

KAJI EKSPERIMENTAL TURBIN AIR *DARRIEUS* TIPE-H MENGGUNAKAN *BLADE HYDROFOIL* STANDAR NACA 2415

Rudi Kusuma Wijaya¹, Iwan Kurniawan²,
Laboratorium Perawatan, Jurusan teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293
¹Rudi.Kusumawijaya@student.unri.ac.id, ²iwan.ktm@gmail.com

Abstract

An experimental review of the H-type Darrieus water turbine has been carried out using a standard NACA 2415 hydrofoil blade to determine the static and dynamic torque values produced by the 3-blade and 6 blade Darrieus hydro-turbine turbines. mx 0.6 m x 1 m. This test uses a variation of three blades and six blades, with turbine diameter 0.44 m x 0.15 m on the outer turbine and 0.18 x 0.14 m on the inner turbine and 0.10 m chord length with variations of the angle of attack from 0° to 360°, using variations in the speed of the first water flow 0.3 m / s and the variation of the second water flow velocity is 0.65 m / s. At a water speed of 0.3 m / s six blades, the static torque value generated is 0.3 Nm, the dynamic torque value is 0.384 Nm, at a water speed of 0.65 m / s the dynamic torque value is 0.432 Nm and the static torque value is 0.384 Nm, for Darrieus turbine testing three blades with a water flow velocity of 0.3 m / s dynamic torque value is 0.336 and with the same speed its static torque is 0.264 Nm. At the water velocity of 0.65 m / s, the dynamic torque value is 0.384 Nm, and the static torque value is 0.336 Nm. From the measurement data it can be concluded that the variation of the six blade turbine has a value of static torque and dynamic torque higher than the three blade turbine, the number of blades greatly influences the kinetic energy absorption of water to be converted into static and dynamic torque.

Keywords: Turbine Darrieus, static torque, dynamic torque

1. Pendahuluan

Turbin *Darrieus* memiliki keunggulan dari kesederhanaan-nya. Turbin ini mempunyai torsi yang lebih besar dan *blade*-nya dapat di buat dengan mudah. *Blade* ini memakai standar NACA agar menghasilkan *lift* dan aliran di sekitarnya tidak terjadi separasi apabila sudut serang tidak besar. Keuntungan lain dari turbin *Darrieus* adalah turbin tersebut kurang sensitif terhadap turbulensi tetapi sensitif terhadap arah aliran. Diantara beberapa bentuk geometri turbin *blade* turbin *Darrieus*, geometri *blade* lurus (atau *H-Darrieus*) lebih sering digunakan disebabkan pembuatannya lebih mudah dan konstruksinya yang lebih sederhana. (Dominy dkk, 2007) dalam penelitiannya menyatakan bahwa jumlah *blade* H-rotor memiliki efek *self-starting* yang paling baik namun tidak untuk semua posisi *azimuth blade*. Kinerja turbin tergantung dengan kecepatan air, soliditas, dan sudut kemiringan *blade* yang telah ditunjukkan menggunakan *software fluent* untuk studi kinerja turbin *Darrieus* telah diberikan oleh Lain et al. (2010) dan dari hasil *simulation* telah divalidasi secara eksperimental. Dengan model turbin mempunyai tiga *blade* maka batas operasi turbin adalah antara 1,2 – 2,0 dan turbin mempunyai efisiensi maksimum sekitar 30% pada TSR 1,74.

Kaprawi dkk (2011) mengatakan perbandingan profil *blade* NACA 0015 dan 0020 mempunyai kinerja yang sangat baik. Begitu juga pada jenis *blade* tak-simetris 4420 dapat di simpulkan bahwa apabila pemasangan *blade* menghadap ke dalam maka

efisiensinya lebih kecil di bandingkan apabila menghadap keluar.

Giri (2016) melakukan penelitian Kaji Eksperimental kinerja Turbin Angin sumbu vertikal *Darrieus* tipe H Dengan variasi *Sudut pitch* menggunakan 4 *blade* dan bilah profile NACA 2415. Pengaruh *Sudut pitch* terhadap daya dan efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin. perbandingan antara pengaruh variasi *Sudut pitch* terhadap *Power Coefficient* (CP) bahwa nilai CP mengalami kenaikan di setiap pengecilan *Sudut pitch*, dimana nilai CP yang tertinggi terdapat pada kecepatan angin 3,69 m/s dengan *Sudut pitch* 0° yaitu sebesar 4,34 %. Nilai CP mengalami penurunan terhadap perubahan *Sudut pitch* yang makin besar di setiap kecepatan angin.

Burhan (2019) melakukan penelitian menggunakan *water tunnel* untuk pengujian turbin Savonius-nya dengan judul “Kaji Eksperimental Torsi Statik Dan Torsi Dinamik *Hydrokinetic* Turbin Savonius *Type Bach* Tiga Sudu”. yang dilakukan dengan variasi kecepatan aliran air 0,3 m/s dan 0,65 m/s disimpulkan bahwa turbin Savonius pada kecepatan aliran yang rendah dapat menghasilkan torsi dinamik sebesar 0,456 Nm pada kecepatan aliran air 0,3 m/s dan 0,816 Nm pada kecepatan aliran 0,65 m/s,

Pada penelitian sebelumnya sudah pernah ada yang melakukan pengujian turbin *Darrieus* menggunakan tiga *blade* dan enam *blade* namun dengan susunan yang berbeda. Penelitian tersebut dilakukan oleh Aris (2016).

