

# Kaji Eksperimental Torsi Statik dan Dinamik Turbin Savonius Hidrokinetik Tipe *Bach* Tiga Sudu Dua Stage Menggunakan Plat Pengarah

Agus Saputra<sup>1</sup>, Iwan Kurniawan<sup>2</sup>

Laboratorium Perawatan dan Perbaikan, Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau  
Kampus Bina Widya Km 12,5 Simpang Baru Panam, Pekanbaru 28293  
[agus.saputra4712@student.unri.ac.id](mailto:agus.saputra4712@student.unri.ac.id), [iwan.ktm@gmail.com](mailto:iwan.ktm@gmail.com)

## Abstract

Throughout human history great advances in culture have always been followed by increased energy consumption. Hydrokinetic energy can be used in Savonius turbines. The purpose of this research is to find out the static torque and dynamic torque produced from Savonius turbine type *Bach* three blades by varying the first and second levels (15 cm: 15 cm, 17 cm: 13 cm and 20 cm: 10 cm) at the same total turbine height. The aspect ratio dimensions are 1.1, overlap ratio 0.2, rotor height (H) 0.3m, rotor diameter (D) 0.33 m, turbine diameter (d) 0.3 m, and with variations in water flow velocity ( $V$ ) 0.34 m / s and 0.51 m / s in the water tunnel. The two torques are obtained at rest (static torque) for each angle of the azimuth and moving conditions (dynamic torque) from no load and until it stops spinning. Based on the data obtained from the Savonius turbine type *Bach* three-tiered blades using the directional blades produce  $\alpha 30^\circ$ :  $\beta 10^\circ$  angles on the 15/15 turbine get greater dynamic torque compared to research with turbines 17/13 or 20/13 that is equal to 0, 3 Nm at a water velocity of 0.51 m/s, but compared to the results of the dynamic torque produced by the variation of the directional plate at an angle of  $\alpha 30^\circ$ :  $\beta 10^\circ$  and angle  $\alpha 45^\circ$ :  $\beta 10^\circ$  get smaller results that is 0.288 Nm and 0.252 Nm, the largest dynamic torque is 0.42 Nm and the static torque is 0, 528 Nm at a variation of 15 cm: 15 cm. From the results of the static torque, the Savonius turbine *Bach* type three blades with variations of the directional plate at an angle of  $\alpha 60^\circ$ :  $\beta 10^\circ$  get a static torque greater than the variation of the directional plate at an angle of  $\alpha 30^\circ$ :  $\beta 10^\circ$ , angle  $\alpha 60^\circ$ :  $\beta 10^\circ$ , which is equal to 0.3 Nm and 0.27 Nm, 0.264 Nm.

**Keywords:** Savonius hydrokinetic turbine, guide blade, dynamic torque, static torque

## 1. Pendahuluan

Pemanfaatan turbin hidrokinetik dapat dioptimalkan sebagai pengkonversi energi kinetik arus air menjadi energi listrik. Turbin hidrokinetik yang ingin dikembangkan yakni turbin Savonius. Turbin Savonius ini cocok digunakan untuk memanfaatkan energi aliran air yang relatif kecil dan memiliki torsi awal yang baik. Selain itu, turbin Savonius memiliki konstruksi yang sederhana, relatif murah, dan tidak tergantung pada arah aliran air.

Kinerja rotor Savonius tergantung pada parameter yang berbeda seperti jumlah sudu, jumlah tahapan dan geometri pisau. Sampai saat ini, tidak ada teori prosedur yang tepat menyatakan peningkatan kinerja rotor Savonius. Cara terbaik untuk mengoptimalkan berbagai parameter adalah dengan melaksanakan sejumlah percobaan pada berbagai jenis rotor di terowongan angin bagian uji kecepatan rendah.

Soelaiman [1], melakukan penelitian tentang beberapa macam *blade*, yaitu Savonius dengan *blade Savonius classic* dua *blade* dan Savonius dengan *blade type Bach*. Dari penelitian mereka menyimpulkan bahwa *blade Savonius type Bach* menghasilkan unjuk kerja yang lebih baik dibandingkan dengan Savonius tipe *classic*.

