

Perancangan dan Analisa Turbin Darrieus Tipe H untuk Pembangkit Listrik Tenaga Arus Air

Ibrahim, Ilham Maulana, Muhajirin dan Iskandar

Department of Mechanical Engineering Syiah Kuala

Jl. Tgk. Syech Abdurrauf No. 7 Darussalam – Banda Aceh 23111, Indonesia

E-mail: ibrahimabe20@yahoo.com

Abstract

This research designed and analyzed the use of current energy by employing the Darrieus turbine type H. This turbine was tested in an irrigation located in Bukit Meusara, Aceh Besar. It has a dimension of 0,3 m x 0,3 m with a blade shaped of NACA 0015 and tested on a variation of water speed flow of 1,43 m/s, 1,91 m/s and 2,16 m/s. An experiment on the influence of angle of attack was also done on -5° , 0° , 5° and 10° . The results showed that the angle maximum turn was 90 rpm with the water speed flow of 2,16 m/s at angle of attack of 5° . The maximum power produced by the turbine was as substantial as 26% of efficiency.

Keywords: Darrieus turbine, NACA 0015, angle of attack.

1. Pendahuluan

Energi listrik merupakan kebutuhan yang sangat sulit dipisahkan dalam kehidupan di zaman modern seperti sekarang ini. Di daerah NAD sendiri, kebutuhan akan listrik mulai sulit dipenuhi oleh PLN. Kebutuhan listrik di Aceh saat pemakaian puncak mencapai 232 MW, sedangkan suplai arus dari Aceh tetap 63 MW. Agar listrik di Aceh kembali normal seharusnya pasokan listrik dari Sumatera Utara sebesar 169 MW. Belakangan ini, sudah banyak dikembangkan energi alternative pengganti bahan bakar fosil seperti biofuel, biodiesel, dan biogas. Pembangkit listrik tenaga air (PLTMH) telah banyak digunakan di Aceh dalam bentuk skala kecil untuk pembangkit listrik. Jenis turbin yang digunakan seperti turbin Pelton dan Crossflow dengan total PLTMH yang telah terpasang diseluruh Provinsi NAD sebanyak 33 unit dengan total daya terpasang 4019,40 kW [1]. Selain turbin jenis Pelton dan Crossflow yang digunakan untuk memanfaatkan potensi arus sungai/laut, berbagai jenis turbin lain juga mulai dikembangkan oleh para peneliti. Turbin Darrieus adalah salah satunya. Turbin ini merupakan turbin tipe vertikal yang dikembangkan oleh Georges Jean Marie Darrieus (1931) [2]. Di beberapa Negara telah menggunakan turbin ini sebagai pembangkit listrik tenaga arus sungai/laut. Seperti yang dilakukan oleh Mitsuhiro Shiono, Katsuyuki Suzuki, dan Seiji Kiho untuk arus di wilayah Tokyo, Japan. Akan tetapi turbin jenis ini masih kurang dimanfaatkan di daerah Aceh yang mempunyai cukup banyak potensi aliran arus sungai/laut [3].

Oleh karena itu, model turbin Darrieus ini memiliki prospek yang bagus untuk dikembangkan di daerah Aceh. Karena turbin ini hanya membutuhkan kecepatan arus sebesar 1,4 m/detik untuk menghasilkan daya sebesar 700 W. Untuk itu

diperlukan design turbin Darrieus yang tepat untuk kondisi aliran arus di Aceh.

Konstruksi dari turbin yang akan digunakan untuk percobaan ini merupakan turbin Darrieus Tipe-H dengan tiga buah sudu sebagaimana yang telah dikembangkan oleh Mitsuhiro shiono. Design turbin akan dibuat dalam bentuk prototipe sederhana dan menggunakan sudu yang terbuat dari kayu dengan dilapisi oleh seng. Dengan design tersebut nanti akan dilihat besarnya daya yang dapat dihasilkan oleh turbin tanpa adanya motor listrik..

Dari penelitian dan data-data hasil percobaan ini diharapkan nantinya dapat dikembangkan menjadi design turbin dengan kapasitas yang lebih besar, sehingga energi yang dihasilkan bisa menjadi sumber energi terbarukan sebagai pembangkit listrik.

2. Turbin Darrieus

Turbin Darrieus pertama kali ditemukan oleh seorang insinyur Perancis, Georges Jeans Maria Darrieus (1931). Turbin Darrieus merupakan turbin yang menggunakan prinsip aerodinamik dengan memanfaatkan gaya *lift* pada penampang sudu rotornya dalam mengekstrak energi. Turbin Darrieus memiliki torsi rotor yang rendah tetapi putarannya lebih tinggi sehingga lebih diutamakan untuk menghasilkan energi listrik. Rotor turbin Darrieus pada umumnya memiliki variasi sudu yaitu dua atau tiga sudu [4].

Perhitungan daya air untuk turbin dapat ditentukan berdasarkan luasan turbin (A) dan kecepatan aliran air (V) yang diperoleh dari pengukuran [5].

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

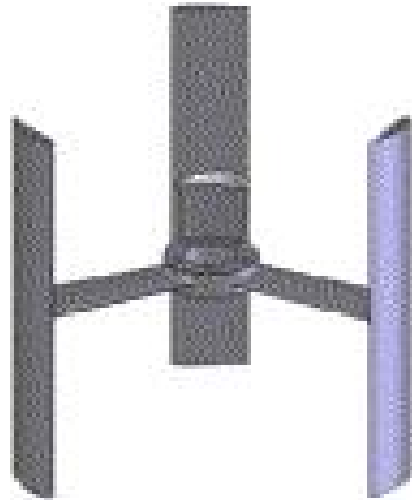
Dimana:

P_w = daya air (Watt)

ρ = massa jenis air (kg/m^3)

A = luas penampang aliran air (m^2)

V = kecepatan aliran air (m/s)



Gambar 1. *Straight bladed/ H-Darrieus rotor* [6]

Perhitungan daya turbin dihitung berdasarkan dari pengukuran langsung (pengujian laboratorium). Sejumlah variabel yang dihitung meliputi torsi poros rotor (T), dan kecepatan angular turbin (ω) [5].

$$P_t = T \omega \quad (2)$$

Dimana:

P_t = daya turbin (Watt)

T = torsi (Nm)

ω = kecepatan putaran (rad/s)

Untuk menghitung torsi yang terjadi pada poros, terlebih dahulu dihitung gaya *lift* (F_l) dan gaya *drag* (F_d) yang terjadi pada sudu turbin dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$F_d = \frac{1}{2} C_{d\rho} V^3 A \quad (3)$$

$$F_l = \frac{1}{2} C_{l\rho} V^3 A \quad (4)$$

Dimana:

F_d = Gaya *drag* (N)

F_l = Gaya *lift* (N)

C_d = nilai coefisient *lift* (lampiran 1)

C_l = nilai coefisient *drag* (lampiran 1)

ρ = densitas air (kg/m^3)

V = kecepatan fluida (m/s)

A = luas penampang turbin (m^2)

Sehingga torsi dapat dihitung dengan persamaan:

$$T = (F_d \cos \alpha + F_l \sin \alpha) \times r \quad (5)$$

Dimana:

T = torsi (Nm)

α = sudut sudu ($^\circ$)

r = jari-jari turbin (m)

Efisiensi turbin merupakan rasio perbandingan antara daya turbin yang dapat dihasilkan terhadap daya air yang tersedia [5].

$$\eta = \frac{P_t}{P_w} \quad (2.6)$$

Dimana:

η = Efisiensi turbin

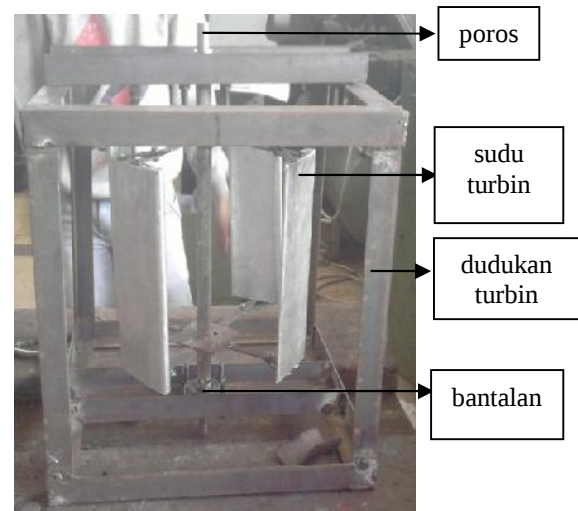
P_t = daya turbin (watt)