Pada penelitiannya didapatkan hasil dari variasi 6 foil pada kecepatan 0,944 m/s sudut azimuth 30° mendapatkan torsi rata-rata sebesar 5,4 Nm, sedangkan rerata rpm maksimum pada kecepatan 0.944 m/s sebesar 12,5 rpm. Sedangkan untuk 3 foil torsi rata-rata sebesar 5,36 Nm, rpm maksimum dengan kecepatan air 0,944 m/s sebesar 21,1 Rpm.

Dengan melihat penelitian sebelumnya dan untuk meningkatkan kinerja dari turbin *hydrokinetic Darrieus* tipe -H ini. Maka diperlukan percobaan turbin *Darrieus* menggunakan enam *blade* yang mana, tiga *blade* dengan lingkaran diameter (d) 44 cm berada pada bagian luar dan tiga *blade* lain-nya dengan lingkaran diameter (d) 18 cm berada pada bagian dalam-nya, variasi kecepatan aliran air yang digunakan (v) 0.3 m/s dan 0.65 m/s di dalam *water tunnel*. Penelitian ini ingin memperlihatkan apakah torsi statik dan dinamik enam *blade* lebih besar dibanding tiga *blade*.

2. Metodologi

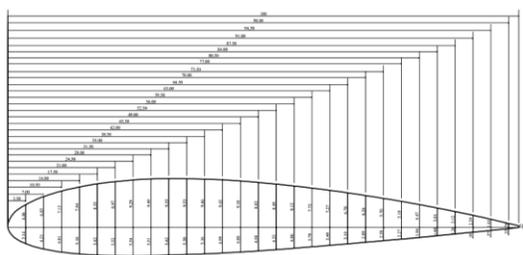
Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Hal ini dilakukan untuk pengujian turbin air *Darrieus* tipe-H menggunakan *blade hydrofoil* standar NACA 2415.

Pada penelitian ini dilakukan untuk mengetahui nilai torsi statik dan torsi dinamik dari turbin air *Darrieus* tipe-H. Variasi pengujian meliputi variasi turbin menggunakan tiga *blade* dan enam *blade* dengan dimensi yang dapat dilihat pada tabel 1. Kecepatan aliran air adalah 0.3 m/s dan 0.65 m/s serta variasi pada pembebanan pada saat proses pengujian.

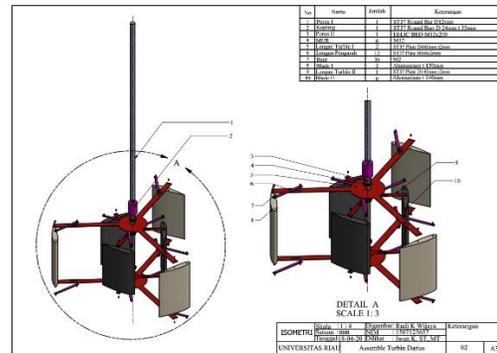
Tabel 1. Variasi Penelitian

Variasi Turbin	Diameter turbin	Tinggi turbin
1	0.44 m	0.15 m
2	0.18 m	0.14 m

Blade yang digunakan mengacu kepada bentuk *blade* yang telah dilakukan oleh Giri Saputra dengan judul “Kaji Eksperimental Turbin Angin *Darrieus*-H Dengan Bilah Tipe NACA 2415”. Namun yang membedakannya terletak pada dimensi tinggi turbin dan panjang *chord* dari *blade* NACA 2415. Gambar dimensi panjang *chord* NACA 2415 dan desain turbin yang di gunakan dapat dilihat pada gambar 1 dan 2.



Gambar 1. Dimensi NACA 2415



Gambar 2. Desain Turbin Air *Darrieus*

Untuk spesifikasi turbin dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 2. Spesifikasi Turbin Air *Darrieus* Tipe- H

No	Spesifikasi	Nilai
1	Jenis Bilah Hidrofoil	NACA 2415
2	Bahan <i>Blade</i>	aluminium
3	Tebal (m)	0.004 m
4	Jumlah Bilah Luar	3
5	Jumlah Bilah Dalam	3
6	Panjang <i>Chord</i> , c (m)	0.1 m
7	Dimeter Rotor, D (m)	0.44 m
8	Tinggi Rotor (m)	0.15 m
9	Diameter Poros (m)	0.12 m

2.1 Parameter-Parameter Perhitungan Turbin *Darrieus*

Pada turbin air faktor yang mempengaruhi daya pada turbin *Darrieus* adalah besarnya torsi dan putaran poros. Perbedaan bentuk, jumlah sudu/*blade*, sudut dari turbin itu sangat berpengaruh terhadap besarnya torsi dan putaran poros. Dengan demikian untuk mengetahui unjuk kerja dari turbin *Darrieus* hidrokinetik diperlukan data-data untuk dilakukan suatu perhitungan dan analisa.

1. Torsi

Torsi adalah gaya putar yang dihasilkan oleh poros turbin atau kemampuan turbin untuk melakukan kerja. Torsi biasanya diberi simbol τ . Pengukuran torsi menggunakan torsiometer statik. Satuan untuk torsi dalam satuan internasional SI yaitu N.m, rumus torsi dijelaskan melalui persamaan: (L.D.Mariska, 2010)

$$T = F \cdot r$$

Dimana :

T = torsi (N.m)

F = Gaya sentrifugal dari poros yang berputar (N)

r = jarak benda ke pusat rotasi (m)

2. Kecepatan sudut (ω)

Kecepatan sudut merupakan besarnya sudut lingkaran yang terbentuk oleh lintasan suatu titik yang bergerak melingkar per satuan waktu. Kecepatan sudut disebut juga dengan kecepatan angular. Satuan kecepatan sudut adalah rad/sekon. Satuan lain yang dapat digunakan misalnya rad/menit, rumus kecepatan sudut dijelaskan melalui persamaan :

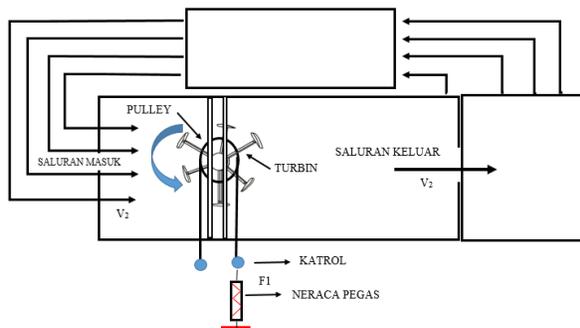
$$\omega = \frac{2\pi n}{60 \text{ detik}}$$

Dimana :

- ω = kecepatan sudut (rad/sekon)
- n = jumlah rotasi per menit (rpm)

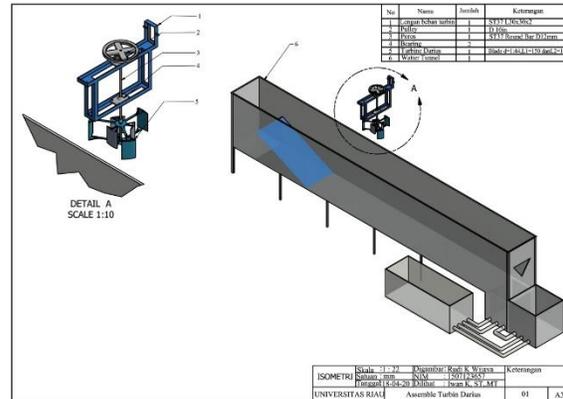
2.2 Sketsa Pengujian

Pengujian turbin *Darrieus* ini dilakukan dengan menggunakan wadah penampungan air (*water tunnel*), pengujian turbin *Darrieus* dilakukan di dalam *water tunnel* dengan menggunakan sirkulasi air yang mengalir dari empat buah pompa yang kemudian di sirkulasi kan untuk menggerakkan turbin *Darrieus*. Gambar sketsa pengujian turbin air *Darrieus* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Sketsa Pengujian Turbin Air *Darrieus*

Pada gambar sketsa pengujian diatas terlihat turbin akan di gerakan oleh empat buah pompa yang men sirkulasi kan air di dalam *water tunnel*. Saluran air masuk v_1 yang berasal dari pompa akan memutar turbin yang tersambung dengan *pulley* yang digunakan untuk meneruskan gaya putar pada turbin dan neraca pegas *dynamometer newton* untuk mengukur gaya sentrifugal (gaya gerak melingkar yang berputar menjauhi pusat lingkaran) pada turbin, kemudian saluran keluar v_2 akan mengalir membentuk air terjun melewati V-notch yang berada pada *water tunnel* menuju bak penampungan kecil untuk di sirkulasi kan menggunakan empat buah pompa menuju *water tunnel* kembali. Desain alat pengujian dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Desain Alat Pengujian Turbin *Darrieus*

Pada pengujian ini ketika turbin berputar akan diberikan gaya sentrifugal dengan mengerem *pulley* menggunakan sebuah tali yang tersambung dengan katrol dan neraca pegas. Dari gaya sentrifugal ini dapat diketahui nilai torsi statik dan torsi dinamik nya. Torsi statik merupakan torsi minimal yang diperlukan agar poros turbin *Darrieus* mulai berputar dari kondisi diamnya, sedangkan torsi dinamik merupakan besar torsi yang dihasilkan sampai poros berhenti berputar.

2.3 Prosedur Pengujian

Turbin *Darrieus type- H* dibuat dengan dimensi panjang *blade* bagian dalam 14 cm dan *blade* bagian luar panjang nya 15 cm serta lebar keseluruhan 44 cm. Pengujian dilakukan di Laboratorium Perawatan Teknik Mesin Universitas Riau. Adapun prosedur yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengujian kecepatan aliran air

Pada pengujian ini pengukuran dilakukan dengan menggunakan alat *current meter*, untuk mengetahui kecepatan air yang diukur dalam satu aliran terbuka. Pengukuran dilakukan oleh 3 (tiga) orang yang masing- masing bertugas sebagai operator dari *current meter* tersebut, pembaca nilai yang ada di monitor pada *current meter* dan pencatat nilai dari hasil pengukuran.