U.K.Saha [2], melakukan penelitian eksperimental dari beberapa jenis *blade Savonius Wind Turbine* dua *blade*, yaitu turbin Savonius tipe *semi-circular*, tipe *semi-elliptic*, tipe *benesh* dan tipe *Bach*. Dari hasil penelitian turbin Savonius tipe *Bach* menghasilkan koefisien daya dan koefisien torsi yang lebih tinggi dari

beberapa tipe tersebut.

Pada penggunaan plat pengarah, panjang dan besar sudut plat pengarah dapat mempengaruhi dari kinerja turbin Savonius. Hal ini terdapat pada penelitian yang dilakukan Burcin Deda Altan dan Mehmet Altigan [3], pada pengujiannya menggunakan turbin savonius dua sudu didapat torsi maksimum sebesar 1,4 Nm dari variasi panjang plat pengarah 45 cm dan 51 cm pada sudut  $\alpha=45^\circ$  dan  $\beta=15^\circ$ . Burcin Deda Altan, Mehmet Atilgan, dan Aydog Ozdamar [4], dalam penelitiannya tentang kinerja turbin Savonius dengan dua plat pengarah. Plat pengarah diletakkan di depan kincir. Plat pengarah bertujuan mengurangi/menghilangkan torsi negatif yang terjadi pada sudu balik serta mengarahkan aliran ke sudu dorong. Dari pengujian ini, telah ditemukan bahwa peningkatan yang signifikan terjadi pada kinerja rotor dengan menggunakan plat pengarah [5][6].

Dari latar belakang di atas penulis tertarik untuk melakukan penelitian terhadap turbin Savonius Type Bach, dimana penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian yang dilakukan oleh Saha [7][8], 2008. Perbedaan terletak pada dimensi yang divariasikan antara tingkat satu dan dua tingkat [9]. Penelitian ini ingin memperlihatkan apakah torsi statik dan dinamik satu tingkat lebih besar dibandingkan dengan turbin dua tingkat yang mempunyai dimensi sama, serta menggunakan plat pengarah untuk melihat perbedaan hasil torsi dinamik dan torsi statik yang dihasilkan [10]. Dan fluida yang digunakan adalah air

dengan pemanfaatan tenaga pompa sebagai penggerak air tersebut agar menghasilkan aliran untuk menghasilkan torsi yang diinginkan.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui besar torsi minimal yang diperlukan untuk menghentikan putaran turbin (torsi dinamik) besar torsi minimal yang diperlukan untuk memulai putaran turbin dari kondisi diam (torsi statik). Sehingga penelitian ini bermanfaat untuk memperoleh turbin hidrokinetik yang bisa dimanfaatkan di daerah pedesaan [11].

## 2. Metode

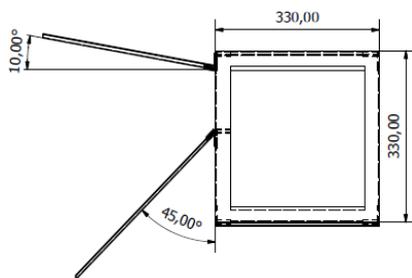
Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen. Metode ini melakukan pengujian dengan memvariasikan kecepatan aliran air dan pengaruh penambahan plat pengarah sebagai parameter untuk meningkatkan torsi dan putaran yang dihasilkan. Variabel yang digunakan pada penelitian ini yaitu:

- a. Variabel Bebas
  - Variasi Plat Pengarah

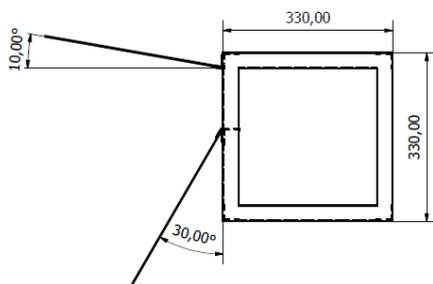
Proses pembuatan variasi Plat pengarah dan pembuatan kedudukan Plat pengarah dilakukan di laboratorium perawatan Teknik Mesin Universitas Riau. Adapun dimensi variasi plat pengarah dapat dilihat pada tabel 1. Untuk gambar dimensi variasi plat pengarah dapat dilihat pada gambar 1, 2, dan 3.

