

Kaji Eksperimental Turbin Air *Darrieus* Tipe-H Menggunakan *Blade Hydrofoil Standar NACA 2415*

Study Experimental Darrieus Type-H Water Turbines Using NACA 2415 Standard Hydrofoil Blade

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

Rudi.kusumawijaya¹@student.unri.ac.id, iwan.ktm@gmail.com

Abstrak

Telah dilakukan kaji eksperimental turbin air *Darrieus* tipe-H menggunakan *blade hydrofoil* standar NACA 2415 untuk mengetahui nilai torsi statik dan dinamik yang dihasilkan turbin air *Darrieus* tipe-H 3 *blade* dan 6 *blade*, pengujian menggunakan *water tunnel* dimensi 6m x 0.6m x 1m. Variasi tiga *blade* dan enam *blade*, dengan diameter turbin 0.44 m x 0.15 m pada turbin luar dan 0.18 x 0.14 m pada turbin bagian dalam, panjang *chord* 0.10 m dengan variasi sudut serang 0° sampai dengan 360°, variasi kecepatan air pertama 0.3 m/s, variasi kecepatan aliran air kedua 0.65 m/s. Kecepatan air 0.3 m/s enam *blade*, torsi statik 0.3 Nm, torsi dinamik nya 0.384 Nm, kecepatan air 0,65 m/s torsi dinamik 0.432 Nm dan torsi statik nya 0.384 Nm, pengujian turbin *Darrieus* tiga *blade* kecepatan air 0,3 m/s nilai torsi dinamik 0.336 Nm dan dengan kecepatan yang sama torsi statik nya 0.264 Nm. Pada kecepatan air 0.65 m/s nilai torsi dinamik sebesar 0.384 Nm, dan nilai torsi statik 0.336 Nm. Dari data hasil pengukuran tersebut dapat disimpulkan bahwa variasi turbin enam *blade* memiliki nilai torsi statik dan torsi dinamik yang lebih tinggi dari pada turbin tiga *blade*, jumlah *blade* sangat berpengaruh terhadap daya serap energi kinetik air untuk di konversikan menjadi torsi statik maupun torsi dinamik.

Kata kunci : Turbin *Hydrokinetic*, *Darrieus*, Torsi Statik, Torsi Dinamik

Abstract

An experimental study of the H-type Darrieus water turbine was carried out using a standard NACA 2415 hydrofoil blade to determine the value of static and dynamic torque generated by the 3-blade and 6-blade Darrieus H-type water turbine, testing using a water tunnel dimensions of 6m x 0.6m x 1m. Variation of three blades and six blades, with a turbine diameter of 0.44 mx 0.15 m on the outer turbine and 0.18 x 0.14 m on the inner turbine, chord length 0.10 m with variations in angle of attack 0° to 360°, variation of first water velocity 0.3 m / s second water flow velocity 0.65 m / s. Water velocity 0.3 m / s six blades, static torque 0.3 Nm, dynamic torque 0.384 Nm, water velocity 0.65 m / s dynamic torque 0.432 Nm and static torque 0.384 Nm, Darrieus three blade turbine test water speed 0.3 m / s dynamic torque value of 0.336 Nm and with the same speed its static torque is 0.264 Nm. At 0.65 m / s water velocity, 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 six-blade turbine variation has a higher value of static torque and dynamic torque than the three-blade turbine, the number of blades greatly influences the absorption of water kinetic energy to be converted into static torque and dynamic torque.

Keywords: Hydrokinetic 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, peningkatan gaya *lift* pada turbin air juga dipengaruhi oleh besar sudut serang dari *blade* turbin. Sudut serang adalah sudut yang dibentuk oleh *chord* dengan arah datangnya *fluida* (Hau, 2005), torsi yang disebabkan oleh gaya angkat harus lebih besar dibanding torsi yang dihasilkan oleh gaya hambat (*drag*) sehingga menghasilkan torsi netto (Decoste *et al*, 2004). 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 *et al*, 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. B.K. Kirke. (2011) Melakukan Penelitian yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik beberapa jenis turbin *Darrieus* pada proses pemanfaatan aliran air tekanan rendah menjadi energi mekanik. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa C_p maksimum diperoleh pada kecepatan aliran 1,5 m/s baik turbin *Darrieus* type -H dan *heliks* tanpa *diffuser*. Turbin jenis *Darrieus* dapat mengubah torsi ketika *blade* bergerak relatif lebih cepat terhadap aliran yang datang dan beroperasi pada *low Tip Speed Ratio* (Malge, 2015).

