekanik turbin juga semakin besar (Ismail, 2016: 50).

Daya terbesar yang dihasilkan oleh turbin adalah turbin dengan twist angle  $0^{\circ}$  dengan kecepatan air 1,19 m/s sebesar 0,111 Watt, sedangkan turbin dengan *twist angle*  $90^{\circ}$  dengan kecepatan air 0,88 m/s menghasilkan daya terendah yaitu 0,023 Watt. Kecepatan air berbanding lurus dengan putaran turbin yang dihasilkan, begitupun dengan daya. Putaran turbin dengan daya turbin juga berbanding lurus, semakin banyak putaran turbin maka daya turbin juga akan meningkat. Bertambahnya sudut puntir atau *twist angle* sampai dengan sudut  $90^{\circ}$  berpengaruh negatif terhadap daya turbin dengan *twist angle*  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$  maupun  $90^{\circ}$ .

### Hubungan Variasi *Twist Angle* terhadap *Power Coefficient* ( $C_p$ ) Turbin

Tabel 4. Variasi *Twist Angle* terhadap  $C_p$

Kecepatan Air (m/s)	<i>Power Coefficient, C<sub>p</sub></i>		
	$0^{\circ}$	$45^{\circ}$	$90^{\circ}$
0,88 m/s	0,00342	0,00214	0,00141
0,97 m/s	0,00397	0,00251	0,00187
1,08 m/s	0,00324	0,00208	0,00152
1,19 m/s	0,00274	0,00178	0,00136



Gambar 5. Grafik Hubungan Variasi *Twist Angle* terhadap  $C_p$

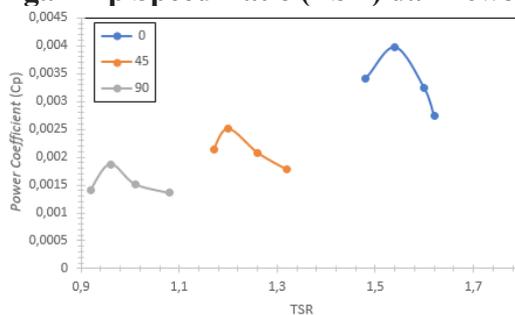
Gambar 5 dan Tabel 4 menunjukkan hubungan antara kecepatan air terhadap koefisien daya ( $C_p$ ) adalah berbanding terbalik. Semakin tinggi kecepatan air, maka koefisien daya ( $C_p$ ) turbin dengan *twist angle*  $0^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$  maupun  $90^{\circ}$  semakin rendah. Hal ini disebabkan oleh peningkatan

daya input/ daya air tidak sebanding dengan daya output/ daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin. Peningkatan kecepatan air berdampak pada meningkatnya daya input/ daya air yang lebih besar daripada peningkatan daya mekanik/ daya turbin. Secara teori dengan bertambah besarnya kecepatan air berbanding terbalik pangkat tiga terhadap koefisien daya ( $C_p$ ), sehingga koefisien daya ( $C_p$ ) menuurun lebih cepat secara eksponensial jika dengan peningkatan daya mekanik turbin (berupa torsi dan putaran turbin) (Ismail, 2016: 52-53).

Koefisien daya ( $C_p$ ) adalah perbandingan antara daya turbin/ daya *output* dengan daya arus air/ *input*. Daya turbin dipengaruhi oleh putaran turbin. Semakin banyak putaran maka semakin tinggi daya turbin. Bertambahnya sudut puntir atau *twist angle* sampai dengan  $90^\circ$  berpengaruh negatif terhadap koefisien daya ( $C_p$ ). Semakin bertambahnya sudut puntir atau *twist angle* semakin tinggi momen inersianya. Sehingga mengakibatkan Koefisien daya ( $C_p$ ) turbin dengan *twist angle*  $90^\circ$  paling rendah dari variasi lainnya.