**Tabel 1** Dimensi Variasi Plat Pengarah

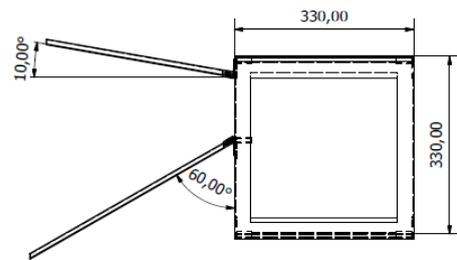
| Plat Pengarah | Sudut $\alpha$ (°) | Panjang (mm) | Sudut (°) | Panjang (mm) |
|---------------|--------------------|--------------|-----------|--------------|
| 1             | 30                 | 350          | 10        | 575          |
| 2             | 45                 | 395          | 10        | 575          |
| 3             | 60                 | 433          | 10        | 575          |



**Gambar 1** Variasi Plat Pengarah 1



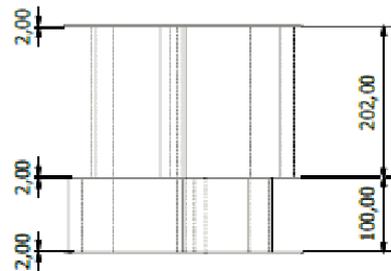
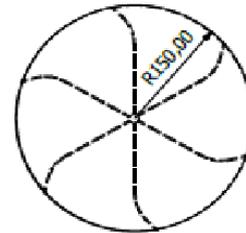
**Gambar 2** Variasi Plat Pengarah 2



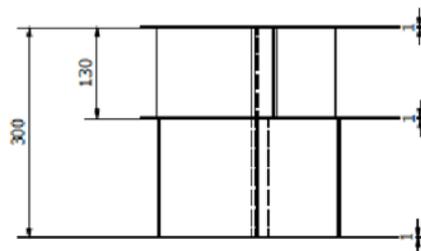
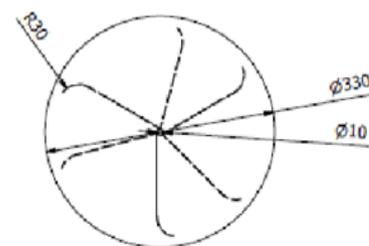
**Gambar 3** Variasi Plat Pengarah 3

### - Dimensi Turbin Savonius

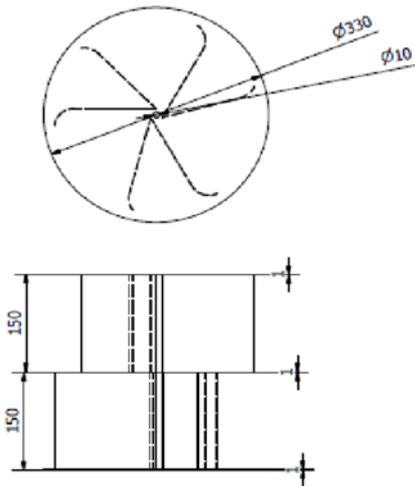
Untuk dimensi turbin savonius dapat dilihat pada tabel 2 dan gambar dapat dilihat pada gambar 4, 5 dan 6.



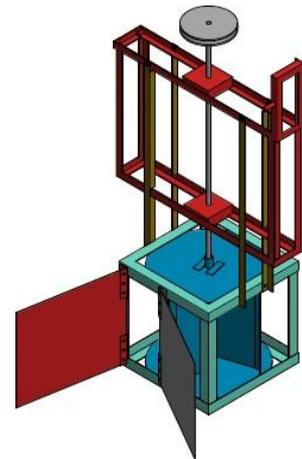
**Gambar 4** Rancangan Desain *Blade* Turbin Savonius *Type bach* Tiga Sudu Dua Tingkat (20 cm : 10 cm)



**Gambar 5** Rancangan Desain *Blade* Turbin Savonius *Type bach* Tiga Sudu Dua Tingkat (13 cm : 17 cm)



**Gambar 6** Rancangan Desain *Blade* Turbin Savonius *Type bach* Tiga Sudu Dua Tingkat (15 cm : 15 cm)



**Gambar 7** Alat uji

- Debit air yaitu 11,53  $L/s$  dan 14,4  $L/s$
- Kecepatan air yaitu 0,34  $m/s$  dan 0,51  $m/s$
- Variasi sudut pada pengujian torsi statik yaitu 0° sampai 350°

b. Variabel Terikat

Variabel terikat yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut (L.D.Mariska. 2010) [6] :