Teja (2017) dalam penelitiannya menggabungkan antara turbin *Darrieus* tiga *blade* dengan turbin Savonius dua *blade* mengatakan bahwa penambahan jumlah *blade* pada instalasi turbin dapat menjadi salah satu bentuk modifikasi lain untuk meningkatkan performa dari turbin.

Febriyanto (2014) meneliti tentang Studi Perbandingan Karakteristik *Airfoil* NACA 0012 Dengan NACA 2410 Terhadap *Koefisien Lift* dan *Koefisien Drag* Pada Berbagai Variasi Sudut Serang Dengan CFD, hasil yang di dapatkan adalah nilai C_L dan C_D pada *blade* tak simetris lebih tinggi dari pada *blade* dengan bentuk yang simetris.

Kaprawi (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 dibandingkan 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 (2018) 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. METODE

Konversi energi hidrokinetik dapat dilakukan dengan dua cara yaitu menggunakan turbin dan tanpa menggunakan turbin. Konversi menggunakan turbin antara lain dengan *Horizontal Axis Turbine* (HAT) dan *Vertical Axis Turbine* (VAT). Turbin hidrokinetik jenis HAT memiliki sumbu rotasi yang searah dengan arah datangnya *fluida*. Sedangkan turbin hidrokinetik jenis VAT memiliki sumbu rotasi yang tegak lurus dengan arah datangnya *fluida* (Khan *et al*, 2009).

Setiap jenis turbin hidrokinetik memiliki kelebihan dan kekurangan. Kelebihan turbin hidrokinetik jenis HAT antara lain kemampuan *self starting* yang tinggi, efisiensi yang lebih tinggi, dan rasio biaya terhadap daya yang dihasilkan lebih rendah. Sedangkan kekurangan turbin hidrokinetik jenis HAT antara lain mengharuskan pemasangan generator dan *gearbox* dekat dengan rotor sehingga membuat perawatan lebih sulit dan memerlukan bagian tambahan seperti ekor yang digunakan untuk mengarahkan turbin saat arah aliran *fluida* berubah (Zobaa *et al*, 2011).

Kelebihan turbin hidrokinetik jenis VAT antara lain kemudahan dalam perawatan karena pemasangan generator dan *gearbox* dapat diletakkan jauh dengan rotor, dapat menerima aliran *fluida* dari segala arah, dapat beroperasi pada kecepatan aliran *fluida* yang rendah, dan desain *blade* yang sederhana sehingga biaya pembuatan *blade* lebih rendah. Sedangkan kekurangan turbin hidrokinetik jenis VAT antara lain kemampuan *self starting* yang rendah sehingga dapat mengakibatkan patahnya *blade* dan menghasilkan getaran akibat rotasi turbin. Selain itu juga memiliki efisiensi yang rendah serta sulit dalam mengendalikan kecepatan *blade* yang tinggi (Zobaa *et al*, 2011).

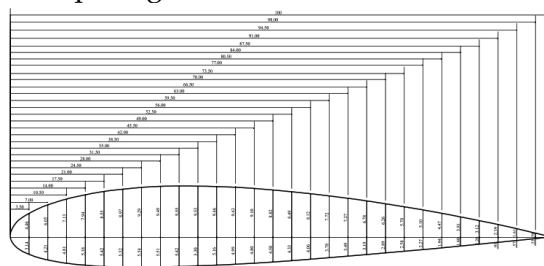
Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental. Hal ini dilakukan untuk pengujian turbin air *Darrieus* tipe-H menggunakan *blade hydrofoil* standar NACA 2415.

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.

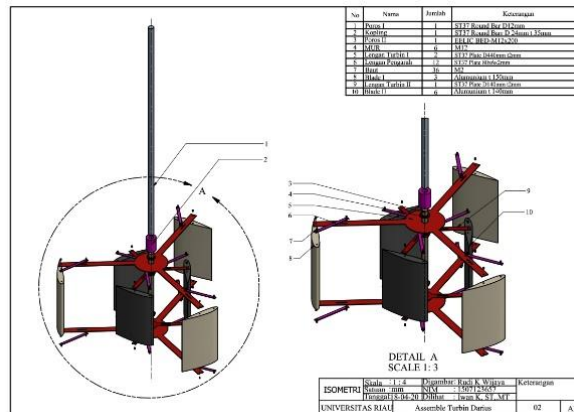
Tabel 1. Variasi Penelitian

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

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.