P_w = daya air (watt)

3. Perancangan Design Teknik

Perancangan dan pembuatan turbin Darrieus ini terbagi dalam 4 bagian utama, yaitu:

1. Sudu turbin
2. Dudukan turbin
3. Poros
4. Bantalan



Gambar 2. prototype turbin darrieus tipe H

1. Sudu turbin

Sudu turbin yang digunakan adalah NACA 0015. Sudu ini memiliki bentuk yang simetris dan mempunyai ketebalan maksimum *thickness* sebesar 15% dari seperseratus *chord line*. Sudu ini memiliki panjang *chord line* 94,2 mm dan tinggi 300 mm.

2. Dudukan turbin

Bagian ini berfungsi sebagai tempat pengikat poros turbin, sehingga turbin bisa berputar dengan baik dan membuat kedudukan turbin lebih kokoh.

3. Poros

Poros pada prototipe turbin ini terdiri dari dua buah material berbeda. Untuk penghubung antara poros dan sudu turbin digunakan bahan pipa baja dan untuk poros penghubung bantalan digunakan bahan dari besi baja padat. Hal ini dilakukan agar poros yang digunakan lebih ringan sehingga mengurangi beban yang besar untuk memutar poros.

4. Bantalan

Jenis bantalan yang digunakan pada turbin ini merupakan bantalan untuk poros vertikal sesuai dengan jenis turbin. Jumlah bantalan yang digunakan sebanyak 2 buah supaya posisi dudukan poros lebih kuat dan stabil pada saat berputar dan menerima beban dari arus air.

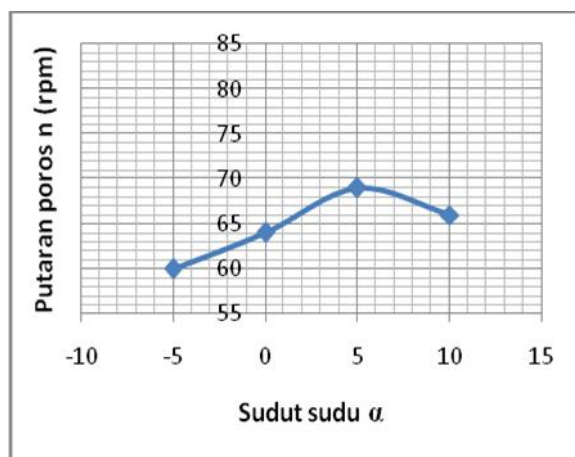
4. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dilakukan terlebih dahulu dengan mengukur kecepatan aliran air dalam irigasi. Karena pengujian dilakukan pada pagi, siang dan sore hari, maka diperoleh tiga variasi kecepatan aliran air yaitu 1,43 m/s, 1,91 m/s, 2,16 m/s.

4.1. Pengukuran pada $V = 1,43$ m/s

Tabel 1. hasil pengukuran pada $V = 1,43$ m/s

Sudut sudu α ($^{\circ}$)	Putaran poros (rpm)
-5°	60 rpm
0°	64 rpm
5°	69 rpm
10°	66 rpm



Gambar 3. Grafik perbandingan kecepatan putaran poros dengan variasi sudut sudu pada $V_{air} 1,43$ m/s

Pada percobaan dengan kecepatan air rata-rata 1,43 m/s. Dihasilkan putaran sebesar 60 rpm untuk sudut sudu sebesar -5° dan terus meningkat sampai pada sudut sudu 5° dengan putaran 69 rpm. Tetapi pada saat pengujian dengan sudut sebesar 10° , terjadi penurunan putaran hingga 66 rpm. Hal ini disebabkan karena pada saat sudut sudu 10° , aliran yang melalui sudu sudah mulai kehilangan efektivitas gaya angkat

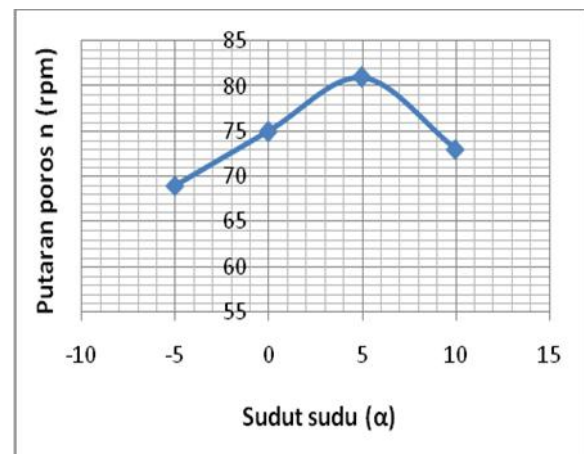
(lift), sehingga menyebabkan putaran turbin menurun. Kasus ini juga terjadi pada percobaan yang dilakukan oleh A. Tuck and J. Soria dengan sudu airfoil NACA 0015.

4.2. Pengukuran pada $V_{air} = 1,91$ m/s

Percobaan kedua dilakukan pada kecepatan aliran air yang sedikit naik menjadi 1,91 m/s. Dari hasil percobaan ini sangat jelas sekali terlihat perbedaan putaran poros yang dihasilkan. Pada sudut sudu -5° dan 0° , menghasilkan putaran sebesar 69 rpm dan 75 rpm. Akan tetapi seperti percobaan pada kecepatan aliran air 1,43 m/s pada sudut 5° , putaran terus mengalami kenaikan hingga mencapai 81 rpm.

Tabel 2. Hasil pengukuran pada $V = 1,91$ m/s

Sudut sudu α ($^{\circ}$)	Putaran poros (rpm)
-5°	69 rpm
0°	75 rpm
5°	81 rpm
10°	73 rpm



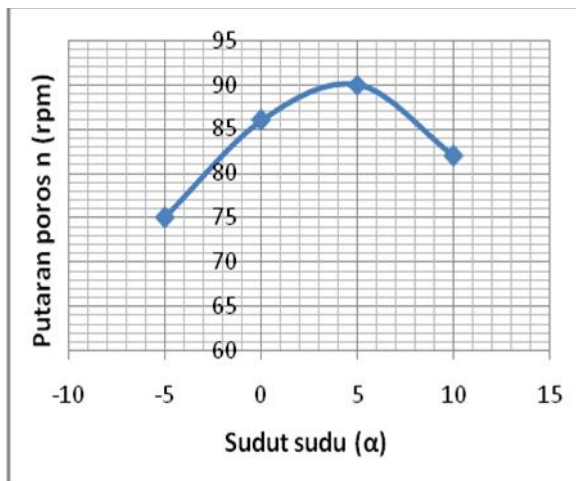
Gambar 4. Grafik perbandingan kecepatan putaran poros dengan variasi sudut sudu pada $V_{air} 1,91$ m/s.

Dalam tabel 1 dan gambar 4 diatas juga dapat dilihat kembali terjadinya penurunan putaran poros pada sudut 10° hingga mencapai 73 rpm. Sama seperti pada percobaan dengan kecepatan aliran air 1,43 m/s, pada sudut sudu 10° , gaya angkat yang terjadi sudah mulai berkurang.

4.3. Pengukuran pada $V_{air} = 2,16$ m/s

Tabel 3. Hasil pengukuran pada $V = 2,16$ m/s

Sudut sudu α ($^{\circ}$)	Putaran poros (rpm)
-5°	75 rpm
0°	86 rpm
5°	90 rpm
10°	82 rpm



Gambar 5. Grafik perbandingan kecepatan putaran poros dengan variasi sudut sudu pada V_{air} 2,16 m/s.

Pengukuran terakhir dilakukan pada kecepatan aliran air 2,16 m/s. Dari tabel 3 dan gambar 5 diatas masih terlihat jelas perbedaan putaran poros pada sudut sudu -5° dan 0° . Dimana putaran dengan menggunakan 3 sudu menghasilkan 75 rpm dan 86 rpm pada sudut -5° dan 0° . Dan putaran tertinggi diperoleh pada sudut 5° mencapai 90 rpm. Kemudian putaran kembali menurun hingga 82 rpm pada sudut 10° . Dapat disimpulkan dari ketiga percobaan diatas, pada sudut 5° gaya angkat yang terjadi sangat efektif sehingga turbin dapat berputar dengan cepat. Tetapi pada sudut 10° , putaran poros turbin semakin berkurang karena efektivitas gaya angkat sudah mulai menurun sehingga menyebabkan perbedaan putaran yang besar seiring bertambahnya kecepatan laju aliran air.

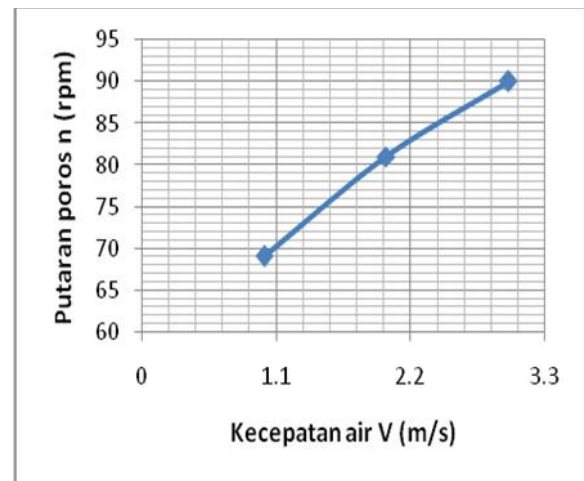
4.4. Kecepatan Putaran Maksimum Turbin 3 Sudu

Dibawah ini table 4 yang memaparkan putaran maximum poros pada sudu 5° dengan 3 variasi kecepatan air, dari table tersebut dapat kita lihat kecepatan maximum air 2,16 m/s dengan putaran poros 90 rpm.

Tabel 4. Putaran maksimum poros pada sudut 5° dengan 3 variasi kecepatan air

Kec.air V (m/s)	Putaran poros n (rpm) Dengan Sudut sudu (5°)
1,43 m/s	69 rpm
1,91 m/s	81 rpm
2,16 m/s	90 rpm

Dari gambar 6 pada grafik dapat dilihat bahwa terjadinya kenaikan putaran poros pada turbin yang berbanding lurus dengan bertambahnya kecepatan aliran air. Hasil ini sama dengan penelitian yang dilakukan oleh Muhammad irsyad dengan NACA 6512.



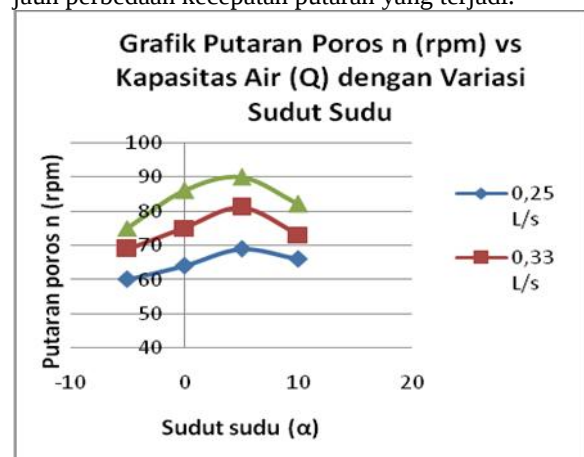
Gambar 6. Grafik perbedaan kecepatan putaran maksimum turbin 3 sudu pada sudut maksimum 5°

4.5. Pengaruh Debit Air Terhadap Kecepatan Putaran

Tabel 5. Kecepatan putaran poros dengan variasi sudut terhadap kapasitas air

Debit air (Q)	Sudut sudu			
	-5	0	5	10
0,25	60 rpm	64 rpm	69 rpm	66 rpm
0,33	69 rpm	75 rpm	81 rpm	73 rpm
0,37	75 rpm	86 rpm	90 rpm	82 rpm

Data dalam tabel 5 diatas diambil pada saat debit air 0,25 L/s, 0,33 L/s, dan 0,37 L/s. Terlihat peningkatan jumlah debit air yang dapat mempengaruhi kecepatan putaran dari turbin dengan sudut sudu bervariasi. Hasil dari pengujian dapat dilihat dalam gambar 5 dibawah, dimana terus terjadi peningkatan kecepatan putaran akibat dari meningkatnya jumlah debit air yang ada pada sudut sudu -5° sampai 5° . Penurunan kecepatan terjadi pada sudut sudu 10° untuk semua debit air yang ada. Pada debit 0,25 L/s tidak terlihat perbedaan putaran yang terlalu jauh, akan tetapi pada debit 0,33 L/s dan 0,37 L/s terlihat jauh perbedaan kecepatan putaran yang terjadi.