- Kecepatan sudut ( $\omega$ )

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

Dimana:

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/sekon)  
 $n$  = jumlah rotasi per menit (Rpm)

- *Tip Speed Ratio* (TSR)

$$\lambda = (\omega \cdot R) / V$$

Dimana:

$\lambda$  = *Tip Speed Ratio*  
 $\omega$  = kecepatan sudut  
 $R$  = jari-jari rotor turbin Savonius (m)  
 $V$  = laju aliran air

- Torsi

$$\tau = F \cdot r_p$$

$\tau$  : Torsi ( N.m )

$F$  : Gaya *sentrifugal* dari poros yang berputar(N)

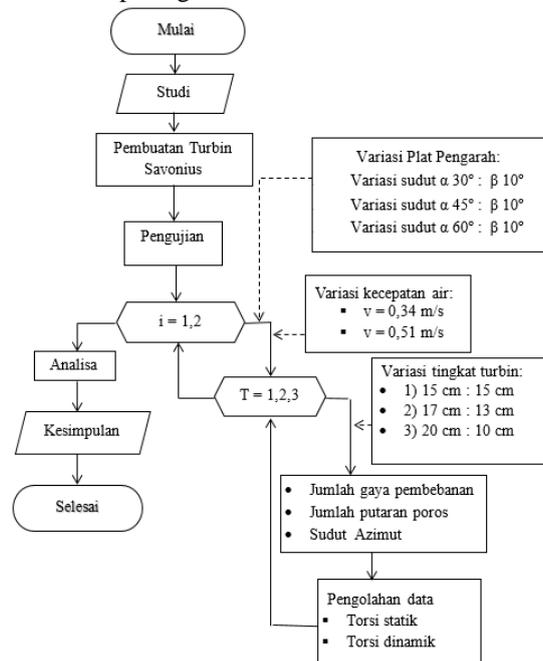
$r_p$ : Jari-jari *pulley* (m)

**2.1 Alat Uji**

Pengujian dilakukan di laboratorium perawatan dan perbaikan, jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Riau. Untuk gambar alat uji dapat dilihat pada gambar 7.

**2.2 Diagram Alir Penelitian**

Dalam pelaksanaan penelitian tugas akhir ini dengan judul “Kaji Eksperimental Torsi Statik Dan Torsi Dinamik Hidrokinetik Turbin Savonius *Type Bach* Tiga Plat Menggunakan Plat Pengarah” penulis menggunakan diagram alir sebagai acuan dalam menyelesaikan tugas akhir ini. Diagram alir penelitian diperlihatkan pada gambar 8.

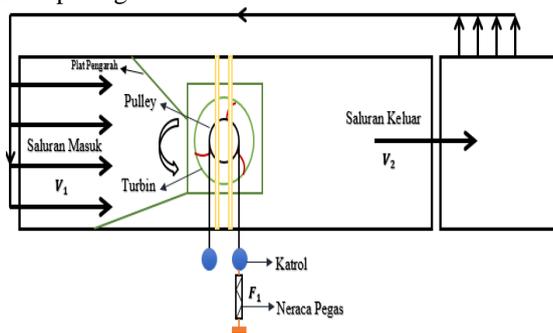


**Gambar 8.** Diagram Alir Penelitian

**2.3 Sketsa Pengujian**

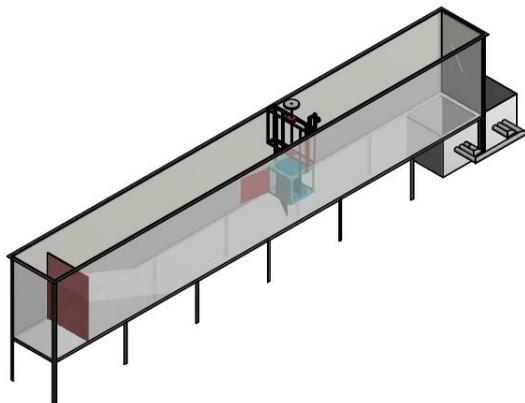
Pengujian turbin Savonius ini akan dilakukan dengan menggunakan sebuah wadah penampungan air ( *Water Tunnel* ), turbin Savonius di tempatkan kedalam sebuah *water tunnel* kemudian dibutuhkan sirkulasi air yang mengalir untuk menggerakkan turbin maka dibutuhkan empat pompa untuk

mensirkulasikan air sehingga turbin dapat bergerak. Gambar sketsa pengujian turbin savonius dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. Sketsa Pengujian

Pada gambar 9, terlihat turbin akan digerakan oleh empat buah pompa yang mensirkulasikan air didalam *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 disirkulasikan menggunakan empat buah pompa menuju *water tunnel* kembali. Gambar alat pengujian dapat dilihat pada gambar 10.



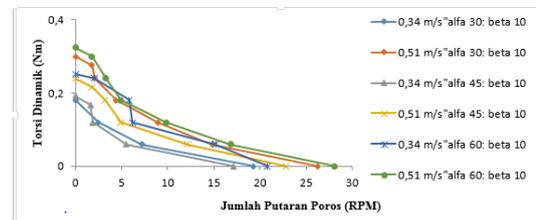
Gambar 10. Desain Pengujian

Pada pegujian ini ketika turbin berputar akan diberikan gaya sentrifugal dengan mengerem/memberhentikan putaran *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 savonius mulai berputar dari kondisi diamnya, sedangkan torsi dinamik merupakan besar torsi yang dihasilkan sampai poros berhenti berputar.

### 3. Hasil

Berikut ini adalah hasil pengujian dan pengolahan data torsi dinamik dan torsi statik dari pengujian yang telah dilakukan.

#### 3.1 Hasil dan Pengolahan Data Torsi Dinamik



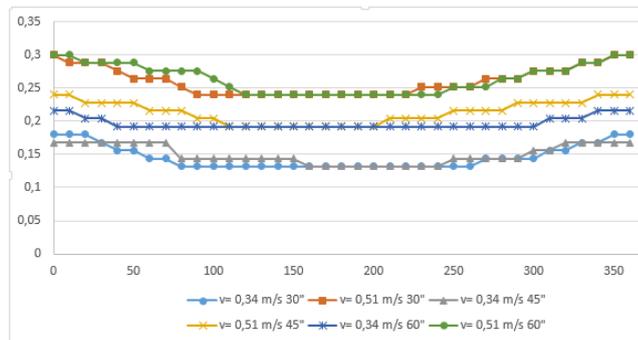
Gambar 11. Grafik Perbandingan Torsi Dinamik Dengan Rpm Pada Turbin 15/15 Dengan Sudut Pengarah A:30° B:10°, A:45° B:10°, A:60° B:10°

Dari gambar 11 didapatkan grafik perbandingan jumlah rotasi dengan torsi dinamik yang dimana dihasilkan pada kecepatan aliran 0,34 m/s dengan  $\alpha 30^\circ : \beta 10^\circ$  didapatkan jumlah putaran torsi sebanyak 19,3 rpm tanpa pembebanan dan berhenti pada pembebanan secara *sentrifugal* sebesar 0,5 N hingga 1,5 N sampai turbin benar dalam keadaan berhenti. Begitu juga dengan jumlah rotasi dengan torsi dinamik yang dimana dihasilkan pada kecepatan aliran 0,51 m/s dengan  $\alpha 30^\circ : \beta 10^\circ$  didapatkan jumlah putaran torsi sebanyak 26,2 rpm tanpa pembebanan dan berhenti pada pembebanan secara *sentrifugal* sebesar 0,5 N hingga 2,5 N sampai turbin benar dalam keadaan berhenti.

Begitu juga dengan jumlah rotasi dengan torsi dinamik yang dimana dihasilkan pada kecepatan aliran 0,34 m/s dengan  $\alpha 45^\circ : \beta 10^\circ$  didapatkan jumlah putaran torsi sebanyak 17,1 rpm tanpa pembebanan dan berhenti pada pembebanan secara *sentrifugal* sebesar 0,5 N hingga 1,6 N sampai turbin benar dalam keadaan berhenti. Begitu juga dengan jumlah rotasi dengan torsi dinamik yang dimana dihasilkan pada kecepatan aliran 0,51 m/s dengan  $\alpha 45^\circ : \beta 10^\circ$  didapatkan jumlah putaran torsi sebanyak 22,8 rpm tanpa pembebanan dan berhenti pada pembebanan secara *sentrifugal* sebesar 0,5 N hingga 2 N sampai turbin benar dalam keadaan berhenti.

Begitu juga dengan jumlah rotasi dengan torsi dinamik yang dimana dihasilkan pada kecepatan aliran 0,34 m/s dengan  $\alpha 60^\circ : \beta 10^\circ$  didapatkan jumlah putaran torsi sebanyak 20,8 rpm tanpa pembebanan dan berhenti pada pembebanan secara *sentrifugal* sebesar 0,5 N hingga 2,1 N sampai turbin benar dalam keadaan berhenti. Begitu juga dengan jumlah rotasi dengan torsi dinamik yang dimana dihasilkan pada kecepatan aliran 0,51 m/s dengan  $\alpha 60^\circ : \beta 10^\circ$  didapatkan jumlah putaran torsi sebanyak 28,1 rpm tanpa pembebanan dan berhenti pada pembebanan secara *sentrifugal* sebesar 0,5 N hingga 2,7 N sampai turbin benar dalam keadaan berhenti.

#### 3.2 Hasil Dan Pengolahan Data Torsi Statik



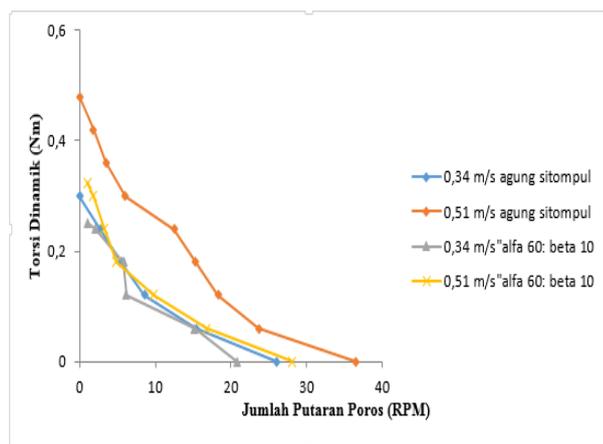
**Gambar 12.** Perbandingan Variasi Sudut Azimuth Terhadap Torsi Statik 15/15 Dengan Sudut Pengarah A:30° B:10°, A:45° B:10°, A:60° B:10°

Grafik perbandingan variasi sudut azimuth dengan torsi statik yang dihasilkan diatas dapat dianalisa bahwa terdapat perbedaan torsi statik yang dihasilkan dari dua variasi kecepatan berbeda disetiap turbinnya. Dan dari ketiga variasi plat pengarah yang diuji, maka didapati torsi statik maksimal dengan kecepatan 0,34 m/s terdapat pada plat pengarah  $\alpha:60^\circ \beta:10^\circ$  dengan nilai torsi statik pada pembebanan 1,8 N sebesar 0,216 Nm. Dan pada kecepatan 0,34 m/s, nilai torsi statik minimum terdapat pada plat pengarah ,  $\alpha:45^\circ \beta:10^\circ$  dengan nilai torsi statik pada pembebanan 1,4 N sebesar 0,168 Nm.

Kemudian pada variasi kecepatan 0,51 m/s, didapati nilai torsi statik maksimum pada pengujian dengan plat pengarah  $\alpha:60^\circ \beta:10^\circ$  dengan nilai torsi statik pada pembebanan 2,5 N sebesar 0,3 Nm. Dan pada kecepatan 0,51 m/s, nilai torsi statik minimum terdapat pada plat pengarah ,  $\alpha:45^\circ \beta:10^\circ$  dengan nilai torsi statik pada pembebanan 2 N sebesar 0,24 Nm. Fenomena ini terjadi dikarenakan pada pengujian turbin 15/15 ini cenderung lebih stabil dikarenakan besaran stage atas dan bawah sama besar, namun yang membuat hasil kekuatan torsi yang tidak sama diakibatkan oleh variasi plat pengarah yang berbeda, karena plat pengarah tersebut lebih memfokuskan terpaan air pada blade sehingga kekuatan putar pada setiap variasi tidak sama meskipun dengan turbin sama menjadi berbeda.