Torsi

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

$$T = F \cdot r \quad (1)$$

Dimana :

T = torsi (N.m)

F = Gaya sentrifugal dari poros yang berputar (N)

r = jarak benda ke pusat rotasi (m)

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 :

$$\omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot n}{60 \text{ detik}} \quad (2)$$

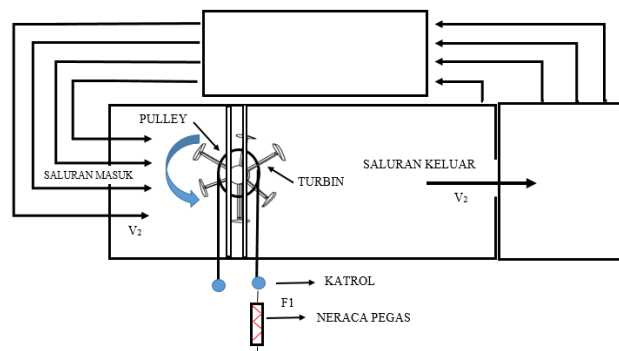
Dimana :

ω = kecepatan sudut (rad/sekon)

n = jumlah rotasi per menit (rpm)

Sketsa Pengujian

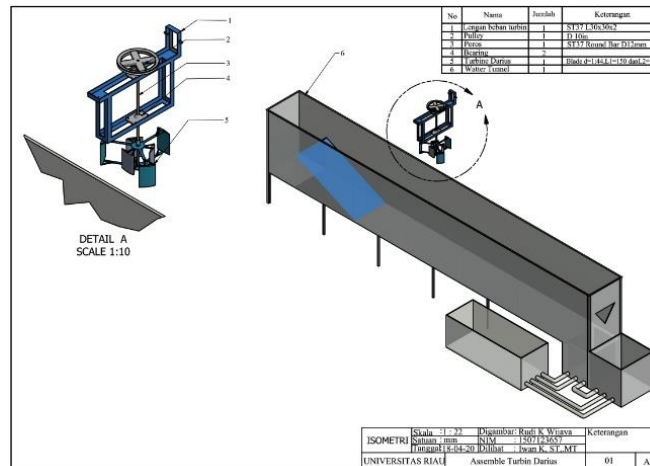
Pengujian turbin *Darrieus* ini dilakukan dengan menggunakan wadah penampungan air (*water tunnel*), pengujian turbin *Darrieus* dilakukan di dalam *water tunnel* dengan menggunakan sirkulasi air yang mengalir dari empat buah pompa yang kemudian di sirkulasi kan untuk menggerakkan turbin *Darrieus*. 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 *dinamometer newton* untuk mengukur gaya sentrifugal (gaya gerak melingkar yang berputar menjauhi pusat lingkaran) pada turbin, kemudian saluran keluar v2 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.

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:

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:

- Ukurlah lebar dari *water tunnel* dengan meteran/pengaris.
- Reset alat ukur terlebih dahulu.
- Letakkan *water probe* tepat di bawah permukaan air, setelah baling-baling yang ada pada *water probe* berputar baru lah tekan "start".
- 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
- Catat hasil yang di dapat.

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:

- a. *Tachometer* untuk mengukur kecepatan putaran.
- b. *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*.

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:

- a. Alat ukur Busur lingkaran.
- b. *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. HASIL DAN PEMBAHASAN

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.

Perhitungan Dan Pengolahan Data

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

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

Dimana:

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

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

$$T = F.r$$

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

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

Pada pengujian torsi dinamik turbin *Darrieus* tiga *blade* dengan kecepatan aliran air kedua $V = 0,65 \text{ m/s}$, 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 dinamik pada kecepatan air kedua dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan:

Dimana:

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

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

$$T = F.r$$

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

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

Pada pengujian torsi dinamik turbin *Darrieus* enam *blade* dengan kecepatan aliran air pertama $V = 0,3 \text{ m/s}$, 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 dinamik dilakukan perhitungan dengan menggunakan persamaan:

Dimana:

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

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

$$T = F.r$$

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

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

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

Dimana:

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

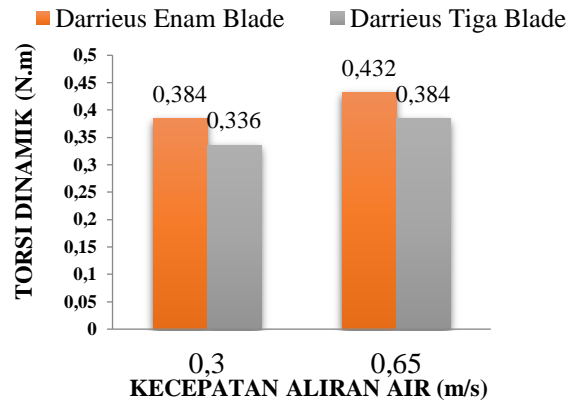
$$r = 0.12 \text{ m} \quad N = 0 \text{ rpm}$$

$$T = F.r$$

$$T = (3,2 N). (0.12 m)$$

$$T = 0.432 Nm$$

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.

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:

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

$$r = 0.12 m \quad N = 0 rpm$$

$$T = F.r$$

$$T = (2,2 N). (0.12$$

$$m)$$

$$T = 0.264 Nm$$

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:

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

$$r = 0.12 m \quad N = 0 rpm$$

$$T = F.r$$

$$T = (2,8 N). (0,12 m)$$

$$T = 0,336 Nm$$

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:

$$F = 2,5 \text{ N} \quad v = 0,3 \text{ m/s}$$

$$r = 0,12 \text{ m} \quad N = 0 \text{ rpm}$$

$$T = F.r$$

$$T = (2,5 \text{ N}). (0,12 \text{ m})$$

$$T = 0,3 \text{ Nm}$$

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:

$$F = 3,2 \text{ N} \quad v = 0,65 \text{ m/s}$$

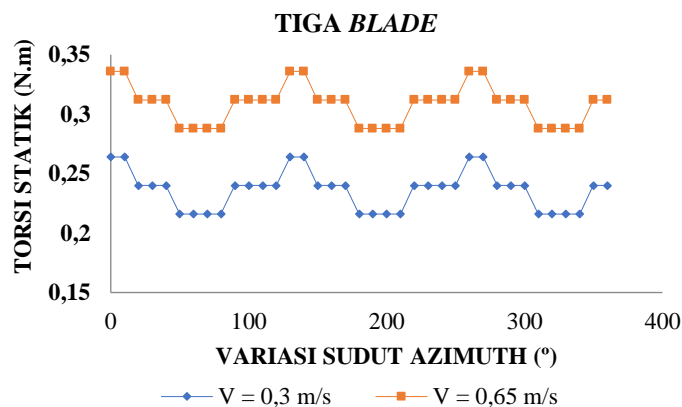
$$r = 0,12 \text{ m} \quad N = 0 \text{ rpm}$$

$$T = F.r$$

$$T = (3,2 \text{ N}). (0,12 \text{ m})$$

$$T = 0,384 \text{ Nm}$$

Perbandingan variasi sudut azimuth terhadap torsi statik pada kecepatan aliran air $0,3 \text{ m/s}$ dan $0,65 \text{ m/s}$ menggunakan turbin tiga *blade* dapat dilihat pada gambar 6.

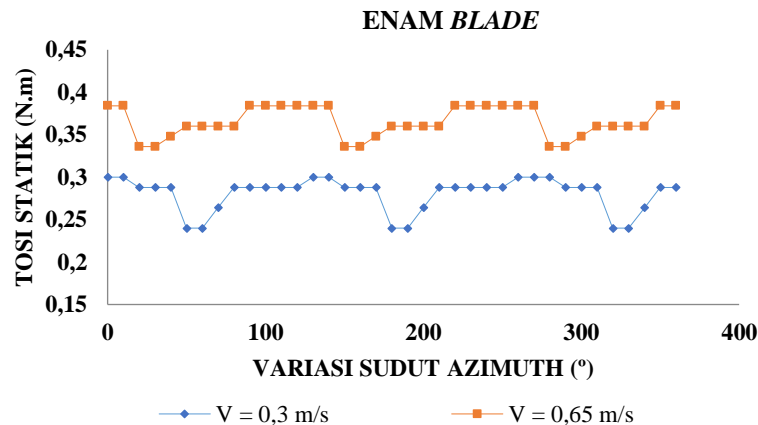


Gambar 6. Grafik Perbandingan Penambahan Sudut Azimuth Terhadap Torsi Statik Tiga Blade

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 $0,24 \text{ Nm}$ dan $0,216 \text{ Nm}$ 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 m/s, menghasilkan torsi statik maksimal sebesar 0,3 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°-40° dan kembali menurun pada sudut azimuth 50°-60° ke angka 0.24 Nm. kemudian pada variasi sudut azimuth 130°-140° torsi statik akan kembali meningkat menjadi 0,3 Nm. Hal ini terjadi karena pada saat sudut azimuth 20° - 120° 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.

