

**BILAH LENGKUNG SERET LEPAS UNTUK PENINGKATAN EFISIENSI  
PADA TURBIN ARUS LAUT SUMBU VERTIKAL***DRAG RELEASE ARC BLADE TO INCREASE EFFICIENCY IN VERTICAL AXIS  
MARINE CURRENT TURBINE*

**Dwi Yoga Nugroho<sup>1</sup>, Ahmad Mukhlis Firdaus<sup>2</sup>, Krisnaldi Idris<sup>2</sup>, Sofiyan Muji Permana<sup>1</sup>,  
Daniel Fitzgerald<sup>2</sup>, Abdul Qohar Hadzami<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Pusat Pengkajian dan Perencanaan Teknologi Kelautan dan Perikanan  
Jl. Pasir Putih I Ancol Timur Jakarta 14430

<sup>2</sup>Program Studi Teknik Kelautan, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung.

*Diterima tanggal: 2 Oktober 2012, diterima setelah perbaikan: 14 Februari 2013, disetujui tanggal: 22 April 2013*

**ABSTRAK**

Kepulauan Indonesia memiliki tunggang pasang surut dan arus laut yang tidak besar jika dibandingkan dengan belahan bumi bagian utara atau selatan. Untuk dapat memanfaatkan potensi energi arus yang ada, dibutuhkan turbin dengan efisiensi tinggi, torsi besar serta memiliki kecepatan awal berputar yang kecil. Turbin arus laut, adalah perangkat untuk mengubah pergerakan kinetik arus laut menjadi energi listrik di dalam sistem pembangkit. Untuk dapat bekerja optimal, turbin membutuhkan kecepatan arus laut yang cukup untuk menggerakkan bilah-bilah dengan bentuk yang paling efisien menangkap aliran dari segala arah. Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan keunggulan parameter kinerja turbin seperti efisiensi daya, torsi, kecepatan putar awal dan rasio kecepatan ujung bilah. Pada penelitian ini dilakukan uji coba laboratorium terhadap turbin sumbu vertikal dengan 2 tipe lengkung bilah seret lepas. Turbin ini diharapkan memiliki efisiensi tinggi dengan kecepatan putar yang kecil dibandingkan turbin sumbu vertikal lainnya. Hasil percobaan laboratorium menunjukkan bahwa efisiensi turbin mencapai 0,53 dan merupakan efisiensi tertinggi yang pernah dicapai dalam pengembangan tipe turbin vertikal serupa yang pernah ada dan memiliki kecepatan putar awal hanya 10 cm/s.

Kata kunci: Arus laut, turbin sumbu vertikal, bilah seret lepas, efisiensi turbin

**ABSTRACT**

*Indonesia archipelago has smaller tidal range compare to area in southern or northern hemisphere. To utilize ocean current energy potency, it takes the turbine with high efficiency, large torque and has a small initial speed spinning. Marine current turbine is a devices to converse kinetic movement from oceant current to generate electricity in power plant system. For work optimalization, turbine need enough current velocity to move the blades with very efficient shape to catch flow from any direction. The purpose of this research is to get excellence performance parameters such as turbine power efficiency, torque, speed dial start and tip speed ratio. This research conducted laboratory testing for vertical axis turbine with 2 arc shape drag release. This type of turbine will propose to have higher efficiency with smaller starting speed compare to other vertical axis turbine. The results of laboratory experiments that have been performed on two specimens curved blade turbine models shows that turbine efficiency can reach up to 0,53 which is the highest efficiency achieved by similar vertical axis type turbine and this turbine only have 10 cm/s for starting speed.*

*Keywords: Marine current, vertical axis turbine, drag release blade, turbine, efficiency.*

## PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia, terletak di antara Samudera Hindia dan samudera pasifik, dan memiliki lebih dari 17.000 pulau. Di beberapa daerah terdapat beberapa selat yang berpotensi mempercepat arus laut karena adanya efek penyempitan celah. Besaran kecepatan arus pada beberapa selat merupakan potensi energi kinetik yang dapat dikembangkan menjadi energi listrik.