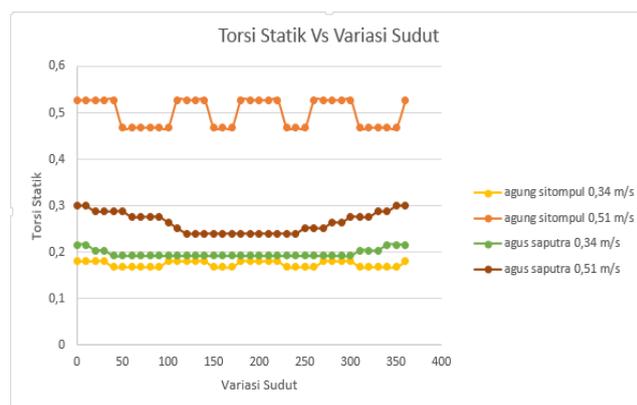
#### 4. Pembahasan

Penelitian ini dilakukan bersamaan dengan penelitian yang telah dilakukan Agung Sitompul [13] dan mengacu pada penelitian oleh N.K.Sarma dkk [12]. sebagai referensi. Penelitian ini akan dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan Agung Sitompul. Perbandingan hasil penelitian akan disajikan pada,



**Gambar 13.** Perbandingan Torsi Dinamik Vs RPM

Pada hasil penelitian oleh Agung Sitompul terhadap turbin *Savonius* Tipe *Bach Single Stage* tiga Sudu dengan variasi kecepatan aliran air yang digunakan sama dengan penelitian yang penulis yaitu sebesar 0,34 m/s dan 0,51 m/s. Pada kecepatan air 0,34 m/s penelitian Agung Sitompul menghasilkan torsi dinamik terbesar 0,3 Nm. Hasil penelitian eksperimen yang dilakukan penulis terhadap turbin *Savonius* tipe *bach* tiga sudu dengan variasi plat pengarah pada sudut  $\alpha 60^\circ : \beta 10^\circ$  kecepatan aliran air sebesar 0,34 m/s menghasilkan torsi dinamik terbesar 0,252 Nm. Pada kecepatan air 0,51 m/s penelitian Agung Sitompul menghasilkan torsi dinamik terbesar 0,48 Nm. Sedangkan hasil penelitian eksperimen yang dilakukan penulis terhadap turbin *Savonius* tipe *bach* tiga sudu dengan variasi plat pengarah pada sudut  $\alpha 60^\circ : \beta 10^\circ$  kecepatan aliran air sebesar 0,51 m/s menghasilkan torsi dinamik sebesar 0,324 Nm.



**Gambar 14.** Perbandingan Torsi Statik Vs RPM

Agung Sitompul melakukan pengujian torsi statik dengan kecepatan aliran air sama dengan kecepatan yang penulis lakukan. Pengujian torsi statik dilakukan dengan penambahan sudut Azimuth sebesar 10°, pengujian dilakukan dengan kenaikan sudut Azimuth sebesar 10° sampai sudut 360°.

Hasil pengujian torsi statik pada penelitian yang dilakukan pada eksperimen ini memiliki nilai torsi statik yang lebih kecil dari penelitian yang dilakukan

Agung Sitompul dengan pengujian tubin pada kecepatan aliran air yang sama. Hal ini dapat dipengaruhi oleh massa dari turbin yang lebih besar serta variasi tinggi blade mengakibatkan ketidakseimbangan turbin pada saat berputar.

## 5. Simpulan

Dari hasil penelitian “Kaji Eksperimental Torsi Statik Dan Torsi Dinamik Turbin *Savonius* Hidrokinetik Tipe *Bach* Tiga Sudu Menggunakan Plat Pengarah Dua Tingkat” yang telah dilakukan dengan kecepatan aliran air  $0,34 \text{ m/s}$  dan  $0,51 \text{ m/s}$  menghasilkan torsi statik dan torsi dinamik yang berbeda-beda dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Agung Sitompul. Dari hasil torsi dinamik, turbin *Savonius* tipe *bach* tiga *blade double stage* dengan variasi plat pengarah pada sudut  $\alpha 30^\circ : \beta 10^\circ$  pada turbin 15/15 mendapatkan torsi dinamik yang lebih besar dibandingkan penelitian dengan turbin 17/13 maupun 20/10 yaitu sebesar  $0,3 \text{ Nm}$  pada kecepatan air  $0,51 \text{ m/s}$ , namun dibandingkan hasil torsi dinamik yang dihasilkan dengan variasi plat pengarah pada sudut  $\alpha 30^\circ : \beta 10^\circ$  dan sudut  $\alpha 45^\circ : \beta 10^\circ$  mendapatkan hasil yang lebih kecil yaitu  $0,288 \text{ Nm}$  dan  $0,252 \text{ Nm}$ . Dari hasil torsi statik, turbin *Savonius* tipe *bach* tiga sudu dengan variasi plat pengarah pada sudut  $\alpha 60^\circ : \beta 10^\circ$  mendapatkan torsi statik yang lebih besar dari variasi plat pengarah pada sudut  $\alpha 30^\circ : \beta 10^\circ$ , sudut  $\alpha 60^\circ : \beta 10^\circ$ , yaitu sebesar  $0,3 \text{ Nm}$  dan  $0,27 \text{ Nm}$ ,  $0,264 \text{ Nm}$ .