Langkah-langkah pelaksanaan pengukuran kecepatan air dengan *current meter* ini adalah sebagai berikut:

 - a. Ukurlah lebar dari *water tunnel* dengan meteran/pengaris.
 - b. Reset alat ukur terlebih dahulu.
 - c. Letakkan *water probe* tepat di bawah permukaan air, setelah baling-baling yang ada pada *water probe* berputar baru lah tekan "start".
 - d. Turunkan dengan gerakan perlahan baling-baling tersebut hingga ke dasar permukaan kemudian naikan perlahan hingga tepat di permukaan air atau posisi semula setelah

- selesai tekan tombol “stop” lalu catat hasil pengukuran
- e. Catat hasil yang di dapat.
2. Pengujian torsi dinamik
- Torsi dinamik merupakan besar torsi yang dihasilkan sampai poros berhenti berputar. Pada pengujian torsi dinamik ini turbin *Darrieus* ketika berputar akan diberikan variasi pembebanan sampai turbin berhenti bergerak.
- Alat-alat yang diperlukan dalam pengujian torsi dinamik adalah sebagai berikut:
- 1) *Tachometer* untuk mengukur kecepatan putaran.
 - 2) *Dynamometer Newton* untuk mengukur gaya beban yang diberikan.
- Langkah-langkah pelaksanaan pengujian torsi dinamik ini adalah sebagai berikut:
- a) Siapkan alat ukur *Tachometer* dan *Dinamometer*
 - b) Diperlukan 3 (tiga) orang untuk melakukan pengujian torsi dinamik ini. Satu orang untuk memegang alat *Tachometer*, satu orang bertugas memberikan variasi pembebanan, dan orang ketiga melakukan pencatatan.
 - c) Ketika turbin sedang berputar lakukan pengukuran putaran poros tanpa beban dengan menggunakan *Tachometer*, kemudian catat hasilnya
 - d) Kemudian lakukan pengereman pada *pulley* yang terhubung pada poros turbin dengan memberikan variasi pembebanan sebesar 0.4 N.m yang diukur menggunakan *Dinamometer newton/Neraca Pegas*.
 - e) Catat variasi pembebanan dan besarnya jumlah rotasi per menit yang dihasilkan.
 - f) Ulangi pengukuran dengan menambah pembebanan sampai turbin berhenti berputar.
 - g) Hitung torsi mekaniknya dengan gaya dikalikan dengan jari-jari *pulley*.
3. Pengujian torsi statik
- Torsi statik adalah torsi minimal yang diperlukan agar poros turbin *Darrieus* mulai berputar dari kondisi diamnya. Pada pengujian torsi statik ini turbin *Darrieus* dalam kondisi diam tidak berputar karena adanya beban yang diberikan, posisi turbin di putar dimulai dengan variasi penambahan sudut putarnya sebesar 10° dari kondisi awal, setelah itu beban dikurangi sampai turbin mulai berputar, kemudian torsi statik dapat dihitung dengan melihat jumlah beban yang dibutuhkan untuk turbin mulai berputar. Pada pengujian torsi statik ini diberikan variasi sudut-nya dari 10° - 360° satu putaran penuh. Alat-alat yang diperlukan dalam pengujian torsi statik adalah sebagai berikut:
- 1) Alat ukur Busur lingkaran.

- 2) *Dinamometer Newton* untuk mengukur gaya beban yang diberikan.
- Langkah-langkah pelaksanaan pengujian torsi statik ini adalah sebagai berikut:
- a) Turbin dalam posisi diam tidak berputar.
 - b) Diperlukan 3 (tiga) orang untuk melakukan pengujian torsi statik ini. Satu orang untuk membuat variasi sudut putaran turbin, satu orang bertugas memberikan variasi pembebanan, dan orang ketiga melakukan pencatatan.
 - c) Tentukan variasi sudut putar turbin *Darrieus* sebesar 10° dengan menggunakan busur lingkaran yang di tempatkan pada *pulley* yang telah diberikan tanda garis sejajar lengkungan arah pada tiga *blade* turbin *Darrieus* dengan *pulley*, turbin diberikan pembebanan dan dalam posisi berhenti.
 - d) Kemudian kurangi pembebanan sampai turbin mulai berputar.
 - e) Catat variasi pembebanan dan besarnya pembebanan ketika turbin mulai berputar.
 - f) Ulangi pengukuran sampai variasi sudut mencapai 360° .
 - g) Hitung torsi statik nya.

3. Data Hasil Pengujian

Pada pembahasan kali ini membahas tentang hasil yang di dapat dari hasil pengujian turbin *Darrieus* tipe-H yang telah dilakukan untuk mendapatkan parameter-parameter yang dibutuhkan yaitu variasi kecepatan aliran air dan jumlah putaran poros per menit.

3.1 Perhitungan Dan Pengolahan Data

1 Perhitungan Torsi Dinamik tiga *blade* dan enam *blade*

Pada pengujian torsi dinamik turbin *Darrieus* tiga *blade* dengan kecepatan aliran air pertama $V = 0,3$ m/s, diperoleh beban sentrifugal maksimal dari turbin yang berputar sebesar $F = 2,8$ N, dan nilai jari-jari *pulley* $r = 0.12$ m. Maka untuk mendapatkan torsi dinamik dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan:

Dimana:

$$F = 2,8 \text{ N} \quad v = 0.3 \text{ m/s}$$

$$r = 0.12 \text{ m} \quad N = 0 \text{ rpm}$$

$$T = F \cdot r$$

$$T = (2,8 \text{ N}) \cdot (0.12 \text{ m})$$

$$T = 0.336 \text{ Nm}$$

Pada pengujian torsi dinamik turbin *Darrieus* tiga *blade* dengan kecepatan aliran air kedua $V = 0,65$ m/s, diperoleh beban sentrifugal maksimal dari turbin yang berputar sebesar $F = 3,2$ N, dan nilai jari-jari *pulley* $r = 0.12$ m. Maka untuk mendapatkan torsi dinamik pada

kecepatan air kedua dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan:
Dimana:

$$F = 3,2 \text{ N} \quad v = 0.65 \text{ m/s}$$

$$r = 0.12 \text{ m} \quad N = 0 \text{ rpm}$$

$$T = F \cdot r$$

$$T = (3,2 \text{ N}) \cdot (0.12 \text{ m})$$

$$T = 0.384 \text{ Nm}$$

Pada pengujian torsi dinamik turbin *Darrieus* enam *blade* dengan kecepatan aliran air pertama $V = 0,3$ m/s, diperoleh beban sentrifugal maksimal dari turbin yang berputar sebesar $F = 3,2$ N, dan nilai jari-jari *pulley* $r = 0.12$ m. Maka untuk mendapatkan torsi dinamik dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan:

Dimana:

$$F = 3,2 \text{ N} \quad v = 0.3 \text{ m/s}$$

$$r = 0.12 \text{ m} \quad N = 0 \text{ rpm}$$

$$T = F \cdot r$$

$$T = (3,2 \text{ N}) \cdot (0.12 \text{ m})$$

$$T = 0.384 \text{ Nm}$$

Pada pengujian torsi dinamik turbin *Darrieus* enam *blade* dengan kecepatan aliran air kedua $V = 0,65$ m/s, diperoleh beban sentrifugal maksimal dari turbin yang berputar sebesar $F = 3,6$ N, dan nilai jari-jari *pulley* $r = 0.12$ m. Maka untuk mendapatkan torsi dinamik dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan:

Dimana:

$$F = 3,6 \text{ N} \quad v = 0.65 \text{ m/s}$$

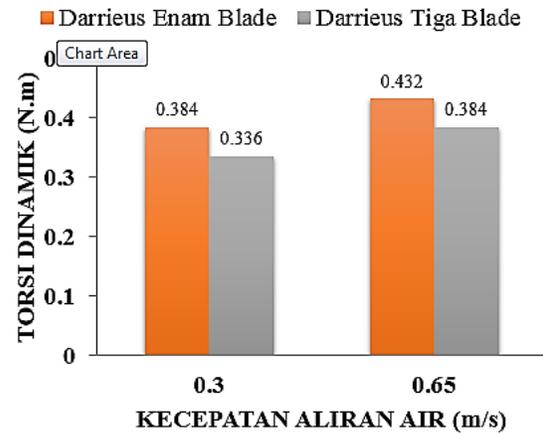
$$r = 0.12 \text{ m} \quad N = 0 \text{ rpm}$$

$$T = F \cdot r$$

$$T = (3,6 \text{ N}) \cdot (0.12 \text{ m})$$

$$T = 0.432 \text{ Nm}$$

Berikut ini adalah hasil pengujian dan pengolahan data torsi dinamik dan torsi statik dari pengujian yang telah dilakukan. Grafik perbandingan variasi kecepatan aliran air dengan torsi dinamik dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Variasi Kecepatan Aliran Air Dengan Torsi Dinamik

Hasil penelitian eksperimen yang dilakukan penulis terhadap turbin *Darrieus* tipe- H menggunakan tiga *blade* dan enam *blade* kecepatan aliran air sebesar 0,3 m/s menghasilkan torsi dinamik sebesar 0.336 Nm pada turbin tiga *blade* dan 0.384 Nm pada turbin yang menggunakan enam *blade*, sedangkan pada kecepatan aliran air sebesar 0,65 m/s menghasilkan torsi dinamik sebesar 0.384 Nm dan 0.432 Nm. Hal ini disebabkan karena jumlah *blade* sangat berpengaruh terhadap nilai torsi yang di dapat dan juga semakin tinggi kecepatan aliran air maka akan semakin tinggi torsi yang di dapat.

2 Perhitungan Torsi statik tiga *blade* dan enam *blade*

Pada pengujian torsi statik turbin *Darrieus* tiga *blade* dengan kecepatan aliran air pertama $V = 0,3$ m/s, diperoleh beban sentrifugal maksimal dari turbin yang berputar sebesar $F = 2,2$ N, dan nilai jari-jari *pulley* $r = 0.12$ m. Maka untuk mendapatkan torsi statik dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan:

Dimana:

$$F = 2,2 \text{ N} \quad v = 0.3 \text{ m/s}$$

$$r = 0.12 \text{ m} \quad N = 0 \text{ rpm}$$

$$T = F \cdot r$$

$$T = (2,2 \text{ N}) \cdot (0.12 \text{ m})$$

$$T = 0.264 \text{ Nm}$$

Pada pengujian torsi statik turbin *Darrieus* tiga *blade* dengan kecepatan aliran air kedua $V = 0,65$ m/s, diperoleh beban sentrifugal maksimal dari turbin yang berputar sebesar $F = 2,8$ N, dan nilai jari-jari *pulley* $r = 0.12$ m. Maka untuk mendapatkan torsi statik dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan:

Dimana:

$$F = 2,8 \text{ N} \quad v = 0.65 \text{ m/s}$$

$$r = 0.12 \text{ m} \quad N = 0 \text{ rpm}$$

$$T = F \cdot r$$

$$T = (2,8 \text{ N}) \cdot (0.12 \text{ m})$$

$$T = 0.336 \text{ Nm}$$

Pada pengujian torsi statik turbin *Darrieus* enam *blade* dengan kecepatan aliran air pertama $V = 0,3 \text{ m/s}$, diperoleh beban sentrifugal maksimal dari turbin yang berputar sebesar $F = 2,5 \text{ N}$, dan nilai jari-jari *pulley* $r = 0.12 \text{ m}$. Maka untuk mendapatkan torsi statik dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan:
Dimana:

$$F = 2,5 \text{ N} \quad v = 0.3 \text{ m/s}$$

$$r = 0.12 \text{ m} \quad N = 0 \text{ rpm}$$

$$T = F \cdot r$$

$$T = (2,5 \text{ N}) \cdot (0.12 \text{ m})$$

$$T = 0.3 \text{ Nm}$$

Sedangkan pada pengujian torsi statik turbin *Darrieus* enam *blade* dengan kecepatan aliran air kedua $V = 0,65 \text{ m/s}$, diperoleh beban sentrifugal maksimal dari turbin yang berputar sebesar $F = 3.2 \text{ N}$, dan nilai jari-jari *pulley* $r = 0.12 \text{ m}$. Maka untuk mendapatkan torsi statik dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan:
Dimana:

$$F = 3.2 \text{ N} \quad v = 0.65 \text{ m/s}$$

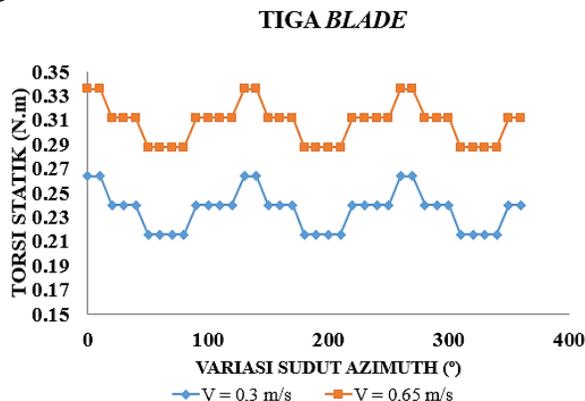
$$r = 0.12 \text{ m} \quad N = 0 \text{ rpm}$$

$$T = F \cdot r$$

$$T = (3,2 \text{ N}) \cdot (0.12 \text{ m})$$

$$T = 0.384 \text{ Nm}$$

Perbandingan variasi sudut azimuth terhadap torsi statik pada kecepatan aliran air 0.3 m/s dan 0.65 m/s menggunakan turbin tiga *blade* dapat dilihat pada gambar 6.

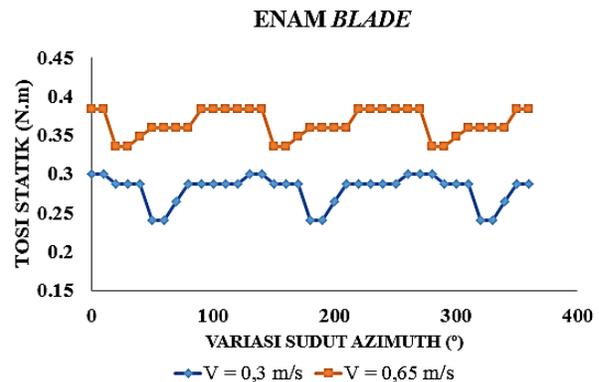


Gambar 6. Grafik Perbandingan Penambahan Sudut Azimuth Terhadap Torsi Statik Tiga *Blade*

Pengujian torsi statik dengan kecepatan air $0,3 \text{ m/s}$, menghasilkan torsi statik maksimal sebesar $0,264 \text{ Nm}$. Serta dapat kita lihat melalui grafik bahwa nilai torsi statik ini akan menurun menjadi 0.24 Nm dan 0.216 Nm pada sudut azimuth $20^\circ - 120^\circ$, kemudian pada sudut azimuth $130^\circ - 140^\circ$ torsi statik akan kembali meningkat

menjadi $0,264 \text{ Nm}$. Hal ini terjadi karena pada saat sudut azimuth $20^\circ - 120^\circ$ posisi arah aliran air banyak yang melewati celah-celah dari bagian tengah turbin *Darrieus* yang mengakibatkan kurangnya penyerapan energi air yang bisa diserap oleh *blade-blade* turbin *Darrieus* serta *blade* yang lain menerima aliran air yang arahnya melawan putaran turbin, sisi cembung dari *blade* ini yang akan menerima energi dari aliran air untuk memutar rotor turbin sehingga energi yang diterima dari sisi cekung ini berkurang dan menyebabkan torsi statik yang dihasilkan juga berkurang. Fenomena ini juga berlaku untuk variasi kecepatan 0.65 m/s .

Perbandingan variasi sudut azimuth terhadap torsi statik pada kecepatan aliran air 0.3 m/s dan 0.65 m/s menggunakan turbin enam *blade* dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Perbandingan Penambahan Sudut Azimuth Terhadap Torsi Statik Enam *Blade*

Dari grafik perbandingan penambahan sudut azimuth dengan torsi statik yang dihasilkan diatas dapat dianalisa, bahwa terdapat perbedaan torsi statik yang dihasilkan dari kedua kecepatan yang berbeda. Pengujian torsi statik dengan kecepatan air $0,3 \text{ m/s}$, menghasilkan torsi statik maksimal sebesar $0,3 \text{ Nm}$. Dalam hasil pengujian dan dapat kita lihat di grafik bahwa torsi statik maksimal ini akan menurun menjadi 0.288 Nm pada sudut azimuth $20^\circ - 40^\circ$ dan kembali menurun pada sudut azimuth $50^\circ - 60^\circ$ ke angka 0.24 Nm . kemudian pada variasi sudut azimuth $130^\circ - 140^\circ$ torsi statik akan kembali meningkat menjadi $0,3 \text{ Nm}$. Hal ini terjadi karena pada saat sudut azimuth $20^\circ - 120^\circ$ posisi arah aliran air banyak yang menuju celah-celah dari bagian *center* turbin *Darrieus* kemudian menuju ke turbin *Darrieus* tiga *blade* bagian dalam, aliran air yang berputar setelah melewati *blade - blade* turbin *Darrieus* tiga *blade* bagian dalam akan menjadi momentum pada turbin *Darrieus* tiga *blade* bagian luar nya, namun dengan adanya tiga *blade* pada bagian dalam ini membantu untuk mengurangi aliran air yang terbuang

atau energi kinetik air yang tidak terserap oleh turbin 3 *blade* pada bagian luar nya fenomena ini juga berlaku untuk variasi kecepatan 0.65 m/s.

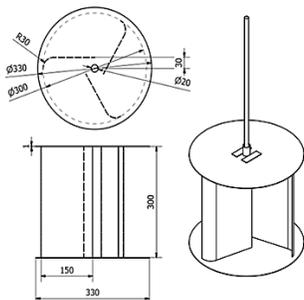
Dari hasil pengujian dan dapat kita lihat dari 2 data grafik di atas dapat kita simpulkan bahwa variasi kecepatan aliran air pada pengujian menunjukkan peningkatan nilai torsi statik dan torsi dinamik pada variasi kecepatan aliran air 0.65 m/s

4. Perbandingan Hasil Penelitian

Penelitian ini dilakukan dengan melihat penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Burhan Hafied. Penelitian ini akan dibandingkan dengan penelitian Burhan Hafied. Perbandingan hasil penelitian akan ditampilkan dalam bentuk grafik.

Dimensi dari rotor turbin yang diteliti oleh Burhan Hafied adalah sebagai berikut:

Kaji Eksperimental Torsi Statik Dan Torsi Dinamik *Hydrokinetic Turbin Savonius Single Stage Type Bach Tiga Sudu*. Rancangan desain *blade* Turbin Savonius *type Bach* tiga sudu dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Rancangan desain blade Turbin Savonius *type Bach* tiga sudu

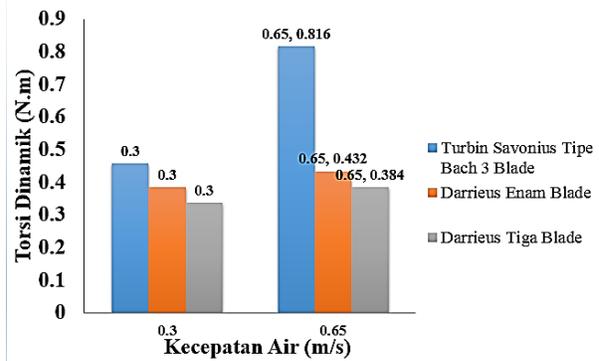
Tabel Spesifikasi Turbin hidrokinetik Savonius *type bach* dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Spesifikasi Turbin hidrokinetik Savonius *type bach*

No	Spesifikasi	Nilai
1	Bahan <i>blade</i>	Aluminium
2	Tinggi <i>blade</i>	300 mm
3	Lebar <i>blade</i>	150 mm
4	Diameter end plate	330 mm
5	Ketebalan <i>blade</i>	1 mm

Grafik perbandingan hasil pengujian dan perhitungan pada penelitian masing-masing akan ditampilkan pada gambar 9 dan 10:

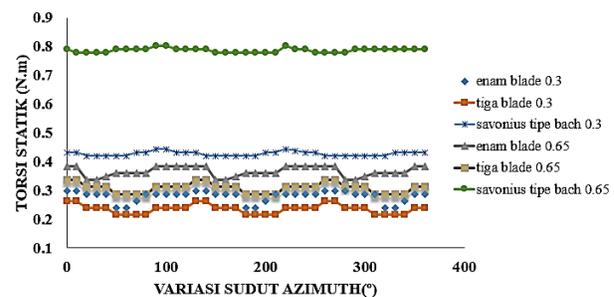
1. Grafik Perbandingan Torsi Dinamik



Gambar 9. Grafik Perbandingan Hasil Penelitian Pengujian Torsi Dinamik Vs Kecepatan Air

Dapat kita lihat pada grafik hasil penelitian oleh Burhan Hafied terhadap turbin Savonius *Type Bach Single Stage* tiga sudu dengan kecepatan aliran air yang sama dengan penelitian yang penulis lakukan yaitu sebesar 0,3 m/s dan 0.65 m/s. Pada kecepatan air 0.3 m/s penelitian Burhan Hafied menghasilkan torsi dinamik sebesar 0.456 Nm. Hasil penelitian eksperimen yang dilakukan penulis terhadap turbin *Darrieus* tipe- H menggunakan tiga *blade* dan enam *blade* kecepatan aliran air sebesar 0,3 m/s menghasilkan torsi dinamik sebesar 0.336 Nm pada turbin tiga *blade* dan 0.384 Nm pada turbin yang menggunakan enam *blade*. Pada kecepatan air 0.65 m/s penelitian Burhan Hafied menghasilkan torsi dinamik sebesar 0.816 Nm. Sedangkan hasil penelitian eksperimen yang dilakukan penulis terhadap turbin *Darrieus* tipe- H menggunakan tiga *blade* dan enam *blade* kecepatan aliran air sebesar 0,65 m/s menghasilkan torsi dinamik sebesar 0.384 Nm dan 0.432 Nm

2. Grafik Perbandingan Torsi Statik



Gambar 10. Grafik Perbandingan Pengujian Torsi Statik Vs Bukaan Sudut Azimuth

Burhan Hafied melakukan pengujian torsi statik dengan kecepatan aliran air yang sama dengan penulis lakukan. Pengujian dilakukan dengan kenaikan sudut Azimuth sebesar 10° sampai sudut 360°. Hasil yang diperoleh pada pengujian torsi statik yang di lakukan pada turbin *Darrieus* tipe-H ini memiliki nilai torsi

statik yang lebih kecil dari penelitian yang dilakukan Burhan Hafied dengan pengujian turbin pada kecepatan aliran air yang sama. Hal ini dapat dipengaruhi oleh bentuk dari *blade* turbin itu sendiri dan juga jumlah *blade* sangat berpengaruh terhadap daya serap energi kinetik air untuk di konversikan menjadi torsi statik ataupun torsi dinamik.

5. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang berjudul “Kaji Eksperimental Turbin Air *Darrieus* Tipe-H Menggunakan *Blade Hydrofoil* Standar NACA 2415” yang telah dilakukan pada kecepatan aliran air 0,3 m/s menggunakan turbin *Darrieus* enam *blade*, nilai torsi statik berada pada angka 0.3 Nm, nilai torsi dinamik nya berada pada angka 0.384 Nm. Pada jumlah *blade* yang sama dengan kecepatan aliran air 0,65 m/s didapatkan nilai torsi dinamik sebesar 0.432 Nm dan nilai torsi statik nya adalah 0.384 Nm. Berbeda dengan pengujian yang menggunakan turbin *Darrieus* tipe-H tiga *blade* yang mana nilai torsi nya cenderung menurun dikarenakan jumlah *blade* berpengaruh pada besarnya nilai torsi yang di hasilkan. Pada pengujian turbin *Darrieus* tiga *blade* dengan kecepatan aliran air 0,3 m/s nilai torsi dinamik yang di hasilkan adalah 0.336 Nm dan dengan kecepatan yang sama torsi statik nya adalah 0.264 Nm. Pada jumlah *blade* yang sama dengan kecepatan air 0.65 m/s didapatkan nilai torsi dinamik sebesar 0.384 Nm, dan nilai torsi statik nya adalah 0.336 Nm.

Hasil yang diperoleh pada pengujian torsi statik yang di lakukan pada turbin *Darrieus* tipe-H ini memiliki nilai torsi statik yang lebih kecil dari penelitian yang dilakukan Burhan Hafied dengan pengujian turbin pada kecepatan aliran air yang sama. Hal ini dapat dipengaruhi oleh bentuk dari *blade* turbin itu sendiri dan juga jumlah *blade* sangat berpengaruh terhadap daya serap energi kinetik air untuk di konversikan menjadi torsi statik maupun torsi dinamik.

Daftar Pustaka

- [1] Aris Febrianto & Agoes Santoso. 2016. “*Analisa Perbandingan Torsi Dan rpm Tipe Darrieus Terhadap Efisiensi Turbin*”. *Fultas Teknologi Kelautan*, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
- [2] Burhan Hafied. 2018. 1. Kaji Eksperimental Torsi Statik Dan Torsi Dinamik Hidrokinetik Turbin Savonius *Single Stage Type Bach* Tiga Sudu. Tugas Akhir Teknik Mesin. Fakultas Teknik Universitas Riau.
- [3] Dominy R, Lunt P, Bickerdyke A, Dominy J, 2007, *Self-starting capability of a Darrieus turbine*. Proc Inst Mech Eng (IMEchE) ePart A: J Power Energy ;221: 111-120
- [4] Giri Saputra, 2016. “*Kaji Eksperimental Turbin Angin Darrieus-H Dengan Bilah Tipe NACA 2415*”. Universitas Riau, JOM Teknik Mesin vol. 3 No. 1.
- [5] Kaprawi, 2011, “*Pengaruh Geometri Blade Dari Turbin Air Darrieus Terhadap Kinerjanya*”. Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3 Palembang
- [6] Lain S., Osario C., 2010, “*Simulation and Evaluation of a Sraight Bladed Darrieus Type Cross Flow Marine Turbine*”, Journal of Scientific & Research, Vol. 69 p.906-912