Turbin dengan variasi *twist angle*  $0^\circ$  menghasilkan daya paling tinggi dari keempat variasi kecepatan air, setelah itu variasi *twist angle*  $45^\circ$  kemudian variasi *twist angle*  $90^\circ$ . Koefisien daya paling tinggi adalah 0,00397 pada kecepatan air 0,97 m/s oleh turbin dengan *twist angle*  $0^\circ$ , sedangkan koefisien daya terendah adalah 0,00136 pada kecepatan air 1,19 m/s oleh turbin dengan *twist angle*  $90^\circ$ .

### Hubungan Tip Speed Ratio (TSR) dan Power Coefficient ( $C_p$ )



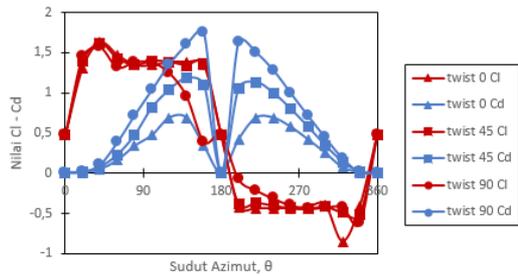
**Gambar 6. Grafik Hubungan TSR –  $C_p$**

Gambar 6 dapat dilihat gambar grafik hubungan antara *tip speed ratio* dengan *power coefficient* ( $C_p$ ). Semakin tinggi *tip speed ratio*, *Power coefficient* atau koefisien daya meningkat secara parabolik. Hal ini disebabkan karena prinsip aerodinamis rotor turbin yang memanfaatkan gaya dorong (*drag*) saat mengekstrak energi air dari aliran air yang melalui sudu turbin, sehingga semakin cepat kecepatan air,  $C_p$  turbin heliks cenderung menurun begitu juga dengan TSR (Purnama *et al.*, 2013: 281). Pada gambar 6 menunjukkan bahwa turbin yang paling optimal

adalah turbin dengan *twist angle*  $0^{\circ}$  memiliki Koefisien daya ( $C_p$ ) sebesar 0,00397 dan nilai TSR sebesar 1,54.

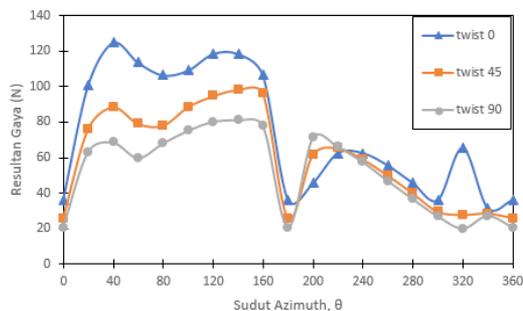
### Hubungan Variasi *Twist Angle* dengan Gaya pada Turbin

Gaya *lift* dan *drag* yang terjadi pada turbin air tergantung pada besar koefisien lift ( $C_l$ ) dan koefisien drag ( $C_d$ ). Grafik nilai  $C_l$  dan nilai  $C_d$  untuk *hydrofoil* NACA 4415 dari *software Qblade v0.963* sebagai berikut.



**Gambar 7. Grafik Nilai Cl – Cd Hydrofoil NACA 4415**

Berdasarkan gambar 7 grafik Cl – Cd diatas menunjukkan bahwa turbin air sumbu vertikal dalam penelitian ini untuk gaya *drag* lebih dominan karena nilai Cd bernilai positif dibanding nilai Cl yang terdapat nilai negatifnya. Selain itu, hasil perhitungan resultan gaya antara gaya *lift* dan *drag* dapat dilihat pada grafik berikut yang menggambarkan hubungan antara resultan dengan sudut *azimuth*.



**Gambar 8 Hubungan Twist Angle dengan Resultan Gaya pada Turbin**

Grafik pada gambar 8 menunjukkan hubungan *twist angle* dengan resultan gaya pada turbin. Turbin dengan variasi *twist angle*  $0^{\circ}$  secara dominan nilai resultannya paling tinggi dibanding variasi *twist angle* yang lain. Turbin dengan variasi *twist angle*  $90^{\circ}$  secara dominan memiliki nilai resultan terendah. Nilai gaya resultan dengan daya pada turbin ialah berbanding lurus. Semakin tinggi nilai gaya resultan maka daya akan semakin tinggi.

## SIMPULAN

Berdasarkan analisa dan pembahasan dari hasil penelitian yang dilakukan dapat diambil kesimpulan sebaagai berikut. 1) *Twist Angle* sangat mempengaruhi kinerja turbin air sumbu vertikal dengan variasi sudut puntir atau *twist angle* paling besar hanya mencapai  $90^{\circ}$ , dalam penelitian ini semakin besar sudut puntir atau *twist angle* (sampai dengan  $90^{\circ}$ ) maka putaran turbin dan daya turbin yang dihasilkan semmakin rendah di semua variasi kecepatan. Jadi, turbin dengan *twist angle*  $0^{\circ}$  memiliki putaran dan daya paling tinggi, disusul turbin dengan *twist angle*  $45^{\circ}$  dan yang menghasilkan putaran dan daya turbin paling rendah adalah turbin dengan *twist angle*  $90^{\circ}$ . 2) Kecepatan air juga mempengaruhi kinerja turbin air sumbu vertikal, karena kecepatan air berbanding lurus dengan putaran turbin, daya yang dihasilkan turbin dan *Tip Speed Ratio* (TSR). Jadi, semakin tinggi kecepatan air maka tinggi pula putaran turbin, daya turbin yang dihasilkan dan *Tip Speed Ratio* (TSR). 3) Turbin air sumbu vertikal berdasarkan hasil penelitian ini dengan nilai koefisien daya ( $C_p$ ) tertinggi adalah turbin dengan *twist angle*  $0^{\circ}$  pada kecepatan air 0,97 m/s dengan nilai  $C_p$  sebesar 0,00397 dan nilai TSR sebesar 1,54.

## DAFTAR PUSTAKA.

- Ismail, A. 2016. Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah Foil Terhadap Efisiensi Turbin Heliks Cascade Foil. *Tugas Akhir*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Kurniawan, I. 2014. Kajian Eksperimental dan Numerikal Turbin Air Helikal Gorlov Untuk Twist Angle 60 dan 120. *Jurnal Teknobiologi* V(1): 7.
- Manik, R. 2013. Turbin, Turbin Air, Turbin Cross Flow dan Turbin Francis dan Turbin Pelton. <http://rid-omanik.blogspot.com/2013/07/turbin-air.html>, (diakses pada tanggal 12 Desember 2017)
- Purnama, A. C., R., Hantoro, G., Nugroho. 2013. Rancang Bangun Turbin Air Sungai Poros Vertikal Tipe *Savonius* dengan Menggunakan Pemandu Arah Aliran. *JURNAL TEKNIK POMITS* 2(2): 278 – 282.
- Putra, H. 2010. Optimasi Sudutt *Twist* dan Geometri *Airfoil* Sudu Turbin Angin Sumbu Horizontal Berbasis Kecepatan Angin Rendah Menggunakan *Bassed-Gradient Method* dan Algoritma Genetika. *Tugas Akhir*. Universitas Diponegoro. Semarang.
- Shiono, M., K. Suzuki., and S. Kiho. 2002. Output Characteristics of Darrieus Water Turbin with Heliical Blades for Tidal Current Generations. *Proceedings of The Twelfth*. Departemen Of Electrical Engineering, College Of Science and Technology. Nihon University. Tokyo. Japan
- Sitepu, A.W., J.B., Jorfri, S., Agus. 2014. Kajian Eksperimental Pengaruh Bentuk Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Helik Untuk Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH). *Jurnal FEMA* 2(2): 72 – 78.
- Yawara, E., Y.A., Jayatun, D. Sugati. 2016. Pengaruh Profil Sudu Terhadap Koefisien Daya Turbin Gorlov. *KURVATEK* 1(2): 7-11