## Daftar Pustaka

- [1] Cengel, Yunus A. 2005. *Thermodynamics an Engineering Approach 5<sup>th</sup> Edition*. Mc.Graw Hill, Amerika.
- [2] Daryanto, Y. 2007. *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Balai PPTAGG-UPT-LAGG
- [3] Young, Hugh D, dan Freedman, R.A., 2002. *Fisika Universitas*. Jilid 1. Edisi ke-10. Jakarta: Erlangga. Terjemahan: *University Physics*. Edisi ke-8. 2000. Addison Wesley Longman, Inc.
- [4] Chandani Irwan Saputra, Cecep E, Rustam, Hadi Nasbey, “ Pengembangan Turbin Angin Sumbu Vertical Tipe Triple-Stage *Savonius* Dengan Poros Ganda.” Seminar Nasional SNF (2015) 5174-9005-1-10-20171222 Kumpulan Prosiding, 2015.
- [5] F.S.Ahmad, 2017.”Rancang Bangun Pembangkit Listrik Turbin Angin Vertical Sebagai Energy Alternatif. Tugas Akhir Teknik Mesin. ME-Politeknik Negeri Padang.
- [6] L.D.Marizka. 2010. Analisis Kinerja Turbin Angina Poros Vertical Dengan Modifikasi Rotor *Savonius* L Untuk Optimasi Kinerja Turbin.”Tugas Akhir Sains Fisika. FMIPA-Universitas Sebelas Maret.
- [7] Sukanta Roy, Ujjwal K. Saha. 2014.” *An Adapted Blockage Factor Correlation Approach In Wind Tunnel Experiments Of A Savonius-Style Wind Turbine.*” *Energy Conversion and Management* 86 (2014) 418–427 Elsevier, 2014
- [8] U.K. Saha, M. Jaya Rajkumar. 2005.” *On The Performance Analysis Of Savonius Rotor With Twisted Blades.*” *Renewable Energy* 31 (2006) 1776–1788 Elsevier, 2005
- [9] U.K. Saha, S. Thotla, D. Maity. 2008.” *Optimum Design Configuration Of Savonius Rotor Through Wind Tunnel Experiments.*” *Journal Of Wind Engineering And Industrial Aerodynamics* 96 (2008) 1359– 1375 Elsevier, 2008
- [10] Sukanta Roy, Ujjwal K. Saha. 2013.” *Review On The Numerical Investigations Into The Design And Development Of Savonius Wind Rotors.*” *Renewable And Sustainable Energy Reviews* 24 (2013) 73–83 Elsevier, 2013
- [11] Sukanta Roy, Ujjwal K. Saha. 2014.” *Wind Tunnel Experiments Of A Newly Developed Two-Bladed Savonius-Style Wind Turbine.*” *Applied Energy* 137 (2015) 117–125 Elsevier, 2014
- [12] N.K, Sarma. 2008. “*Computational analysis of flow physics of a combined three bladed Darrieus Savonius wind rotor.*” *Renewable And Sustainable Energy Reviews* 24 (2013) 73–83 Elsevier, 2013
- [13] Sitompul, Agung. 2019. “ Kaji Eksperimental Torsi Statik Dan Dinamik Turbin *Savonius* Hidrokinetik Tipe *Bach* Tiga Sudu Dua Stage”. *JOM FTEKNIK* Volume 2 Edisi 2 juli s/d desember 2019.