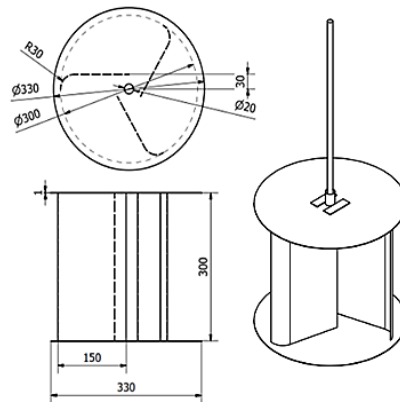
Dari hasil pengujian dan dapat kita lihat dari 2 data grafik di atas dapat kita simpulkan bahwa variasi kecepatan aliran air pada pengujian menunjukkan peningkatan nilai torsi statik dan torsi dinamik pada variasi kecepatan aliran air 0.65 m/s

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

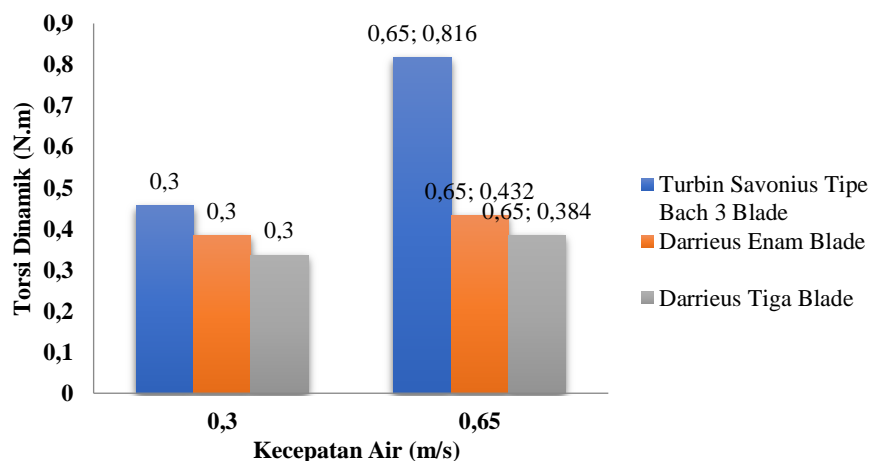
Tabel Spesifikasi Turbin hidrokinetik Savonius *type bach* dapat dilihat pada tabel 3.

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:

Grafik Perbandingan Torsi Dinamik

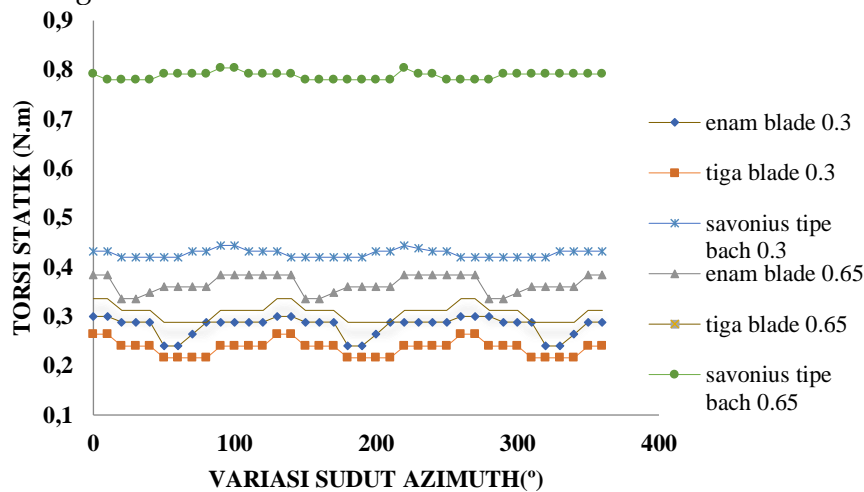


Gambar 9. Grafik Perbandingan Hasil Penelitian Pengujian Torsi Dinamik Vs Kecepatan Air

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

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.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

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 dihasilkan. Pada pengujian turbin *Darrieus* tiga *blade* dengan kecepatan aliran air 0,3 m/s nilai torsi dinamik yang di dihasilkan 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.