Gambar 5. Perbandingan antara kapasitas air terhadap putaran poros.

Dari data hasil percobaan diatas, diperoleh data-data yang diperlukan untuk menghitung torsi, daya dan efisiensi dari turbin. Parameter yang akan digunakan berupa kecepatan aliran air dan putaran turbin.

Untuk menghitung besarnya torsi yang terjadi pada $V_{air} = 1,43$ m/s, sudut sudu 5^0 dan putaran poros 69 rpm, digunakan persamaan (2.5). Terlebih dahulu dihitung gaya yang terjadi pada sudu, dimana:

$$\begin{aligned} F_d &= \frac{1}{2} \cdot C_d \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \\ &= \frac{1}{2} \times 0,01 \times 1000 \times 1,43^2 \times 0,09 \\ &= 0,920 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F_l &= \frac{1}{2} \cdot C_l \cdot \rho \cdot V^2 \cdot A \\ &= \frac{1}{2} \times 0,54 \times 1000 \times 1,43^2 \times 0,09 \\ &= 49,691 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T &= (F_d \cos \alpha + F_l \sin \alpha) \times r \\ &= (0,920 \cos \alpha + 49,691 \sin \alpha) \times 0,15 \\ &= 0,262 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Daya air yang tersedia dihitung dengan persamaan (2.1) :

$$\begin{aligned} P_w &= \frac{1}{2} \rho A V^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 1000 \times 0,35 \times 1,43^3 \\ &= 511 \text{ watt} \end{aligned}$$

Sehingga dapat dihitung daya turbin, P_t :

$$\begin{aligned} P_t &= T \omega \\ &= 0,26259 \times 433,32 \\ &= 113 \text{ watt} \end{aligned}$$

Dari hasil-hasil perhitungan yang ada diatas, dapat diketahui efisiensi dari turbin dengan menggunakan persamaan (2.6):

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{P_t}{P_w} \times 100 \% \\ &= \frac{113}{511} \times 100 \% \\ &= 22 \% \end{aligned}$$

Maka dapat diperoleh besarnya efisiensi turbin untuk sudut sudu 5^0 dengan putaran poros 69 rpm pada kecepatan aliran air 1,43 m/s sebesar 22%. Dengan menggunakan cara perhitungan yang sama seperti diatas, maka bisa diperoleh besar efisiensi untuk sudut sudu, putaran poros dan kecepatan aliran yang lain

Tabel 6. Hasil analisa dari data percobaan

V_{air} (m/s)	n (rpm)	T (Nm)	η (%)	P (watt)
1,43	69	0,262	0,22	113
1,91	81	0,573	0,23	291
2,16	90	0,719	0,26	425

Dengan perhitungan yang sama seperti diatas dapat dilihat dalam tabel, dimana besarnya torsi pada poros akan mengalami kenaikan akibat bertambahnya kecepatan aliran air. Nilai torsi terendah terjadi pada kecepatan aliran air sebesar 1,43 m/s dengan torsi 0,262 dan torsi terbesar terjadi pada kecepatan aliran air 2,16 m/s sebesar 0,729 Nm. Hal ini menunjukkan bahwa poros akan menerima beban puntir yang semakin besar seiring bertambahnya laju aliran air. Peningkatan kecepatan fluida akan memperbesar gaya hambat dan gaya seret, sehingga gaya yang bekerja pada sudu menjadi naik.

Akan tetapi akibat terjadinya pertambahan laju aliran air juga menyebabkan terjadinya peningkatan efisiensi pada turbin. Efisiensi akan semakin meningkat dengan bertambahnya kecepatan aliran air yang tersedia. Efisiensi tertinggi sebesar 0,26% pada laju aliran sebesar 2,16 m/s dengan sudut sudu 5^0 .

Dari analisa pengaruh besarnya efisiensi dan torsi terhadap kecepatan aliran yang menghasilkan trend peningkatan seiring bertambahnya kecepatan aliran air, maka hal ini juga terjadi pada pengaruh besarnya nilai torsi terhadap efisiensi turbin. Besarnya torsi pada poros berbanding lurus terhadap kenaikan efisiensi. Dimana nilai efisiensi terendah sebesar 22% mengalami torsi sebesar 0,262 Nm dan pada efisiensi tertinggi 26%, nilai torsi juga mengalami kenaikan sebesar 0,729 Nm.

Hasil ini juga diperoleh pada penelitian yang dilakukan oleh M. Irsyad dengan torsi sebesar 0,890 Nm pada laju aliran 0,858 m/s dengan NACA 6512.

Analisa terhadap daya turbin sangat dipengaruhi oleh kecepatan aliran air, putaran poros dan torsi. Dimana akan terjadi peningkatan daya yang dapat dihasilkan oleh turbin berbanding lurus terhadap peningkatan kecepatan aliran air, putaran poros, dan torsi. Dalam tabel 6 diatas, terlihat pengaruh kecepatan aliran terhadap daya yang dihasilkan. Daya turbin terendah diperoleh pada kecepatan aliran air sebesar 1,43 m/s dengan daya sebesar 113 watt. Dan daya maksimum diperoleh sebesar 425 watt pada kecepatan aliran 2,16 m/s. Jadi jumlah daya yang dihasilkan akan semakin besar terhadap bertambahnya kecepatan aliran air.

5. Kesimpulan

Perubahan sudut sudu sangat mempengaruhi besarnya putaran poros, torsi dan efisiensi dari turbin Darrieus tipe H. Turbin mengalami putaran poros terendah pada saat kecepatan aliran air 1,43 m/s. Hal ini disebabkan karena gaya angkat yang bekerja juga rendah. Sehingga pada saat kecepatan aliran meningkat, putaran poros juga akan meningkat sampai 90 rpm pada kecepatan aliran air 2,16 m/s.

Kenaikan nilai torsi yang terjadi berbanding lurus terhadap bertambahnya kecepatan aliran dan putaran poros pada turbin. Daya turbin tertinggi

diperoleh sebesar 425 watt dan efisiensi tertinggi diperoleh sebesar 26%.

6. Ucapan Terima Kasih

Terima kasih kepada Ketua Program Studi Magister Teknik Mesin dan terima kasih kepada BPPS DIKTI 2011 yang telah memberikan Beasiswa kepada saya. Terima kasih kepada keluarga saya terutama kepada Istri dan anak-anak yang telah membantu sehingga selesainya pendidikan master.

Daftar Pustaka

- [1] PT. CIPTA MULTI KREASI, *Studi Potensi Energi Listrik Alternatif di Pedesaan sebagai Upaya dalam Mendukung Percepatan Diversifikasi Energi di Provinsi Nanggroe Aceh Darussalam*, NAD
- [2] Vince Ginter and Clayton Bear, *Development and Application of a Water Current Turbine*, New Energy Corporation Inc.
- [3] Mitsuhiro Shiono, Kdsuyuki Suzuki, Sezji Kiho, *Output Characteristics of Darrieus Water Turbine with Helical Blades for Tidal Current Generations*, Department of Electrical Engineering, College of Science & Technology, Nihon University, Tokyo, Japan
- [4] Agnimitra Biswas & Rajat Gupta, *Performance Study of a Three-bladed Airfoil-Shaped H-rotor made from Fibreglass Reinforced Plastics (FRP)*, NIT Silchar, Assam (India)
- [5] Andi Haris Muhammad, Abdul latief Had & Wayan Terti. 2009. *Studi Eksprimental Turbin Air Terapung Tipe Helical Blades*. Teknik Sistem Perkapalan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
- [6] Shamez Kassam, *IN-SITU TESTING OF A DARRIEUS HYDRO KINETIC TURBINE INCOLD CLIMATES*, University of Manitoba
- [7] Jofri B.Sinaga, *Perancangan Turbin Air untuk sistem pembangkit listrik tenaga mikrohidro*, Lampung
- [8] Djoko luknanto, *Turbin air*