Secara umum air laut memiliki potensi energi yang besar jika dibandingkan dengan energi yang dihasilkan oleh angin. Air laut memiliki massa jenis sebesar  $1025 \text{ kg/m}^3$  yang jauh lebih besar dibandingkan dengan massa jenis udara sebesar  $1,223 \text{ kg/m}^3$ . Jika pergerakan air laut diekstraksi menjadi energi listrik pada suatu turbin, maka dibutuhkan kecepatan arus yang jauh lebih kecil dibandingkan kecepatan gerak aliran udara yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya listrik yang sama.

Turbin arus laut, berfungsi untuk menangkap pergerakan kinetik arus laut dan diubah menjadi energi listrik di dalam sistem pembangkit. Untuk dapat bekerja optimal, turbin membutuhkan arus laut yang cukup untuk menggerakkan bilah-bilah turbin sehingga menghasilkan gaya torsi untuk memutar generator.

Dari letak geografis yang berada di garis khatulistiwa menyebabkan nilai *Coriolis Force* kecil sehingga Indonesia memiliki tunggang pasang surut dan arus laut yang tidak besar jika dibandingkan dengan belahan bumi bagian utara atau selatan. Teknologi turbin arus laut komersial yang berkembang saat ini mengakomodasi kecepatan arus sampai dengan  $500 \text{ cm/s}$  dan kecepatan awal putar di atas  $100 \text{ cm/s}$  sehingga tidak cocok diterapkan di perairan selat Indonesia dimana sebagian besar selatnya memiliki kecepatan arus di bawah  $300 \text{ cm/s}$  sekitar rata-rata  $1.5 \text{ m/s}$  (Hadi,S. 2006). Untuk dapat memanfaatkan potensi energi arus yang ada, dibutuhkan turbin dengan efisiensi tinggi, torsi besar serta memiliki kecepatan awal berputar yang kecil.

Perkembangan turbin arus laut telah mengerucut ke turbin sumbu horizontal dan turbin sumbu vertikal. Kedua jenis turbin ini memiliki beberapa kelebihan

dan kekurangan. Turbin arus sumbu vertikal tipe aliran melintang memiliki kelebihan diantaranya rancangan sederhana sehingga mudah dibuat dan lebih murah, generator dapat ditempatkan di ujung sumbu putar yang memungkinkan penempatan di atas air, bentuk seperti silinder untuk memudahkan pemasangan penyearah arus (*ducting*) dan dapat bekerja dengan baik walaupun profil vertikal arus tidak merata terutama dengan pemanfaatan bilah miring atau melengkung.

Turbin tipe sumbu vertikal yang telah memasuki tahapan uji coba dan komersialisasi tidak semua mengeluarkan publikasi hasil uji cobanya. Perkembangan teknologi pembangkit listrik tenaga arus laut pada skala uji coba dan komersil tipe sumbu vertikal terbagi pada jenis turbin yang berputar akibat reaksi gaya angkat aliran (*lift force*) yang merupakan pengembangan dari turbin tipe *darrieus* di antaranya turbin KOBOLD, GORLOV dan turbin yang berputar akibat gaya seret aliran (*drag force*).

Turbin tipe gaya angkat aliran (*lift drag*) dapat beroperasi dengan baik pada daerah yang memiliki kecepatan arus yang besar. Nilai perbandingan antara kecepatan aliran yang melewati bilah dengan kecepatan ujung bilah berputar (*tip speed ratio*) dapat mencapai lebih dari 3 (Winchester.S.D, et al, 2009) dan hasil ujicoba turbin tipe gaya angkat aliran didapatkan nilai efisiensi daya mencapai angka 0.30113 pada turbin GORLOV (Gorlov.A, et al, 2001), 0.23 pada turbin KOBOLD (Calcagno. G, et al. 2006), 0.38 pada turbin LHI (Erwandi, 2009).

Turbin tipe gaya seret aliran (*drag force*) dapat beroperasi dengan baik pada kecepatan arus laut rendah karena memiliki luas bilah yang lebih besar daripada turbin gaya angkat aliran (*lift force*) dan dapat beroperasi pada kecepatan arus laut antara  $100 \text{ cm/s} - 200 \text{ cm/s}$  (Hughes,A.S. 1993).

Untuk meningkatkan nilai torsi putar maka luas tangkapan aliran pada bilah diperluas. Salah satu ide untuk memperluas tangkapan aliran pada bilah ialah membuat bentuk bilah melengkung mengikuti profil dari sayap pesawat terbang. Luas tangkapan aliran yang besar pada bilah turbin diharapkan akan menambah nilai efisiensi daya turbin karena akan efektif menangkap sebagian besar aliran yang masuk ke dalam turbin. Penggunaan bilah lengkung diharapkan akan

mempercepat putaran turbin dengan rasio kecepatan putar turbin dan kecepatan arus yang lebih besar.

Tujuan penelitian ini adalah mendapatkan keunggulan parameter kinerja turbin tipe seret lepas (*drag release type*) seperti efisiensi daya, torsi, kecepatan putar awal (*start up speed*) dan rasio kecepatan ujung bilah (*tip speed ratio*) pada benda uji bilah lengkung dengan melakukan tes hidrodinamika di laboratorium

**BAHAN DAN METODE**

**Model Uji**

Dalam pembuatan benda uji perlu mendapatkan keserupaan yang tepat. Karena gaya gravitasi dominan dalam suatu fenomena fisik maka keserupaan yang digunakan pada penelitian ini adalah keserupaan *Froude*. Adapun hubungan antara rasio kecepatan arus dan dimensi panjang dari model dari ialah:

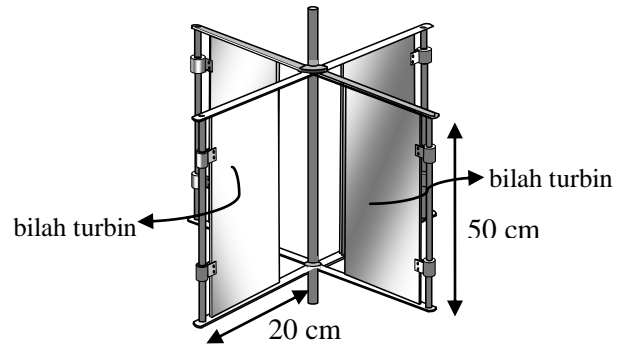
$$N_V = \sqrt{N_L} \tag{1}$$

Hubungan antara rasio skala waktu dan dimensi panjang antara model dan prototipe ialah:

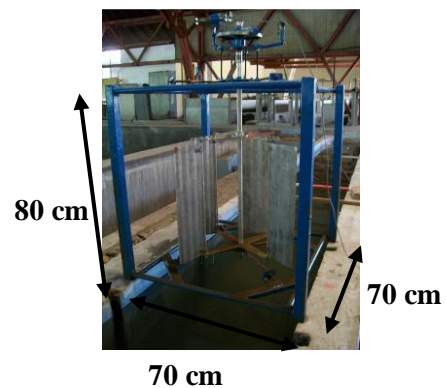
$$N_T = \sqrt{N_L} \tag{2}$$

dimana  $N_V$  adalah rasio kecepatan,  $N_L$  adalah rasio dimensi panjang dan  $N_T$  adalah rasio skala waktu.

Pada percobaan ini dibuat model turbin 4 lengan tipe seret lepas (Gambar 1). Dimensi benda uji ialah tinggi 50 cm, diameter 40 cm dipasang pada sebuah kerangka baja (Gambar 2) yang dimasukkan pada kolam arus dengan ukuran panjang 70 cm, lebar 70 cm, tinggi 80 cm. Bilah turbin terbuat dari bahan alumunium dengan ketebalan 0,2 cm.



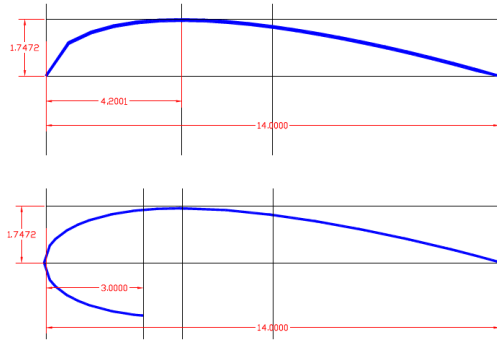
**Gambar 1. Turbin tipe seret lepas 4 lengan**  
(*Turbine type 4 sleeve loose drag*)



**Gambar 2. Kerangka Baja untuk peletakan turbin**  
(*Steel framework for laying of turbine*)

Pada pengujian ini digunakan dua model bentuk lengkung. Bentuk lengkung bilah mengikuti lengkung atas profil *National Advisory Commitee for Aeronautics (NACA)* seri 0028 (bilah A) dan bentuk lengkung bilah kedua (bilah B) merupakan modifikasi dari bilah lengkung pertama dengan kelengkungan yang dibuat lebih lebar untuk menghasilkan gaya seret lebih besar seperti terlihat pada Gambar 3.

Skala geometri model uji yang digunakan ialah 1: 0,4. Pemilihan nilai skala ini mengikuti kondisi geometri prototipe turbin arus laut yang akan diujikan skala penuh di lapangan dengan dimensi dari saluran arus yang tersedia. Nilai skala yang digunakan pada penelitian mengikuti Tabel 1.



**Gambar 3. Bentuk lengkung model uji bilah A (atas) dan bilah B (bawah)**  
*(The curvature blades A test model (top) and bar B (bottom))*

**Tabel 1. Ukuran penskalaan model uji**  
*(Size scaling test model)*

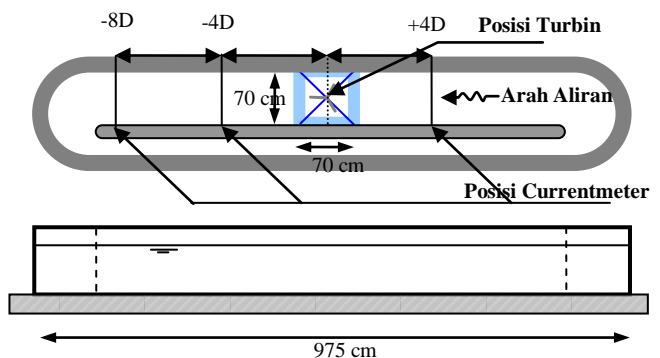
No	Ukuran	Prototipe	Model
1	Skala	1	0.4
2	Tinggi (cm)	125	50
3	Diameter (cm)	100	40
4	Waktu (detik)	1	0.447
5	Berat	$\gamma$	$0.008 \gamma$
6	Kecepatan Arus (cm/s)	100	63.2
		80	50.6
		60	37.9
		40	25.3
		20	12.6
		0	0

**Percobaan**

Penelitian menggunakan fasilitas kolam arus melingkar di laboratorium teknik kelautan Institut Teknologi Bandung (Gambar 4). Kolam arus merupakan struktur beton berbentuk melingkar dengan dimensi panjang 975 cm, lebar 100 cm dan tinggi air maksimum 65 cm. Aliran pada kolam arus digerakkan oleh pompa dengan kapasitas motor 15 Kw yang diatur oleh inverter 50 Hz. Sebelum dilakukan percobaan, diuji kemampuan motor pompa untuk menghasilkan kecepatan arus pada kolam seperti terlihat pada Tabel 2. Instrumen pengambilan data yang digunakan ialah *current meter*, *data logger*, kamera *high definition (30 fps)*, *load cell*.

Pengukuran rotasi dilakukan dengan menempatkan kamera tegak lurus di atas model uji turbin yang merekam pergerakan turbin pada setiap posisi dalam  $360^0$  ketika terkena aliran air (Gambar 5). Hasil dari perekaman kamera kemudian diurai tiap *frame* untuk mendapatkan kecepatan rotasinya. Pengukuran torsi dilakukan dengan mengaitkan pengukur beban/gaya (*load cell*) pada ujung luar bilah turbin bagian atas untuk mengetahui torsi yang dibangkitkan turbin pada berbagai posisi terhadap sudut datang arus.

Variasi pengukuran rotasi dilakukan pada kondisi turbin terendam air dengan frekuensi inverter 10 Hz, 20 Hz, 30 Hz, 40 Hz, 50 Hz dengan menggunakan titik +4D (160 cm dari posisi turbin) sebagai posisi penempatan *currentmeter* untuk mendapatkan kecepatan aliran air sebelum mengenai bilah turbin.



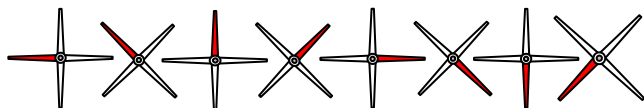
**Gambar 4. Sketsa kolam pengujian**  
*(Sketch of a swimming test)*

**Tabel 2. Kecepatan maksimum arus yang dibangkitkan dari inverter di titik +4D**

*The maximum speed of the inverter currents generated at point +4D)*

Frekuensi Inverter (Hz)	Kecepatan Arus (cm/s)
10	10.58
20	23.03
30	36.43
40	52.24
50	67.06

$0^0$   $45^0$   $90^0$   $135^0$   $180^0$   $215^0$   $270^0$   $315^0$



**Gambar 5. Posisi acuan pergerakan turbin dalam pengambilan data**

*(The position of the reference turbine movement in data collection)*

**Kinerja Turbin**

Pada percobaan ini, parameter yang digunakan merupakan parameter yang biasa digunakan dalam menguji kinerja suatu turbin angin baik sumbu horizontal maupun sumbu vertikal. Parameter yang diukur diantaranya rasio kecepatan ujung bilah (*tip speed ratio*), kecepatan sudut putar, gaya torsi, daya listrik dan efisiensi. Formulasi yang digunakan merupakan formulasi umum yang digunakan untuk menghitung gaya aliran fluida yang mengenai turbin angin (Johnson, G. L. 1985) diantaranya :

- Rasio kecepatan ujung bilah (*Tip Speed Ratio*)

Merupakan rasio kecepatan tepi dengan kecepatan arus, *Tip Speed Ratio* (TSR) didefinisikan:

$$\lambda = \frac{R\omega}{u} \tag{3}$$

Dimana:  $\lambda = \text{Tip Speed Ratio (TSR)}$

R = radius turbin

$\omega$  = kecepatan sudut turbin

u = kecepatan arus air

- Torsi

Torsi diukur dengan mencatat besar gaya yang terjadi pada posisi turbin tertentu, dikalikan dengan lengan momen yang diukur. Besarnya torsi akan berbeda untuk berbagai kecepatan arus, kedalaman air, dan lebar sirip turbin. Karena turbin ini bergerak karena gaya drag, maka torsi yang diukur dinormalisasi terhadap momen drag. Dengan rumusan sebagai berikut:

$$T = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho Au^2 l} \tag{4}$$

Dimana: T = torsi normalisasi

T = torsi hasil pengukuran

$\rho$  = densitas air (1000 kg/m<sup>3</sup>)

A = luas bidang proyeksi turbin

u = kecepatan arus air

l = panjang lengan momen dari titik *centroid* sirip ke pusat turbin

- Daya

Daya yang tersedia pada air dapat ditulis:

$$P_w = \frac{1}{2}\rho Au^3 \tag{5}$$

Dimana:  $P_w = \text{power / Daya}$

$\rho$  = densitas air (1000 kg/m<sup>3</sup>)

A = luas bidang proyeksi turbin

u = kecepatan arus air

Daya yang keluar pada sumbu turbin adalah

$$P_T = T\omega \tag{6}$$

Dimana:  $P_T = \text{daya pada sumbu}$

T = torsi turbin

$\omega$  = kecepatan sudut turbin

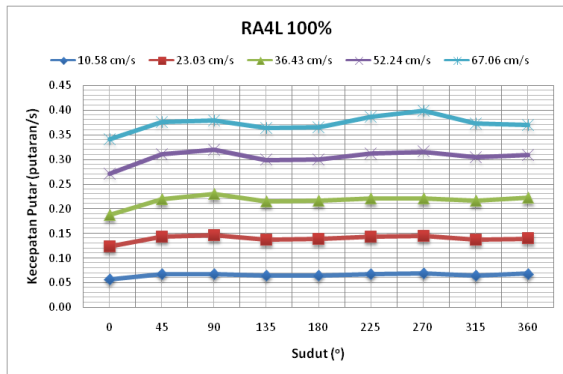
Maka Koefisien Kinerja Turbin ( $C_p$ ) adalah perbandingan Daya yang dihasilkan oleh turbin  $P_T$  dan daya yang tersedia dari arus air  $P_w$  adalah

$$C_p = \frac{P_T}{P_w} \tag{7}$$



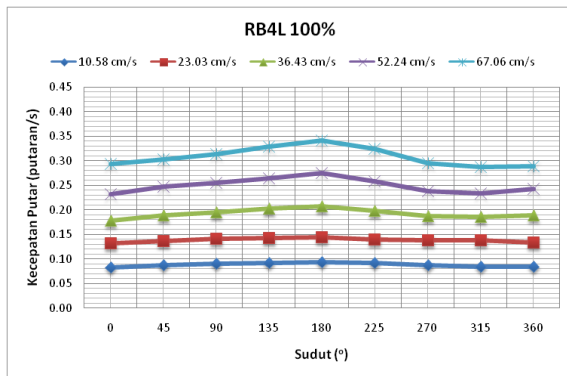
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

Turbin tipe seret lepas menghasilkan kecepatan putar yang tidak konstan. Hal ini dikarenakan turbin hanya berputar ketika aliran memberikan gaya seret ke bilah. Kecepatan putar turbin meningkat dengan kenaikan kecepatan arus. Pada turbin tipe A didapatkan kecepatan putar yang lebih tinggi (Gambar 6) dibandingkan dengan turbin tipe B (Gambar 7).



**Gambar 6. Variasi kecepatan putar turbin tipe bilah A**

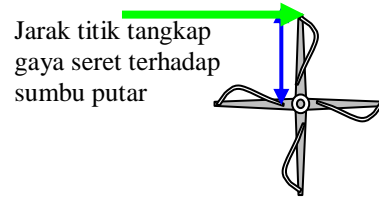
(Variable speed rotary blade turbine type A)



**Gambar 7. Variasi kecepatan putar turbin tipe bilah B**

(Variable speed rotary blade turbine type B)

Tingginya kecepatan putar ini dikarenakan turbin tipe A (Gambar 8) memiliki luas lengkung yang lebih kecil dari turbin tipe B sehingga gaya seret berlawanan arah aliran yang dihasilkan juga lebih kecil dan dapat membuat turbin lebih cepat berputar.

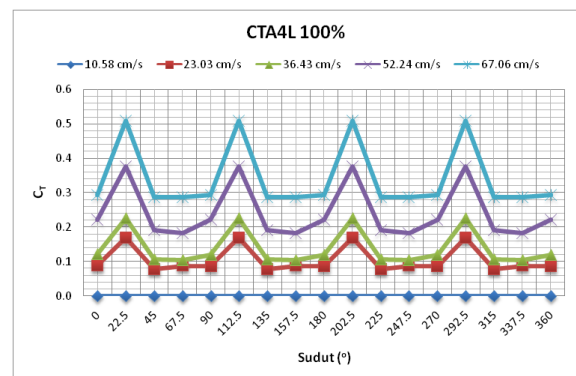


**Gambar 8. Ilustrasi titik tangkap gaya terhadap model turbin tipe A**

(Illustrations capture point force to the model turbine type A)

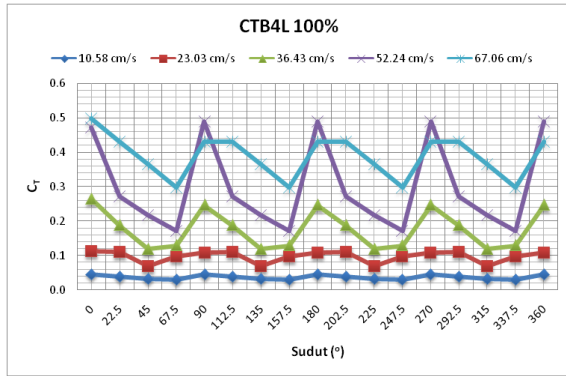
Keunggulan turbin tipe seret (*drag*) ialah dapat berputar dikecepatan awal yang sangat rendah. Pada kecepatan arus 10.58 m/s, turbin sudah mulai berputar dengan kecepatan putaran 0.06 putaran per detik dan kecepatan putar ini relatif konstan karena gaya gesek positif arah aliran yang dihasilkan belum terlalu besar.

Jika dibandingkan torsi yang dihasilkan dari kedua jenis turbin ini didapatkan variasi rentang torsi yang dihasilkan pada kedua jenis turbin ini tidak terlalu besar (Gambar 9 dan Gambar 10). Torsi maksimum yang dicapai oleh kedua jenis turbin juga tidak jauh berbeda. Kenaikan kecepatan arus mempengaruhi kenaikan torsi pada putaran turbin. Perbedaan yang terlihat dari turbin tipe A dan turbin tipe B adalah variasi besaran torsi yang dihasilkan. Pada turbin tipe B variasi torsi berbeda ketika arus mencapai 67.06 cm/s.



**Gambar 9. Variasi torsi normalisasi turbin tipe bilah A**

(Variations of normalized torque turbine blades type A)

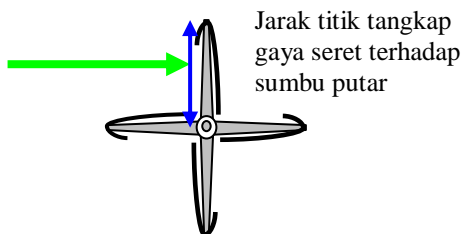


Gambar 10. Variasi torsi normalisasi turbin tipe bilah B

(Variations of normalized torque turbine blades type B)

Bentuk lengkung pada turbin tipe B mempengaruhi variasi torsi ini. Hasil torsi yang dihasilkan pada turbin B terjadi penurunan torsi pada kecepatan arus 67.06 cm/s dimana seharusnya nilai torsi yang dihasilkan pada kecepatan 52.24 cm/s akan meningkat pada kecepatan arus 67.06 cm/s dan menghasilkan bentuk grafik serupa. Selain meningkatkan nilai putaran turbin dan torsi, kenaikan kecepatan arus juga bisa membuat kenaikan torsi negatif pada turbin tipe B yang memiliki lengkung lebih besar.

Terjadi fenomena penurunan torsi turbin jika arus yang diberikan semakin besar. Penurunan torsi turbin disebabkan gaya seret positif (searah aliran) mengalami pengurangan gaya dorong akibat gaya seret negatif (berlawanan arah aliran) semakin besar (Gambar 11). Hal yang terpenting yang ingin dilihat pada pengujian turbin ialah nilai tip speed ratio (TSR) dan efisiensi daya yang dihasilkan. Hasil perhitungan untuk nilai TSR dan efisiensi turbin seperti terlihat pada Tabel 3.



Gambar 11. Ilustrasi titik tangkap gaya terhadap model turbin tipe B

(Illustrations capture point force to the model turbine type B)

Pada turbin tipe B didapatkan nilai TSR mencapai 1.01. Hal ini menunjukkan turbin tipe B dapat memiliki kecepatan ujung bilah sama dari pada kecepatan arus yang mengenainya. Karakteristik umum turbin tipe seret (drag type) nilai TSR adalah di bawah 1. Jika nilai TSR bisa mencapai 1 maka turbin ini bisa berputar dengan efektif. Torsi putar lebih besar dihasilkan pada turbin tipe B yang memiliki luas tangkapan gaya seret lebih besar daripada tipe A.

Tabel 3. Hasil perhitungan TSR dan efisiensi (TSR calculation results and efficiency)

Bilah A							
Posisi Inverter (Hz)	Kecepatan Putar (rps)	Kecepatan Arus (cm/s)	Torsi (N.m)	TSR	Cp	C <sub>T</sub>	Re
10	0.07	9.93	0.00	0.83	0.00	0.00	49626
20	0.14	20.31	0.42	0.86	0.45	0.10	101537
30	0.22	31.83	0.86	0.86	<b>0.37</b>	0.14	159158
40	0.31	44.14	2.11	0.87	0.48	0.24	220688
50	0.37	57.89	3.87	0.81	0.48	0.34	289467
Bilah B							
Posisi Inverter (Hz)	Kecepatan Putar (rps)	Kecepatan Arus (cm/s)	Torsi (N.m)	TSR	Cp	C <sub>T</sub>	Re
10	0.09	10.90	0.08	<b>1.01</b>	0.34	0.04	54475
20	0.14	21.27	0.42	0.82	0.38	0.10	106335
30	0.19	32.15	1.22	0.75	0.42	0.18	160759
40	0.25	41.67	2.70	0.75	<b>0.53</b>	0.30	208367
50	0.31	56.92	4.61	0.68	0.48	0.39	284603

Nilai tertinggi efisiensi daya turbin ialah 0.53 pada turbin tipe B dengan nilai efisiensi terendah ialah 0,37 pada turbin tipe A. Nilai efisiensi terendah yang dihasilkan pada turbin tipe A maupun turbin tipe B merupakan nilai efisiensi yang dihasilkan oleh turbin serupa yang telah ada dipasaran. Nilai efisiensi yang besar menunjukkan bahwa turbin tipe bilah lengkung seret lepas bisa menghasilkan daya listrik yang efisien pada kecepatan arus yang rendah.

**KESIMPULAN DAN SARAN****Kesimpulan**

Dari hasil pengujian laboratorium yang dilakukan, didapatkan nilai efisiensi daya turbin melebihi 50 % pada turbin tipe B. Torsi yang dihasilkan pada turbin tipe B juga lebih besar dibandingkan dengan tipe A dan faktor bilah lengkung berpengaruh pada hasil torsi yang besar. Turbin tipe B menghasilkan nilai TSR yang lebih besar dari 1 yang merupakan nilai sangat baik bisa diperoleh oleh turbin tipe seret (*drag*). Kecepatan putar awal yang didapatkan sangat rendah dimulai pada kecepatan arus 10 cm/s.

**Saran**

Turbin berputar cepat dan menghasilkan torsi yang besar disaat aliran mengenai salah satu dari empat bilah turbin pada posisi tegak lurus. Hal ini bisa dijadikan hipotesis awal untuk pengembangan saluran penyearah arus dengan mengarahkan arus kepada satu bilah turbin saja. Konsep ini diharapkan akan lebih meningkat efisiensi turbin dan meningkatkan putaran turbin.

Hales, P. *Swinging flap turbine with savonius turbine for stall prevention. UK Patent Application No.0717131.7*

Hamner, W.B. *Hinged blade cross axis turbine for hydro electric power generation, US Patent No.12/729,523*

Hughes, A.S. 1993. *Physical Model And Laboratory Techniques in Coastal Engineering*. Singapore: World Scientific Publishing Co, Pte, Ltd

Johnson, G. L. 1985. *Wind Energy System*. Manhattan: Prentice hall

Winchester, S.D, et al, 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*

**DAFTAR PUSTAKA**

Calcagno, G, et al. 2006. Experimental and Numerical investigation of an Innovative Technology for Marine Current Exploitation: the Kobold Turbine. *Proceedings of the Sixteenth International Offshore and Polar Engineering Conference San Francisco, California, USA*

Darrieus, G.J.M. *Wind turbine of cross flow type. US Patent No.4329116*

Erwandi. 2009. An Experimental Study on Vertical Axis Marine Current Turbine in Indonesian Hydrodynamic Laboratory, *Prosiding World Ocean Conference Symposium, Manado*.

Gorlov, A, et al, 2001. Limits of the Turbine Efficiency for Free Fluid Flow. *Journal Of Energy Resources Technology, American Society For Mechanical Engineer*

Hadi, S. 2006. Studi dan Pemetaan Potensi Energi Bayu dan Arus Laut untuk Pembangkit Listrik Ramah Lingkungan di Indonesia, Laporan Akhir Riset Unggulan. Lembaga Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat, Institut Teknologi Bandung.