Saran

Setelah melakukan penelitian ini, penulis memiliki beberapa saran untuk penelitian selanjutnya. Beberapa saran tersebut adalah sebagai berikut:

Kaji Eksperimental Turbin... (Wijaya, dkk), halaman

Perlu dikembangkan penelitian lanjutan mengenai turbin *Darrieus* hidrokinetik untuk meningkatkan kinerja dari turbin *Darrieus*. Variasi pemberian beban sebaiknya dilakukan pengukuran beban dengan timbangan digital terlebih dahulu supaya hasil pembebanan terukur lebih akurat.

Perlu diadakannya penelitian lanjutan mengenai simulasi turbin *Darrieus hydrokinetic* menggunakan *software* berbasis *computational fluid dinamik* atau sejenisnya secara menyeluruh baik pada turbin dan juga *water tunnel* agar dapat membandingkan dengan nilai aktual. penggunaan metode dan material yang digunakan untuk penelitian selanjutnya harus lebih memperhatikan metode yang tepat dan jenis material yang digunakan.

Saat membuat sirkulasi aliran air buatan pada *water tunnel*, usahakan pompa air yang digunakan tidak ada gelembung udara yang terhisap dalam pompa hal ini dilakukan supaya aliran air konstant

UCAPAN TERIMAKASIH

Penelitian ini dapat dilaksanakan dengan baik berkat bantuan dari berbagai pihak untuk itu peneliti mengucapkan banyak terima kasih kepada Bapak Iwan Kurniawan, ST., MT selaku dosen pembimbing saya, tak kalah penting teman seperjuangan saya Arpan Cesar yang telah membantu saya selama penelitian hingga selesai dan teman-teman lain yang telah memberikan kerjasama yang baik dalam penelitian ini

DAFTAR RUJUKAN

- Kirke, B.K. (2011). *Tests on ducted and bare helical and straight blade Darrieus hydrokinetic turbines*, 36, pp.3013-3022
- 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
- Decoste, Josh. (2004). *Self-Starting Darrieus Wind Turbine*. Department of Mechanical Engineering, Dalhousie University.
- Febrianto, A., & Santoso, A. (2016). "*Analisa Perbandingan Torsi Dan rpm Tipe Darrieus Terhadap Efisiensi Turbin*". Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
- Febriyanto, N. (2014). "*Studi Perbandingan Karakteristik Airfoil NACA 0012 Dengan NACA 2410 Terhadap Koefisien Lift dan Koefisien Drag Pada Berbagai Variasi Sudut Serang Dengan CFD*" Fakultas teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta
- Saputra, G. (2016). *Kaji Eksperimental Turbin Angin Darrieus-H Dengan Bilah Tipe NACA 2415*. Universitas Riau, JOM Teknik Mesin vol. 3 No. 1.
- Hafied, B. (2018). *Kaji Eksperimental Torsi Statik Dan Torsi Dinamik Hidrokinetik Turbin Savonius Single Stage Type Bach Tiga Sudu*. Tugas Akhir Teknik Mesin. Fakultas Teknik Universitas Riau.
- Hau, E. (2005). *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*. Springer. Berlin.

- Kaprawi. (2011), *Pengaruh Geometri Blade Dari Turbin Air Darrieus Terhadap Kinerjanya*. Prosiding Seminar Nasional AVoER ke-3 Palembang
- Khan, M. J., Bhuyan, G., Iqbal M. T., & Quaicoe J.E. (2009). *Hydrokinetic Energy Conversion Systems and Assessment of Horizontal and Vertical Axis Turbines for River and Tidal: Applications A Technology Status Review*. *Applied Energy*, 86, 1823-1835.
- 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
- Marizka, L. D. (2010). *Analisis Kinerja Turbin Hydrokinetic Poros Vertical Dengan Modifikasi Rotor Savonius L Untuk Optimasi Kinerja Turbin*. Tugas Akhir Sains Fisika. FMIPA-Universitas Sebelas Maret.
- Malge, P. (2015). *Analysis of Lift and Drag Forces at Different Azimuth Angle of Innovative Vertical Axis Wind Turbine*. *International Journal of Energy Engineering* 4(5-8).
- Teja, P., D. (2017). *Studi Numerik Turbin Angin Darrieus – Savonius Dengan Penambahan Stage Rotor Darrieus*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Zobaa, A. F., & Bansal, R. C. (2011). *Handbook of Renewable Energy Technology*. USA: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd.