

SKRIPSI

**PERBANDINGAN KINERJA TURBIN HIDROKINETIK *DARRIEUS* dan
*SPINNING TOP DARRIEUS***

Oleh

**CITRA SARI WARDANI
DAB 113 032**



**JURUSAN / PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA
PALANGKA RAYA
2020**

SKRIPSI

**PERBANDINGAN KINERJA TURBIN HIDROKINETIK
DARRIEUS DAN *SPINNING TOP DARRIEUS***

Oleh

CITRA SARI WARDANI
NIM. DAB 113 032

Disetujui untuk diajukan dalam seminar Hasil Skripsi

Palangka Raya, Oktober 2020

Pembimbing I



DWI ANUNG NINDITO, S.T., M.T.
NIP. 19761026 200312 1 001

Pembimbing II



Ir. ALLAN RESTU JAYA, M.T.
NIP. 19631204 199203 1 001

Mengetahui:

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya
Ketua

Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 19780608 200501 1 003

RINGKASAN

PERBANDINGAN KINERJA TURBIN HIDROKINETIK *DARRIEUS* dan *SPINNING TOP DARRIEUS*, Citra Sari Wardani, 2020, Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Seiring dengan perkembangan zaman pemanfaatan energi hidrokinetik sebagai *renewable energy* mengalami perkembangan pesat seiring dengan peningkatan kebutuhan energi. Energi hidrokinetik dihasilkan dari aliran air sungai, laut, dan pasang surut. Salah satu penghasil energi hidrokinetik dengan menggunakan turbin hidrokinetik. Turbin *Darrieus* adalah salah satu jenis dari turbin hidrokinetik, karena turbin *Darrieus* mampu bekerja pada *head* yang rendah sehingga sesuai pada pengujian ini.

Pengujian ini dilakukan pada laboratorium hidraulika dan hidrologi Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya. Turbin *Darrieus* merupakan turbin angin yang diuji coba pada aliran air, sehingga perlu adanya inovasi desain agar dapat bekerja dengan baik pada aliran air. Inovasi desain terinspirasi dari bentuk distribusi kecepatan aliran. Inovasi dari turbin *Darrieus* dinamakan *Spinning Top Darrieus* karena bentuk turbin yang menyerupai gasing (*Spinning Top*). Pada studi ini kedua turbin diuji coba pada saluran prismatik (*flume*) dengan lebar 60 cm, tinggi 60 cm, dan panjang 6 meter.

Hasil dari pengujian ini menunjukkan: (1) RPM yang dihasilkan turbin *Darrieus* lebih kecil dari turbin *Spinning Top Darrieus* (STD). (2) Karena luas bidang tangkap turbin *Darrieus* lebih besar maka torsi yang dihasilkan oleh turbin *Darrieus* juga lebih besar, sedangkan untuk turbin *Spinning Top Darrieus* (STD) memiliki luas bidang tangkap lebih kecil sehingga torsi yang dihasilkan juga lebih kecil. (3) Energi kinetik yang dihasilkan turbin *Darrieus* lebih kecil dari turbin *Spinning Top Darrieus* (STD). (4) Daya mekanik turbin yang dihasilkan turbin *Darrieus* lebih kecil dari turbin *Spinning Top Darrieus* (STD). Dari hasil pengujian gaya *lift* yang dihasilkan lebih besar dari pada gaya *drag*, hal ini dikarenakan torsi yang dihasilkan lebih kecil. Sehingga untuk mengoptimalkan nilai torsi maka perlu adanya studi lanjutan untuk pengujian dengan penambahan ambang pada bawah

turbin. Dengan begitu diharapkan nilai C_p turbin *Spinning Top Darrieus* bisa optimal.

Kata kunci : Turbin *Darrieus*, Turbin *Spinning Top Darrieus*, Distribusi Kecepatan Aliran, Inovasi, Desain.

SUMMARY

PERFORMANCE COMPARISON OF DARRIEUS HYDROKINETIC TURBINE and DARRIEUS SPINNING TOP, Citra Sari Wardani, 2020, Civil Engineering Department / Study Program, Faculty of Engineering, Palangka Raya University.

Along with the times, the use of hydrokinetic energy as renewable energy has experienced rapid development in line with the increasing energy demand. Hydrokinetic energy is generated from the flow of rivers, oceans, and tides. One of the hydrokinetic energy producers using hydrokinetic turbines. The Darrieus turbine is one type of hydrokinetic turbine because the Darrieus turbine can work at a low head so it is suitable for this test.

This test was carried out at the hydraulics and hydrology laboratory, Faculty of Engineering, Palangka Raya University. The Darrieus turbine is a wind turbine that was tested on water flow, so it needs design innovation so that it can work properly in water flow. The design innovation is inspired by the shape of the flow velocity distribution. The innovation of the Darrieus turbine is called the Spinning Top Darrieus because of the shape of the turbine that resembles a top (Spinning Top). In this study, the two turbines were tested on a prismatic channel (flume) with a width of 60 cm, a height of 60 cm, and a length of 6 meters.

The results of this test show: (1) the RPM generated by the Darrieus turbine is smaller than the Spinning Top Darrieus (STD) turbine. (2) Because the area of the Darrieus turbine has a larger catchment area, the torque generated by the Darrieus turbine is also greater, while the Spinning Top Darrieus (STD) turbine has a smaller catchment area so that the resulting torque is also smaller. (3) The kinetic energy produced by the Darrieus turbine is smaller than the Spinning Top Darrieus (STD) turbine. (4) The turbine mechanical power generated by the Darrieus turbine is smaller than the Spinning Top Darrieus (STD) turbine. From the test results, the resulting lift force is greater than the drag force, this is because the resulting torque is smaller. So that to optimize the torque value, it is necessary to have further studies

for testing with the addition of a threshold at the bottom of the turbine. With this, it is expected that the C_p value of the Spinning Top Darrieus turbine can be optimal.

Keyword : Turbine Darrieus, Turbine Spinning Top Darrieus, Flow Velocity Distribution, Innovation, Design.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas karunia-Nya penyusunan Skripsi ini dapat diselesaikan. Skripsi dengan judul **“PERBANDINGAN KINERJA TURBIN HIDROKINETIK *DARRIEUS* dan *SPINNING TOP DARRIEUS*”**. Disusun sebagai salah satu syarat yang harus dipenuhi untuk menyelesaikan studi program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Pada kesempatan ini saya ingin menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Waluyo Nuswantoro, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
2. Ibu Frieda, S.T., M.T. selaku wakil Dekan I Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
3. Bapak Dr. Sutan Parasian Silitonga, S.TP., S.T., M.T. selaku Wakil Dekan II Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
4. Bapak Tatau Wijaya Garib, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan III Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
5. Bapak Dr. Rudi Waluyo, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
6. Ibu Veronika Happy P, S.T., M.T. selaku Sekertaris Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
7. Bapak Ir. Supiyan, M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
8. Bapak Dwi Anung Nindito, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I Skripsi.
9. Bapak Ir. Allan Restu Jaya, M.T. selaku Dosen Pembimbing II Skripsi.
10. Bapak Ir. Hendro Suyanto, M.T. selaku Dosen Penguji dan Pembahas I Skripsi.
11. Bapak Haiki Mart Yupi, S.T., M.T. Ph.D. selaku Dosen Penguji dan Pembahas II Skripsi.
12. Bapak Raden Haryo Saputra, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji dan Pembahas III Skripsi.
13. Seluruh Dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil beserta staf Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

14. Semua pihak yang telah membantu penyusunan Skripsi ini.

Akhir kata dengan segala kerendahan hati dan menyadari akan segala kekurangan dalam penyusunan Skripsi ini, oleh karena itu diharapkan berbagai tanggapan, kritik dan saran yang sifatnya membangun demi perbaikan Skripsi ini. Terima Kasih.

Palangka Raya, Oktober 2020

CITRA SARI WARDANI

NIM. DAB 113 032

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	v
DAFTAR GAMBAR	vi
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	5
1.4 Batasan Masalah.....	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Kajian Penelitian Terdahulu	6
2.2 Turbin Hidrokinetik.....	7
2.3 Turbin <i>Darrieus</i>	9
2.4 Evolusi Turbin <i>Darrieus</i>	10
2.5 Distribusi Kecepatan Aliran pada Saluran Terbuka	12
2.6 Parameter Turbin	12
2.6.1 Kecepatan Aliran	13
2.6.2 Torsi.....	13
2.6.3 Rotasi Per Menit	14
2.6.4 Kecepatan Sudut.....	15
2.6.5 Koefisien Daya (C_p).....	15
2.6.6 <i>Tip Speed Ratio (TSR)</i>	16
2.6.7 Daya Mekanik Turbin (W_s)	16
2.6.8 Efisiensi Turbin	16
2.7 Hubungan Antara Parameter Turbin.....	18
2.7.1 Hubungan Antara <i>Tip Speed Ratio (TSR)</i> dan Koefisien Daya (C_p).....	18
2.7.2 Hubungan Antara <i>Tip Speed Ratio (TSR)</i> dan Torsi.....	20
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Umum	22
3.1.1. Diagram Alir Penelitian.....	23

3.2 Studi Pustaka.....	24
3.3 Komponen Turbin.....	25
3.4 Pembuatan Turbin.....	27
3.5 Variasi <i>Running</i>	29
3.6 Instrumen Pengukuran	29
3.7 Parameter yang Diukur	31
3.8 Perbandingan Kinerja Turbin.....	32

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Desain dan Komponen Turbin STD (<i>Spinning Top Darrieus</i>).....	42
3.1.1. Diagram Alir Penelitian	43
4.2 Parameter Hasil Pengukuran.....	44
4.2.1 Rotasi Per Menit (<i>RPM</i>).....	45
4.2.2 <i>Coefficient Of Power</i> (C_p).....	46
4.2.3 Kecepatan Aliran	48
4.2.4 Torsi	50
4.2.5 Kecepatan Sudut	52
4.2.6 Daya Mekanik Turbin	54
4.3 Analisa Hubungan antara <i>RPM</i> dan Kecepatan Aliran.....	55
4.4 Analisa Hubungan Torsi dan Kecepatan Aliran	56
4.5 Analisa Hubungan antara <i>TSR</i> dan Kecepatan Aliran	59
4.6 Analisa Hubungan antara Energi Kinetik dan Kecepatan Aliran	60
4.7 Analisa Hubungan antara C_p dan <i>TSR</i>	60

BAB V Kesimpulan Dan Saran

5.1 Kesimpulan	61
5.2 Saran	62

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Komponen Parameter Turbin	26
Tabel 3.2	Parameter yang Diukur.....	32
Tabel 3.3	Pengukuran Nilai Torsi	36
Table 3.4	Rencana Penelitian	41
Table 4.1	Rotasi Per Menit.....	45
Table 4.2	Nilai <i>Coefficient Of Power</i> Hasil Pengukuran	46
Table 4.3	Nilai Kecepatan Aliran Hasil Pengujian	48
Table 4.4	Nilai Torsi Dari Hasil Pengujian.....	51
Table 4.5	Nilai Kecepatan Sudut Dari Hasil Pengujian	52
Table 4.6	Nilai Daya Mekanik Turbin Dari Hasil Pengujian.....	54

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Hidrokinetik Konvensional Dibandingkan Skema Konversi Energi Hidrokinetik.....	2
Gambar 1.2	Penggunaan Saluran dan Pengaplikasiannya.....	3
Gambar 1.3	Desain Awal Turbin <i>Darrieus</i>	9
Gambar 2.1	Jenis-jenis Turbin <i>Vertical Axis</i>	7
Gambar 2.2	<i>Timeline</i> Perkembangan Turbin <i>Darrieus</i>	11
Gambar 2.3	Distribusi Kecepatan pada Saluran Terbuka	12
Gambar 2.4	Alat <i>Current Meter</i>	13
Gambar 2.5	Alat Nerca Pegas	14
Gambar 2.6	Alat <i>Tachometer</i>	14
Gambar 2.7	Dimensi Turbin <i>Darrieus</i>	17
Gambar 2.8	Hubungan antar <i>Tip Speed Ratio (TRS)</i> dan Koefisien Daya (C_p)	18
Gambar 2.9	Perbandingan Koefisien Daya (C_p) dengan <i>Tip Speed Ratio (TRS)</i>	19
Gambar 2.10	Hubungan Antara <i>Tip Speed Ratio (TRS)</i> dan Torsi	20
Gambar 2.11	Perbandingan Torsi dengan <i>Tip Speed Ratio (TRS)</i>	21
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	22
Gambar 3.2	Turbin <i>Darrieus</i>	28
Gambar 3.3	Turbin <i>Spinning Top Darrieus</i>	28
Gambar 4.1	Bilah (<i>Blade</i>)	42
Gambar 4.2	Efek Kekasaaran Terhadap Distribusi Kecepatan Di Saluran Terbuka.....	43
Gambar 4.3	As Turbin.....	44
Gambar 4.4	Perbandingan Nilai <i>RPM</i> Terhadap Kecepatan Aliran.....	56
Gambar 4.5	Perbandingan Nilai Torsi Terhadap Kecepatan Aliran	57
Gambar 4.6	Nilai Torsi Turbin <i>Darrieus</i> Pada Masing-Masing Sudut.....	57
Gambar 4.7	Nilai Torsi Turbin <i>Spinning Top Darrieus</i> Pada Masing-masing Sudut.....	58
Gambar 4.8	Perbandingan Nilai <i>TRS</i> dan Kecepatan Aliran.....	59

Gambar 4.9	Perbandingan Nilai Energi Kinetik dan Kecepatan Aliran.....	60
Gambar 4.10	Perbandingan Nilai C_p dengan TSR	61

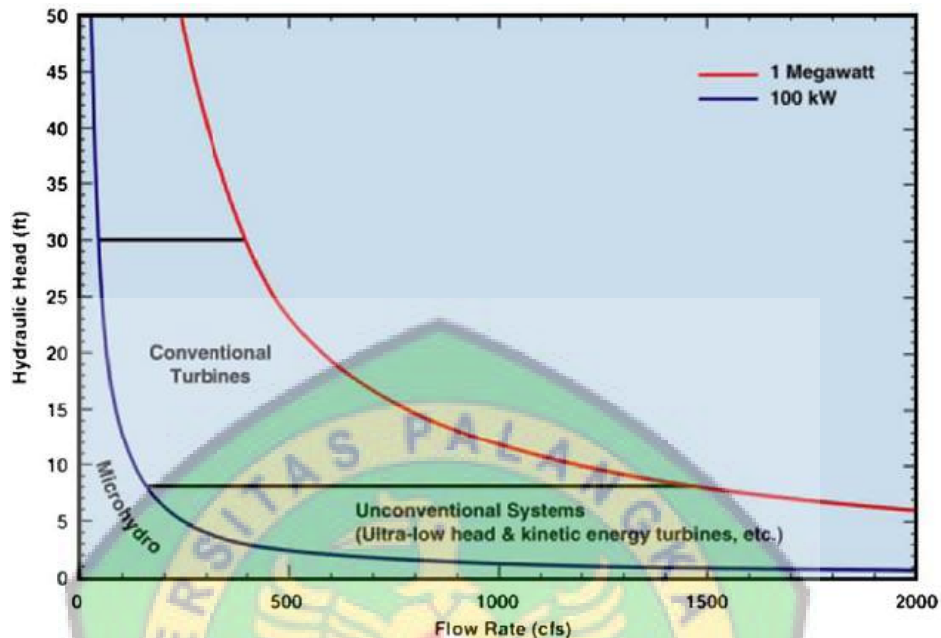
BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas ekonomi akan memacu pertumbuhan di semua sektor penggerak ekonomi yang berakibat pada peningkatan kebutuhan energi. Penggunaan energi dari fosil (minyak bumi, batu bara, dan gas alam) saat ini terus meningkat. Berdasarkan data dari *BP Statistical Review of World Energy* tahun 2016 penggunaan energi dunia masih didominasi oleh energi fosil, dengan rincian; minyak mencapai 72,59 juta ton setara minyak (*Million Tonnes Oil Equivalent/MTOE*), batu bara 62,7 MTOE, gas alam 33,93 MTOE, tenaga air 3,27 MTOE, dan *Renewable Energy* mencapai 2,56 MTOE. Seiring dengan perkembangan zaman pemanfaatan energi hidrokinetik sebagai *renewable energy* mengalami perkembangan pesat seiring dengan peningkatan kebutuhan energi di dunia. Energi hidrokinetik bersumber dari energi arus sungai, energi arus laut, energi panas laut, energi gelombang laut, dan energi pasang surut air laut. Indonesia merupakan negara maritim yang sebagian besar wilayahnya didominasi oleh laut yang luas. Karena Indonesia merupakan negara maritim sehingga memiliki potensi melalui tenaga air untuk menghasilkan *renewable energy*. Beberapa wilayah di Indonesia yang bisa dilakukan penelitian terhadap pengujian potensi *renewable energy* melalui tenaga air adalah Kalimantan, Sumatera, dan Papua. Energi hidrokinetik dapat dilakukan dengan salah satu cara yaitu dengan menggunakan turbin hidrokinetik sebagai penghasil *renewable energy*. Turbin hidrokinetik secara umum dibedakan menjadi dua jenis yaitu

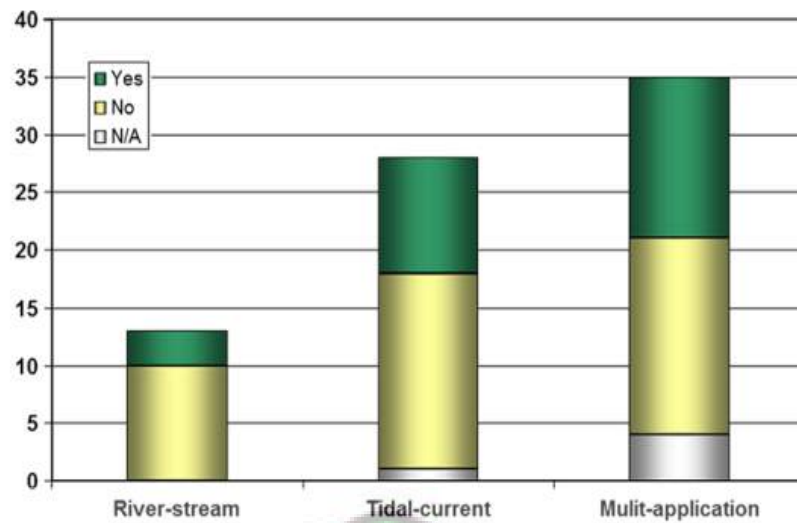
turbin yang bergerak menggunakan *head* yang tinggi dan turbin yang bergerak dengan menggunakan *head* yang rendah.



Sumber: Khan. M.J., 2009

Gambar 1.1 Hidrokinetik Konvensional Dibandingkan Skema Konversi Energi Hidrokinetik

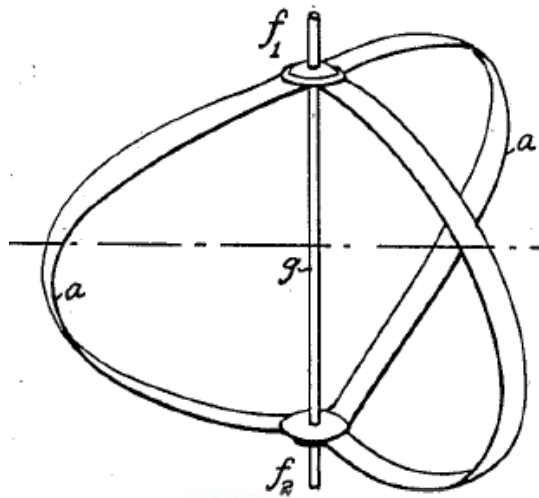
Dibeberapa wilayah di Indonesia, terdapat wilayah yang memiliki *head* yang rendah, sehingga perlu penggunaan turbin yang menggunakan *head* yang rendah, yaitu hidrokinematik turbin sangat tepat pengaplikasiannya pada wilayah tersebut. Hidrokinematik turbin dibagi menjadi beberapa tipe yaitu tipe *Darrieus*, *Gorlov*, *Savonius*, dan *H-Darrieus*. Berdasarkan Gambar 1.2 dapat diketahui bahwa penggunaan turbin pada aliran sungai atau *river-stream* masih sangat sedikit dibandingkan dengan penggunaan turbin pada *tidal-current* serta turbin yang dipakai dengan turbin yang diaplikasikan dengan lebih dari satu kegunaan.



Sumber: Khan. M.J., 2009

Gambar 1.2 Penggunaan Saluran Dan Pengaplikasiannya

Salah satu keunggulan teknologi dari *Darrieus*, G.J.M. (1926) memiliki kemampuan untuk melakukan ekstraksi energi walaupun menerima aliran dari mana saja dan dapat mengoptimalkan aliran sebagai sumber energi. Pemanfaatan sumber energi ini mengkonversi energi kinetik pada aliran air menjadi energi mekanik. Tidak seperti turbin air konvensional (memerlukan tinggi jatuh air), teknologi turbin air *Darrieus* tidak perlu memanfaatkan tinggi jatuh (*head*) yang besar bahkan mampu pada *zero head*. Turbin *Darrieus* ini mengandalkan kecepatan fluida yang ada di aliran air untuk menghasilkan putaran turbin yang optimum.



Sumber : Darrieus. G.J.M., 1996

Gambar 1.3 Desain Awal Turbin *Darrieus*

Distribusi kecepatan aliran, mengakibatkan perbedaan kecepatan aliran pada setiap kedalaman. Atas dasar tersebut barangkali perlu dilakukan modifikasi pada desain turbin *Darrieus*. Modifikasi dilakukan dengan merubah bentuk lengkungan pada *blade* turbin dan menambahkan *blade* pada bagian dalam turbin. Inovasi terbaru turbin tipe *Darrieus* ini dinamakan *Spinning Top Darrieus*. Dinamakan *Spinning Top Darrieus* karena bentuk desain turbinnya menyerupai bentuk gasing (*Spinning Top*). Bentuk ini diharapkan dapat mengoptimalkan penggunaan prinsip distribusi kecepatan aliran dan dapat memaksimalkan kinerja dari turbin *Darrieus* pada *head* yang rendah bahkan tanpa *head*, dan juga dapat meningkatkan pengaplikasian turbin pada aliran sungai (*river-stream*).

1.2 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana desain *Spinning Top Darrieus*?
- b. Bagaimana perbandingan kinerja turbin *Darrieus* dan *Spinning Top Darrieus*?

1.3 Tujuan Penelitian

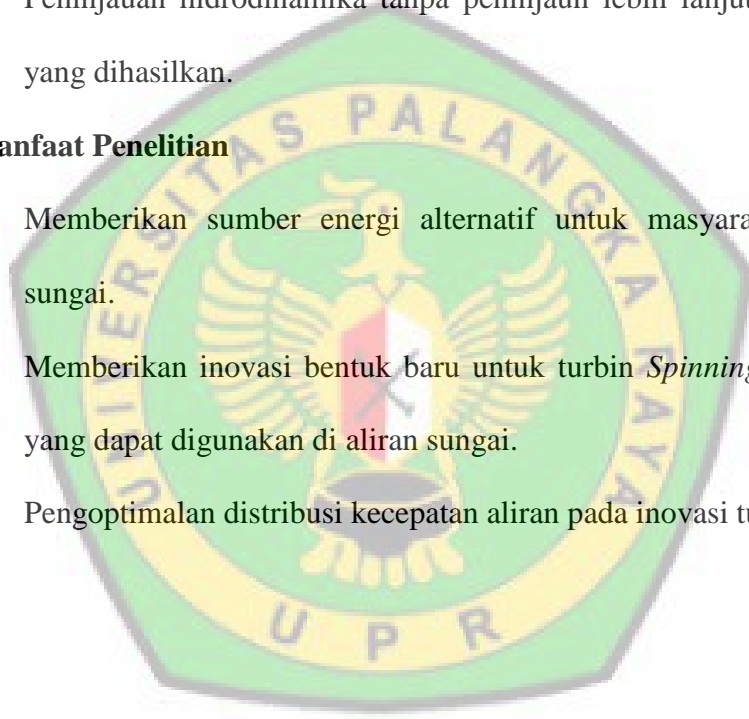
- a. Mengetahui desain *Spinning Top Darrieus*.
- b. Mengetahui perbandingan kinerja turbin *Darrieus* dan *Spinning Top Darrieus*.

1.4 Batasan Masalah

- a. Pengujian dilakukan di laboratorium dengan menggunakan saluran prisma buatan (*flume*).
- b. Peninjauan hidrodinamika tanpa peninjauan lebih lanjut tentang listrik yang dihasilkan.

1.5 Manfaat Penelitian

- a. Memberikan sumber energi alternatif untuk masyarakat di pinggir sungai.
- b. Memberikan inovasi bentuk baru untuk turbin *Spinning Top Darrieus* yang dapat digunakan di aliran sungai.
- c. Pengoptimalan distribusi kecepatan aliran pada inovasi turbin *Darrieus*.



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Penelitian Terdahulu

Topan Eka Putra (2011) dengan judul penelitian “Studi Potensi dan Perencanaan Bangunan Utama PLTMH di Pemukiman Tepi Sungai (Studi Kasus Desa Tumbang Habangoi Kecamatan Petak Malai)”. Pada penelitian ini diperlukan data primer, sekunder, analisis kebutuhan listrik, hidrologi, dan topografi sehingga dapat diketahui kebutuhan penduduk guna mendapatkan perkiraan besar daya (P) yang akan dibangkitkan serta penentuan debit air yang diperlukan. Hasil studi perencanaan ini adalah sebuah alternatif penyediaan pembangkit listrik skala kecil dengan besarnya tenaga/energi yang dihasilkan sebesar 17 kW untuk mensuplai kebutuhan tenaga listrik 56 tempat tinggal dan 4 sarana umum sosial. Berdasarkan hasil perhitungan pada masing-masing komponen jaringan adalah sebagai berikut; bendung dengan tinggi 0,5 m dan lebar 1 m; intake dengan $b = 0,3$ m dan $w = 0,4$ m; Saluran pembawa dengan $L = 385$ m, $b = 0,5$ m, $h = 0,4$ m, $T = 0,75$ m dan Pipa Pesat dengan $D = 0,3$ m, $L=13$ m.

Junaedy (2019) dengan judul penelitian “Pengaruh Penambahan Sayap Ulir Terhadap Kinerja Turbin *Archimedes Screw*”. Pada penelitian ini dilakukan pengujian pada turbin *archimedes screw* dan modifikasi dari *archimedes screw* dengan menambahkan sayap ulir yang diberi nama *archimedes wing screw* dengan jumlah permodelan turbin sebanyak 12 buah turbin menggunakan 5 buah

variasi sudut kemiringan. Hasil penelitian menunjukkan : (1) Untuk setiap perlakuan kedalaman rendaman, penambahan sayap/wing ulir *archimedes screw* sangat berpengaruh terhadap putaran turbin (RPM). Turbin *archimedes screw* lebih tinggi putaran dari pada turbin *archimedes wing screw*. (2) Penambahan sayap pada turbin *archimedes screw* mampu meningkatkan nilai torsi yang dihasilkan pada turbin. Nilai torsi (Nm) terbesar terjadi pada kemiringan 35° *pitch ratio* 2Ro rendaman 60% dan ukuran sayap 1/8. (3) Penambahan sayap pada turbin *archimedes screw* berpengaruh pada daya yang dihasilkan. Daya tertinggi yang dihasilkan yaitu turbin *archimedes screw* (tanpa sayap) pada sudut kemiringan 35° *pitch ratio* 2Ro, dan rendaman 60%. (4) Semakin besar sudut kemiringan poros turbin *archimedes screw* maupun *archimedes wing screw* maka *efficiency* (%) turbin semakin menurun. Pada setiap perlakuan sudut kemiringan poros turbin, *efficiency* turbin *archimedes wing screw* lebih rendah dari turbin *archimedes screw*. (5) Nilai torsi (Nm) mampu meningkatkan hasil daya (Watt) dan *efficiency* (%) yang dihasilkan turbin *archimedes screw*.

2.2 Turbin Hidrokinetik

Turbin hidrokinetik adalah alat yang digunakan untuk mengkonversi energi kinetik air menjadi energi mekanik turbin. Pada dasarnya prinsip kerjanya hampir sama dengan turbin angin yang bekerja pada angka *froude* rendah. Turbin hidrokinetik digunakan untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan seperti sungai, aliran drainase, arus pasang surut, dan arus lautan. Cara kerja sistem adalah energi kinetik yang dihasilkan oleh air dikonversi oleh turbin hidrokinetik

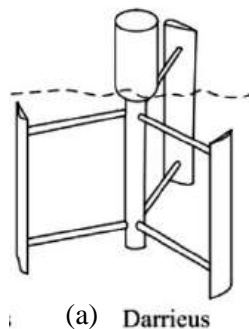
menjadi energi mekanik dari turbin. Energi mekanik dari turbin diubah menjadi energi listrik oleh generator (Hantoro, R., dkk, 2018).

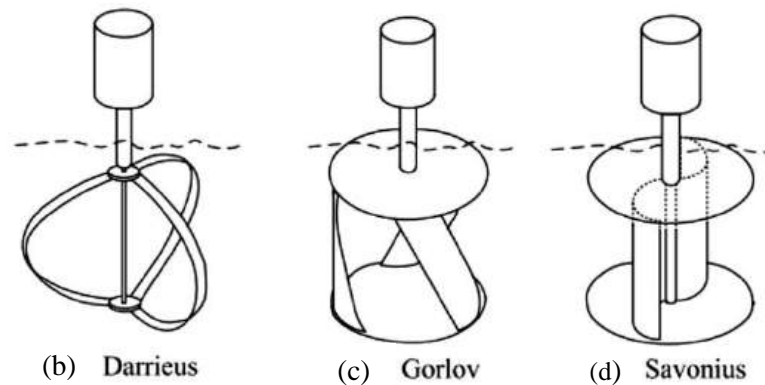
(Hantoro, R., dkk 2016) juga menjelaskan bahwa mekanisme turbin arus laut hampir sama dengan turbin angin, yang membedakan adalah massa jenis yang digunakan berbeda sehingga turbin arus laut dapat menghasilkan energi yang lebih besar jika dibandingkan dengan turbin angin.

Turbin hidrokinetik secara umum dibedakan menjadi dua jenis yaitu *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, M.J., dkk 2009). Pada penelitian ini digunakan *Vertical Axis Turbine Darrieus*.

a. *Vertical Axis Turbine (VAT)*

Vertical Axis Turbine (VAT) adalah turbin yang porosnya tegak lurus dengan arah aliran arus. Turbin *vertical axis* adalah turbin yang umum digunakan pada arus air. Turbin jenis *vertical axis* memiliki banyak jenis. (Khan, M.J., dkk 2009). Contoh-contoh turbin *vertical axis* terdapat pada Gambar 2.1.





Sumber : Khan, M.J.dkk (2009)

Gambar 2.1 Jenis-jenis Turbin Vertical Axis (a) H-Darrieus (b) Darrieus (c) Gorlov (d) Savonius

Turbin *Vertical Axis Darrieus* merupakan turbin jenis *lift* yang menggunakan *blade* untuk menghasilkan gaya angkat. Turbin jenis *Darrieus* dapat mengubah torsi ketika *blade* bergerak relatif lebih cepat terhadap aliran yang datang dan beroperasi pada TSR sampai mendekati 4 sehingga memiliki efisiensi yang lebih besar dari pada turbin yang memanfaatkan gaya *drag*. (Hantoro, 2016)

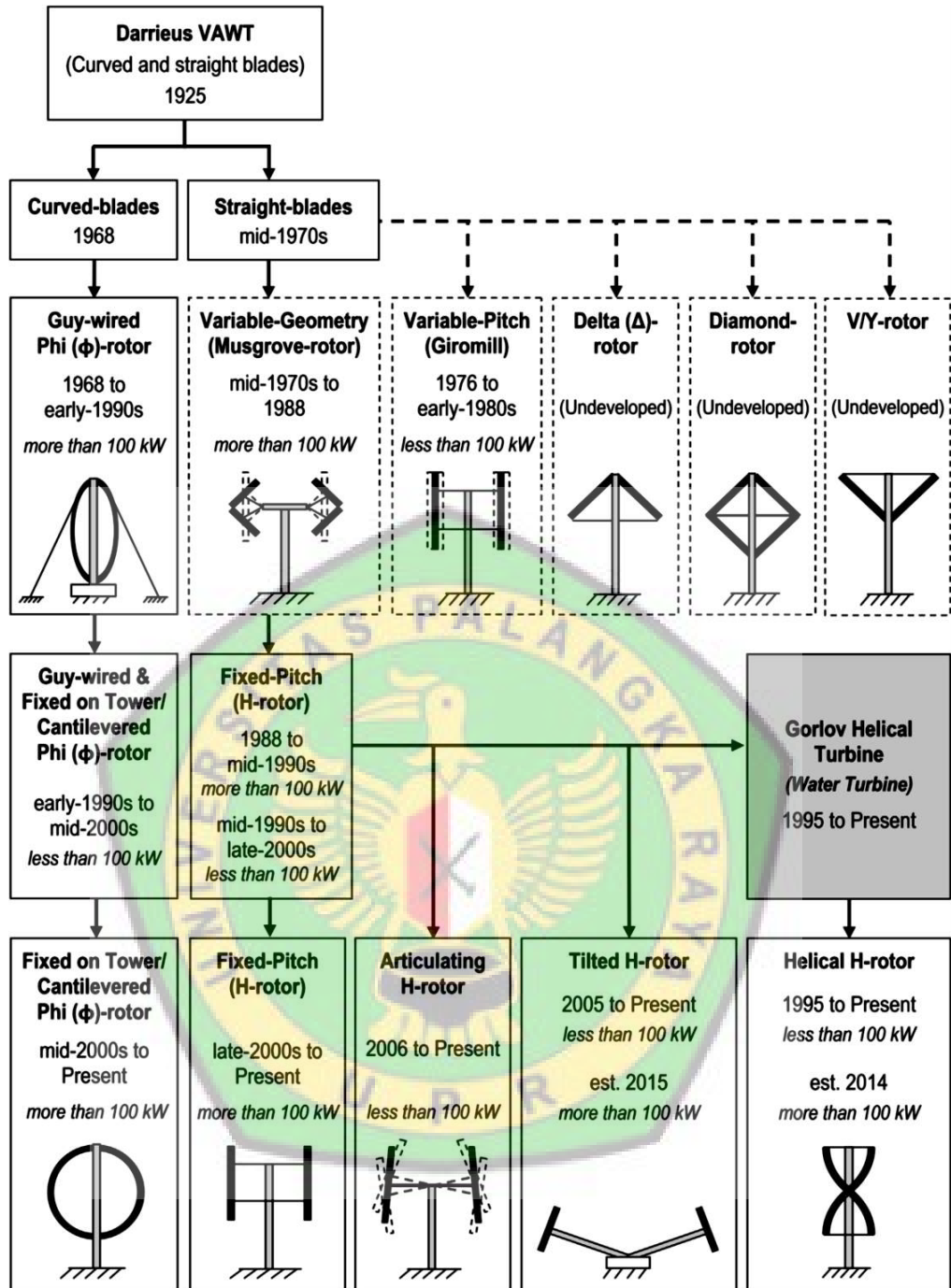
2.3 Turbin *Darrieus*

Turbin *Darrieus* diperkenalkan di Prancis oleh *Darrieus. G.J.M*, sekitar tahun 1931. Turbin sumbu vertikal ini mempunyai bilah-bilah tegak yang berputar ke dalam dan ke luar dari arah angin. Bertipe gaya angkat yang menghasilkan lebih banyak daya *output* dan efisiensi tinggi. Desain *Darrieus* ini cukup baik dan dapat menghasilkan torsi yang besar. Memiliki kontur atau bentuk dari sudu turbin yang sebagian cembung membuat sekelompok aliran udara yang melewatinya akan memiliki dua aliran, sehingga terjadinya perbedaan tekanan

yang membuatnya terangkat atau berputar. Keunikan turbin ini, sudunya bisa mengembang dan mengempis. Akan mengembang ketika kecepatan angin tinggi dan mengempis bila sudu turbin dikenai kecepatan angin yang rendah. (Supriyo, 2015).

2.4 Evolusi Turbin *Darrieus*

Konfigurasi lengkung dan bilah lurus telah berevolusi menjadi beberapa variasi, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. Konfigurasi bilah melengkung telah dikenal sebagai *egg-beater* atau *phi-rotor* karena tampilannya yang serupa. Ada beberapa variasi *phi-rotor*, seperti versi *guy-wired*, *fixedon-tower*, dan kantilever. Demikian pula, konfigurasi bilah lurus memiliki beberapa variasi. Variasi berlian, V / Y dan delta (Δ) telah didokumentasikan. Variasi lain, variabel-geometri VAWT atau sering disebut *Musgrove-rotor* telah diganti oleh *fixed-pitch* H-rotor. Saat ini, H-rotor telah diselidiki secara aktif, termasuk rotor multi-megawatt untuk aplikasi lepas pantai. Lebih lanjut, perbaikan pada H-rotor memunculkan tiga variasi lain: *Articulating*, *Helical*, dan *Tilted* H-rotor. (Tjiu, W., dkk, 2015)

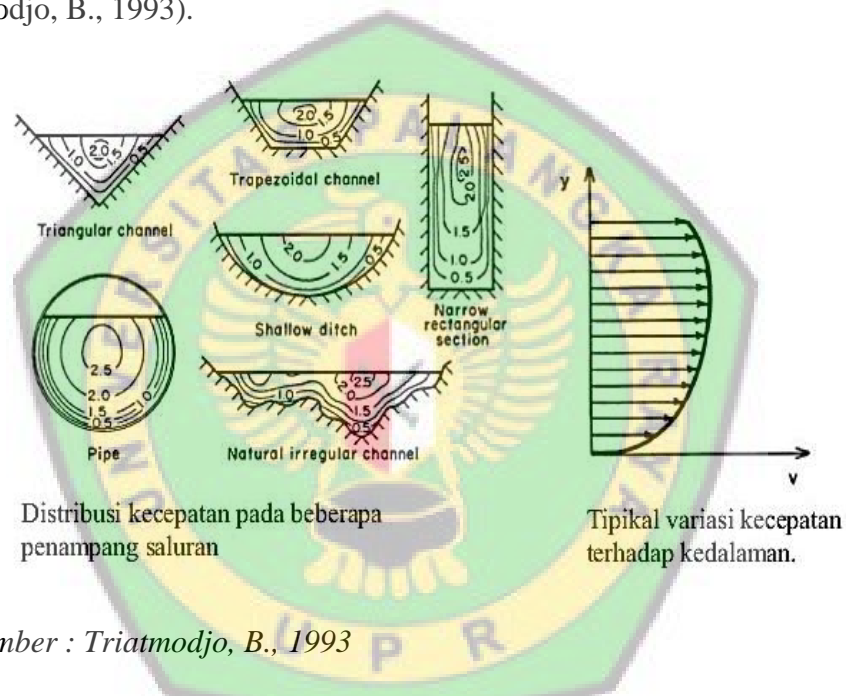


Sumber : Tjiu, W., dkk 2015

Gambar 2.2 *Timeline Perkembangan Turbin Darrieus Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*

2.5 Distribusi Kecepatan Aliran pada Saluran Terbuka

Saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada semua titik di sepanjang saluran, tekanan di permukaan air adalah sama, yang berupa tekanan atmosfer. Dalam aliran melalui saluran terbuka, distribusi kecepatan tergantung pada banyak faktor seperti bentuk saluran, kekasaran dinding, dan juga debit aliran. Gambar 2.10 menunjukkan bahwa kecepatan minimum terjadi pada dinding batas (dasar) dan semakin besar menuju permukaan (Triatmodjo, B., 1993).



Sumber : Triatmodjo, B., 1993

Gambar 2.3 Distribusi Kecepatan pada Saluran Terbuka

2.6 Parameter Turbin

Pada penelitian ini diperlukan pengambilan data pengujian turbin *Darrieus* dan *Spinning Top Darrieus*. Data yang diperlukan ialah kecepatan aliran, torsi, dan RPM sehingga dapat diketahui nilai dari distribusi kecepatan, kecepatan sudut, TSR, efisiensi turbin, koefisien daya, dan daya mekanik turbin.

2.5.1 Kecepatan Aliran

Pengumpulan data kecepatan dilakukan dengan menggunakan alat *current meter*, kemudian dilakukan pengumpulan data dan perhitungan nilai rata-rata kecepatan aliran (Hantoro, R., dkk, 2018).



Gambar 2.4 Alat *Current Meter*

Kecepatan aliran rata-rata (\bar{V}) dapat dihitung dari pengukuran pada kedalaman 0,2h, 0,4 H, 0,6h, dan 0,8h seperti ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\bar{V} = \frac{V_{0,2h} + V_{0,4h} + V_{0,6h} + V_{0,8h}}{4} \quad (2-1)$$

Keterangan :

\bar{V} : Kecepatan Aliran Rata-Rata

2.5.2 Torsi

Pengumpulan data torsi dilakukan dengan menggunakan alat neraca pegas, kemudian data torsi turbin diambil pada sudut (Θ) 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°,

180°, 210°, 240°, 270°, 300°, 330°, dan 360°. Neraca pegas digunakan dengan mengunci ujung alat ke ujung poros turbin, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8. Setiap sudut dilakukan pengambilan data torsi, kemudian dilakukan pengumpulan data dan perhitungan nilai torsi rata-rata (Hantoro, R., dkk, 2018).



Gambar 2.5 Alat Neraca Pegas

2.5.3 Rotasi Per Menit (RPM)

Data RPM (rotasi per menit) dari turbin yang diambil menggunakan *tachometer*. *Tachometer* digunakan dengan cara meletakkan ujung *tachometer* ke ujung poros turbin, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9. Kemudian dilakukan pengumpulan data dari nilai yang tertera pada *tachometer* (Hantoro, R., dkk, 2018).



Gambar 2.6 Alat Tachometer

2.5.4 Kecepatan Sudut (ω)

Kecepatan sudut (ω) dapat dikonversi dari nilai RPM yakni (Febrianto, A., Santoso, A., 2016) :

$$\omega = \frac{2\pi RPM}{60} \quad (2-2)$$

Keterangan :

ω : Kecepatan Sudut (rad/s)

RPM : Jumlah Putaran Rotor Setiap Menit

2.5.5 Koefisien Daya (C_p)

Koefisien daya adalah nilai yang menunjukkan jumlah kekuatan mekanik untuk menghasilkan daya dari suatu turbin. Semakin besar C_p , semakin besar kekuatan yang dapat dihasilkan oleh turbin, C_p adalah variabel yang sangat tepat untuk membandingkan kinerja turbin, C_p dapat dituliskan dalam persamaan (2-3) (Hantoro, R., dkk, 2018).

$$C_p = \frac{\tau \omega}{0,5 \rho A V^3} \quad (2-3)$$

Keterangan :

C_p : Koefisien Daya

τ : Torsi (Nm)

ρ : Massa Jenis Air (kg/m^3)

A : Luasan Fluida yang Mengenai Turbin (m^2)

v : Kecepatan Aliran Air (m/s)

ω : Kecepatan Sudut (rad/s)

2.5.6 Tip Speed Ratio (TSR)

Tip Speed Ratio atau TSR adalah rasio antara kecepatan tangensial *blade* dan kecepatan arus. Nilai TSR menyatakan seberapa cepat turbin berputar terhadap kecepatan arus tertentu. TSR di tuliskan dalam persamaan (2-4) (Hantoro, R., dkk, 2018).

$$\lambda = \frac{R \omega}{v} \quad (2-4)$$

Keterangan :

λ : *Tip Speed Ratio* (TSR)

R : Jari-jari Turbin (m)

2.5.7 Daya Mekanik Turbin (W_s)

Performansi dari turbin merupakan daya mekanik yang dihasilkan dari sebuah turbin. Untuk mendapatkan nilai performansi maka data yang dibutuhkan adalah putaran dari turbin atau RPM dan torsi (τ). Persamaan untuk menghitung performansi turbin adalah sebagai berikut (Febrianto, A., Santoso, A., 2016):

$$W_s = \tau \cdot \text{RPM} \quad (2-5)$$

Keterangan :

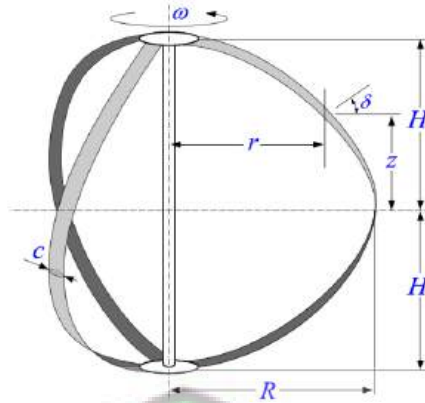
W_s : Daya Mekanik Turbin (J/s).

τ : Torsi (N.m)

2.5.8 Efisiensi Turbin (η)

Untuk menentukan efisiensi turbin tersebut dapat dicari dengan menggunakan model *streamtube analysis* yaitu dengan cara membandingkan daya

keluaran pada turbin dengan energi kinetik aliran. Berikut adalah persamaan untuk mencari efisiensi dari turbin tersebut (Febrianto, A., Santoso, A., 2016):



Sumber : *Energies* 2015

Gambar 2.7 Dimensi Turbin Darrieus

$$\eta = \frac{P}{KEF} \times 100\% \quad (2-6)$$

$$KEF = \frac{1}{2} \rho v^3 2\pi R l \quad (2-7)$$

Keterangan :

η : Efisiensi Turbin (%).

P : Daya Keluaran Turbin (J/s).

KEF : Energi Kinetik Aliran (J/s).

l : Panjang *Blade* (m).

R : Jari-jari Turbin (m)

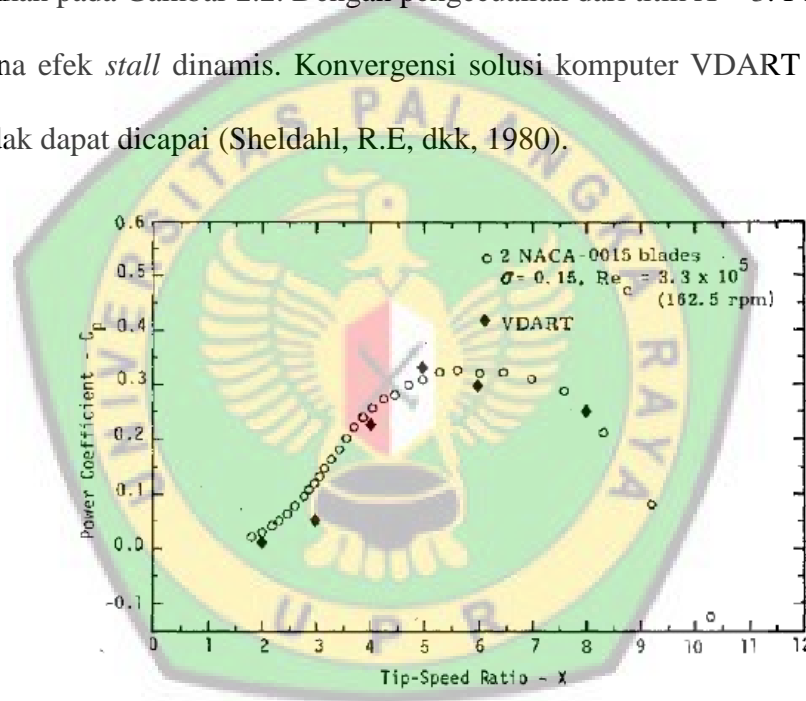
v : Kecepatan Aliran Air (m/s)

2.2 Hubungan Antara Parameter Turbin

Kinerja turbin yang dihitung adalah dari data putaran rotasi permenit (RPM), Torsi (Nm), dan Kecepatan Aliran. Perbandingan kinerja kedua turbin pada pengujian ini dapat ditunjukkan oleh grafik hubungan antara parameter turbin.

2.5.1 Hubungan Antara *Tip Speed Ratio* (TSR) dan Koefisien Daya (C_p)

Perbandingan data 162,5 rpm dua *blade* dengan hasil kode VDART ditunjukkan pada Gambar 2.2. Dengan pengecualian dari titik $X = 3$. Pengecualian ini karena efek *stall* dinamis. Konvergensi solusi komputer VDART untuk nilai $X > 8$ tidak dapat dicapai (Sheldahl, R.E, dkk, 1980).

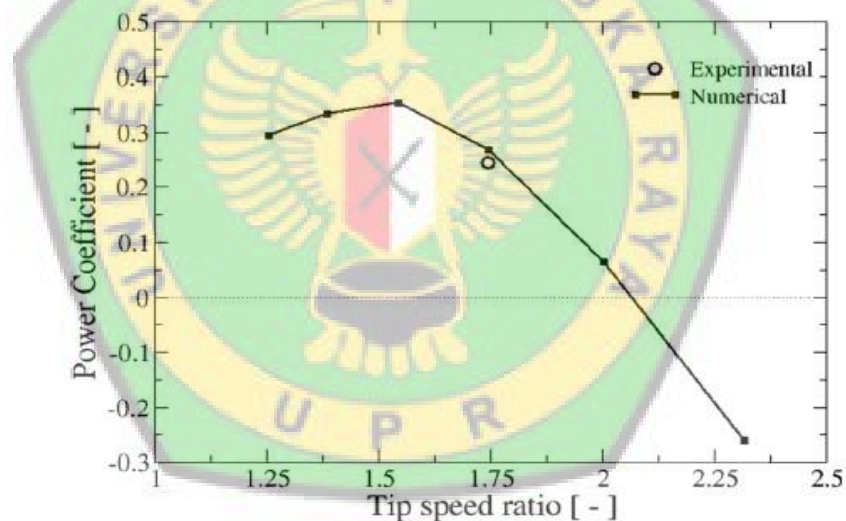


Sumber : Sheldahl, R.E, dkk (1980)

Gambar 2.8 Hubungan Antara *Tip Speed Ratio* (TRS) dan Koefisien Daya (C_p)

Plot koefisien daya rata-rata dibandingkan rasio kecepatan ujung l menunjukkan nilai positif hingga l mendekati 2,1, yang berarti bahwa fluida menyediakan torsi ke turbin. Di luar $l = 2.1$ koefisien daya negatif, yang

menunjukkan bahwa turbin berputar pada kecepatan sudut konstan, mengirimkan energi ke fluida. Situasi ini muncul karena rasio kecepatan ujung yang tinggi menyiratkan kecepatan angular turbin yang tinggi, dan dalam kasus seperti itu, energi kinetik yang terkandung dalam aliran tidak cukup untuk memberikan torsi ke CFWT dan membuatnya berputar dengan kecepatan sudut yang sama. Di sisi lain, kurva $C_p(\lambda)$ menyajikan maksimum sekitar $\lambda = 1,55$ dan menurun untuk nilai yang lebih rendah dari rasio kecepatan ujung. Perilaku ini disebabkan oleh fakta bahwa, untuk nilai-nilai λ yang rendah, aliran di sekitar baling-baling dipisahkan menyiratkan *low lift* dan *high drag*. Akibatnya energi *trans-ferred* dari cairan ke turbin berkurang (Lopez, O., dkk, 2016).

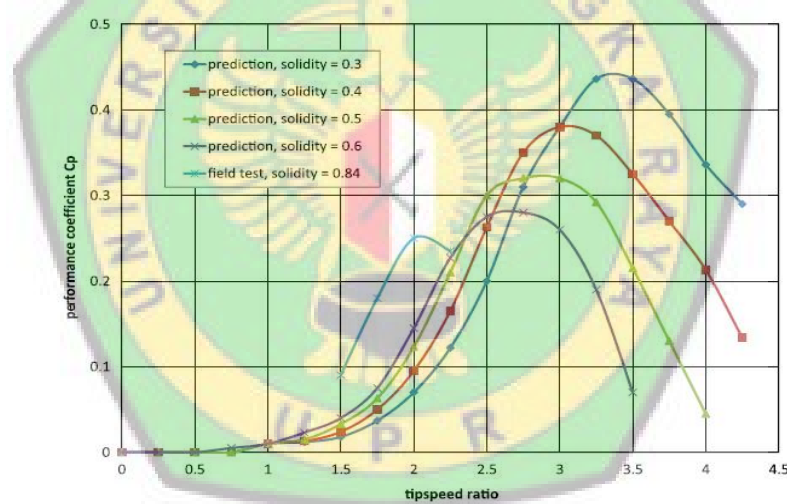


Sumber : Lopez, O., dkk (2016)

Gambar 2.9 Perbandingan Koefisien Daya (C_p) dengan *Tip Speed Ratio* (TSR)

Kirke, B.K. (2011), meneliti tentang turbin hidrokinetik *Darrieus* kecil dengan bilah *pitch* tetap. Turbin hidrokinematik biasanya mengalami putaran awal yang buruk, efisiensi rendah dan guncangan karena fluktuasi besar pada gaya radial dan tangensial dengan sudut azimuth. Efisiensi meningkat seiring

bertambahnya ukuran, karena *chord blade* yang memadai angka *Reynolds* dapat dipertahankan dengan soliditas rendah. Getaran dapat dihilangkan dengan menggunakan bilah heliks, atau dikurangi dengan menggunakan bilah berganda. Putaran awal dapat ditingkatkan secara marginal dengan menggunakan profil *blade* melengkung tetapi mungkin masih tidak memadai untuk mengatasi gesekan *drive train* untuk memulai sendiri. Variabel *pitch* dapat menghasilkan torsi awal yang tinggi, efisiensi tinggi dan pengurangan guncangan tetapi sistem kendali *pitch* aktif menambah kompleksitas dan biaya, sementara sistem pasif harus memiliki kontrol *pitch* yang efektif untuk mencapai efisiensi yang lebih tinggi dari pada sistem *pitch* tetap.



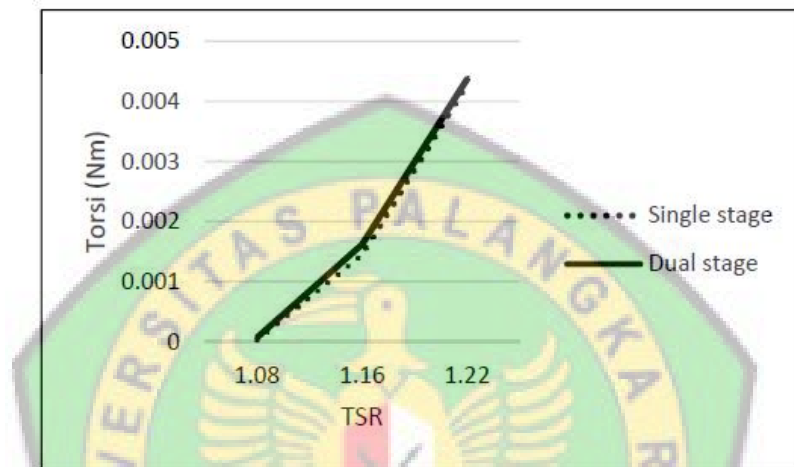
Sumber : Kirke, B.K. (2011)

Gambar 2.10 Perbandingan Koefisien Daya (C_p) dengan *Tip Speed Ratio* (TSR)

2.5.2 Hubungan Antara *Tip Speed Ratio* (TSR) dan Torsi

Torsi rata - rata yang dihasilkan pada turbin *Darrieus* dapat dilihat pada Gambar 2.5. Tren dari torsi rata-rata yang dihasilkan menunjukkan adanya

peningkatan dengan bertambahnya TSR. Torsi yang dicapai oleh kedua jenis turbin relatif sama pada TSR 1.08 dan 1.16. Namun pada TSR 1.22, nilai dari torsi yang dihasilkan lebih tinggi dengan instalasi rotor *Darrieus single stage*. Di mana, nilai maksimum yang dicapai adalah 0,00267 Nm. Sementara nilai torsi maksimum yang dicapai oleh *Darrieus dual stage* adalah 0,002382 Nm (Teja. D.P., 2017).



Sumber : Teja, D.P. (2017)

Gambar 2.11 Perbandingan Torsi dengan *Tip Speed Ratio* (TSR)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

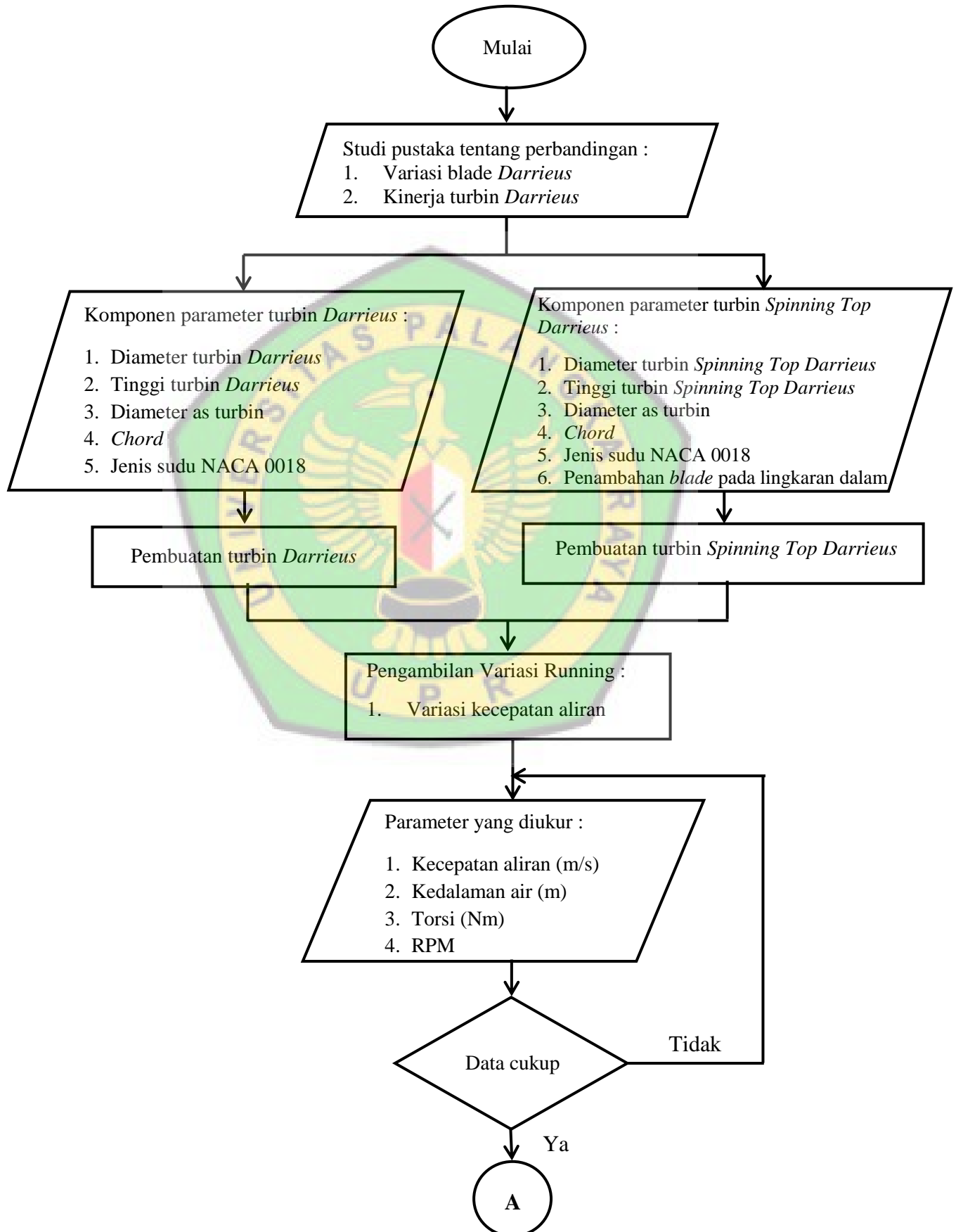
3.1 Umum

Referensi yang digunakan mencakup materi turbin hidrokinetik *vertical axis* tipe *Darrieus*, aspek rasio pada perancangan turbin, pengambilan data pada saluran prismatik (*flume*) yang akan digunakan sebagai tempat eksperimen. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian untuk melihat banyaknya putaran yang dihasilkan oleh turbin tersebut pada suatu parameter pengujian tertentu, sehingga dapat diketahui turbin manakah yang memiliki kinerja yang lebih baik.

Langkah-langkah penelitian dimulai dengan melakukan pengujian pada *flume* dengan menggunakan beberapa parameter yaitu parameter kecepatan aliran dan parameter kedalaman, yang mana parameter tersebut dibuat beberapa variasi sehingga hasil parameter yang diteliti dalam penelitian ini dapat digambarkan dalam grafik agar dapat diketahui perbedaan antara kinerja turbin *Darrieus* asli dengan turbin *Spinning Top Darrieus*. Untuk dapat mengetahui lebih detail tahapan penelitian dari awal sampai akhir maka dapat dilihat pada bagan alir Gambar 3.1.

3.1.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian yang menunjukkan tahapan-tahapan pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Pustaka

Pada penelitian Sheldahl. R.E., dkk (1980) melakukan pengujian terbaru dari turbin *Darrieus*, dilakukan dengan penampang *blade* aluminium menggunakan Sudu NACA-0015. Hasil pengujian ini menunjukkan pada beberapa kecepatan putaran turbin dan dibandingkan dengan hasil pengujian sebelumnya. Perbandingan kinerja dibuat dengan kode komputasi *vortex/lifting line*. Kinerja turbin dengan bilah memenuhi semua harapan.

Pada penelitian Lopez. O., dkk (2016) menyajikan simulasi numerik transien penuh dari turbin arus laut sumbu *vertical cross-flow* (tipe *Darrieus* berbilah lurus) dengan penekanan khusus pada analisis karakteristik

hidrodinamik. Desain turbin dan kinerja yang dipelajari menggunakan persamaan *Navier-Stokes* yang akurasi waktu rata-rata dari *Reynold*. Model rotor-stator transien fisik dengan teknik *sliding mesh* digunakan untuk menangkap perubahan dalam bidang aliran pada langkah waktu tertentu. Model turbulensi k-x transport tegangan geser awalnya digunakan untuk memodelkan fitur turbulen aliran. Simulasi dua dimensi digunakan untuk mempelajari secara parametrik pengaruh parameter geometris yang dipilih dari *airfoil* (lengkungan, ketebalan, dan simetri-asimetri) pada prediksi kinerja (torsi dan koefisien gaya) turbin. Hasilnya, torsi meningkat dengan rasio ketebalan terhadap *chord* hingga 15% dan lengkungan mengurangi beban rata-rata di poros turbin.

Dalam penelitian Teja. D.P. (2017), dilakukan studi numerik tentang pengaruh penambahan jumlah *stage* dengan rotor *Darrieus* jenis *straight blade* pada instalasi turbin angin *hybrid Darrieus-Savonius*.

Pada penelitian ini, dilakukan studi untuk mengetahui perbandingan kinerja antara turbin hidrokinetik *Darrieus* dengan inovasi desain hidrokinetik turbin *Darrieus* yaitu *Spinning Top Darrieus*. Pengujian dilakukan untuk melihat banyaknya putaran yang dihasilkan oleh turbin tersebut pada suatu parameter pengujian tertentu, sehingga dapat diketahui turbin manakah yang memiliki kinerja yang lebih baik.

3.3 Komponen Turbin

Komponen parameter turbin adalah bagian-bagian yang ada di dalam turbin *Darrieus* seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.1 yaitu:

1. Diameter Turbin

Jarak dari sisi ke sisi lainnya pada sudu. Diameter yang dipakai pada pengujian ini adalah 30 cm.

2. Tinggi Turbin

Tinggi turbin yang dipakai pada pengujian ini adalah 38 cm.

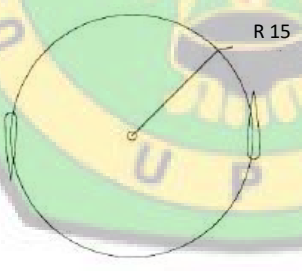
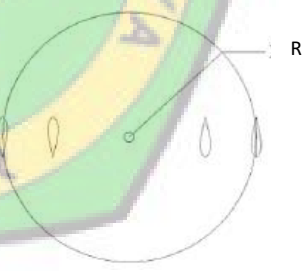
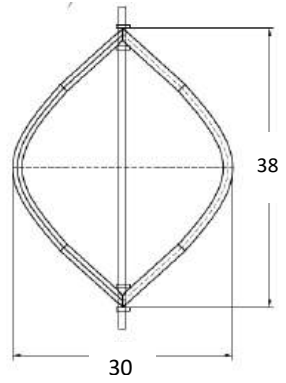
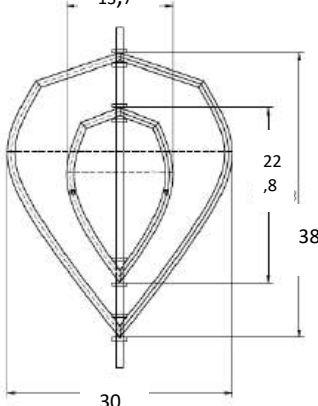
3. Diameter As Turbin

Diameter as adalah diameter poros yang dipakai dalam penelitian ini. Diameter yang dipakai yaitu 1 cm.

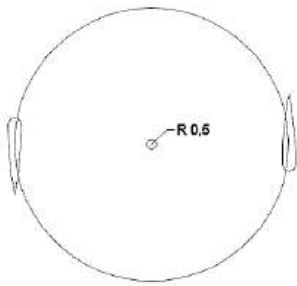
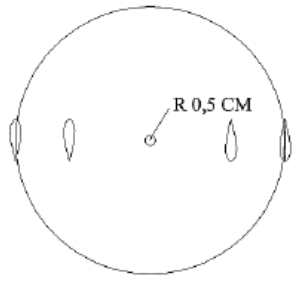


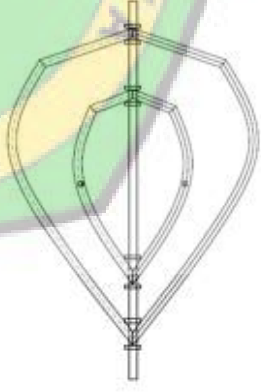
4. Jenis Sudu

Sudu turbin *Darrieus* yang digunakan mempunyai 2 buah sudu, dan turbin *Spinning Top Darrieus* memiliki 4 buah sudu. Tipe sudu yang digunakan dalam penelitian ini adalah NACA 0018.

Tabel 3.1 Komponen Parameter Turbin

No	Komponen	Darrieus	<i>Spinning Top Darrieus</i>	Keterangan
1	Diameter turbin			D = 30 cm
2	Tinggi turbin			T = 38 cm

Lanjutan Tabel 3.1 Komponen Parameter Turbin

No	Komponen	Darrieus	Spinning Top Darrieus	Keterangan
3	Diameter as turbin (<i>shaft</i>)			D = 1 cm
4	Jenis sudu			Bilah turbin menggunakan Panjang 8 cm dengan ketebalan 1 cm (NACA 00018). Dibuat dari bahan resin, katalis, dan fiberglas
5	Bentuk dan jumlah sudu			<i>Darrieus</i> 2 bilah <i>Spinning Top Darrieus</i> 4 bilah

3.4 Pembuatan Turbin

Adapun alat dan bahan yang diperlukan pada pengujian ini adalah sebagai berikut:

Alat yang digunakan:

1. Gerinda
2. Kuas
3. Gelas plastik
4. Bor

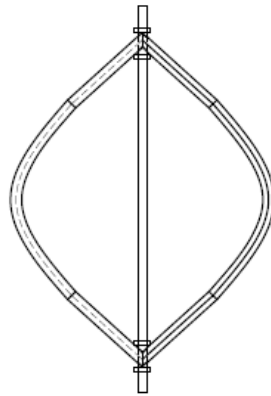
Bahan yang digunakan:

1. PLA (*Polylactic Acid*)/3D printing
2. Serat fiber
3. Minyak Pelumas (oli)
4. Seng
5. Binder clip
6. Besi as
7. Baut
8. *Bearing*

Turbin yang digunakan dalam penelitian ini adalah turbin air *vertical axis* jenis *Darrieus*. Terdapat beberapa langkah dalam pembuatan turbin *Darrieus*, yaitu:

1. Pembuatan *blade* turbin, yang mana dimulai dengan membuat *blade* sesuai dengan tipe NACA 0018.
2. Membuat as turbin (*shaft*). Pembuatan *shaft* dilakukan dengan memilih besi as dengan diameter dan panjang yang sesuai dengan ukuran turbin.
3. Kemudian, rangkai besi as, baut, dan sudu menjadi turbin *Darrieus*.

Hasil dari langkah-langkah diatas seperti Gambar 3.2 dan Gambar 3.3 berikut ini:



Gambar 3.2 Turbin Darrieus



Gambar 3.3 Turbin *Spinning Top* Darrieus

3.5 Variasi *Running*

Variasi *running* yang digunakan pada penelitian ini terletak pada kecepatan aliran dan kedalaman air, dimana untuk kecepatan aliran dibagi menjadi 20 variasi kecepatan dan pada satu kedalaman air, sehingga akan didapat data sebanyak 20 data pada satu turbin, yang nantinya data tersebut akan dimasukkan ke microsoft *excel* agar didapatkan grafik dari variasi *running* tersebut.

3.6 Instrumen Pengukuran

Pada pelaksanaan pengukuran diperlukannya beberapa peralatan untuk mendukung pelaksanaan pengukuran yang dilakukan yaitu:

1. *Tachometer*

Merupakan alat yang digunakan untuk mendapatkan nilai RPM pada saat pengujian kinerja dari setiap turbin. Data RPM selanjutnya akan di masukkan dalam *form* pengujian, kemudian data tersebut akan digunakan untuk perhitungan dan pada pembuatan grafik.

2. *Current meter*

Digunakan untuk pengukuran kecepatan aliran pada *flume* saat kondisi aliran sudah konstan atau stabil. Data kecepatan aliran akan dibagi dalam beberapa variasi kemudian data tersebut di masukkan ke *form* pengujian yang nantinya akan digunakan untuk perhitungan dan pembuatan grafik.

3. *Point Gauge*

Point gauge berfungsi untuk mengukur kedalaman aliran saat kondisialiran sudah stabil, data yang didapatkan akan di masukkan pada *form* pengujian. Pengambilan data kedalaman aliran terbagi dalam beberapa variasi, lalu data tersebut akan digunakan untuk perhitungan dan pembuatan grafik.

4. *Stopwatch*

Merupakan alat yang digunakan untuk mengukur waktu, pada saat pengambilan data, ketika pengujian sedang dilakukan.

5. Bak Ukur

Berfungsi untuk mendapatkan nilai debit aktual pada saat pengujian dengan dibantu data yang diambil dengan menggunakan *stopwatch*.

6. Kamera

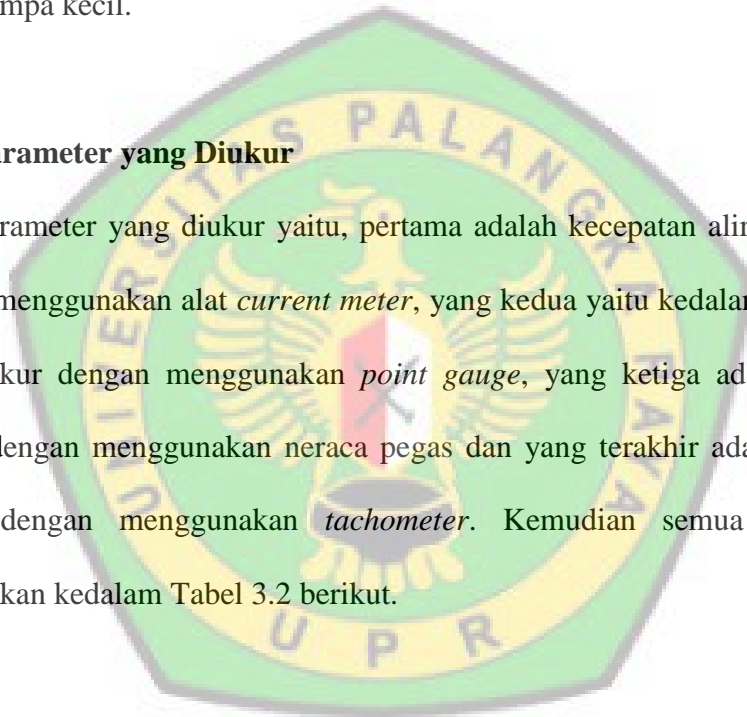
Kamera digunakan untuk mendokumentasikan pelaksanaan pengujian dan digunakan juga untuk pengambilan data banyaknya putaran turbin yang dihasilkan pada suatu pengujian.

7. Pompa

Berfungsi untuk mengalirkan air dari bak penampungan ke dalam *flume*, jumlah pompa yang digunakan adalah 3 buah pompa besar dan 4 buah pompa kecil.

3.7 Parameter yang Diukur

Parameter yang diukur yaitu, pertama adalah kecepatan aliran yang diukur dengan menggunakan alat *current meter*, yang kedua yaitu kedalaman aliran yang bisa diukur dengan menggunakan *point gauge*, yang ketiga adalah torsi yang diukur dengan menggunakan neraca pegas dan yang terakhir adalah RPM yang diukur dengan menggunakan *tachometer*. Kemudian semua data tersebut dimasukkan kedalam Tabel 3.2 berikut.



Tabel 3.2 Parameter yang Diukur

Tabel Pengujian Hidrokinetik Turbin																	
No.	Variasi	Tinggi Air Pada Tandon	RPM						Kedalaman Air Pada Saluran H	Posisi Current Meter (dari dasar)				Kecepatan pada posisi turbin			
1	2	3	4						5	5				7			
		H_T	η_{RPM}							0,2 H	0,4 H	0,6 H	0,8 H	current meter (putaran)			
		(cm)	1	2	3	4	5	Rata - rata	(cm)	(cm)				0,2 H	0,4 H	0,6 H	0,8 H
1	D V1H1	150							43	9	17	26	34				
2	D V2H1	145							43	9	17	26	34				
3	D V3H1	143							43	9	17	26	34				
4	D V4H1	140							43	9	17	26	34				
5	D V5H1	138							43	9	17	26	34				
6	D V6H1	135							43	9	17	26	34				
7	D V7H1	133							43	9	17	26	34				
8	D V8H1	130							43	9	17	26	34				
9	D V9H1	128							43	9	17	26	34				
10	D V10H1	125							43	9	17	26	34				

Lanjutan Tabel 3.2 Parameter yang Diukur

Tabel Pengujian Hidrokinetik Turbin																	
No.	Variasi	Tinggi Air Pada Tandon	RPM						Kedalaman Air Pada Saluran H	Posisi Current Meter (dari dasar)				Kecepatan pada posisi turbin			
1	2	3	4						5	5				7			
		H_T	η_{RPM}							0,2 H	0,4 H	0,6 H	0,8 H	current meter (putaran)			
		(cm)	1	2	3	4	5	Rata - rata	(cm)	(cm)				0,2 H	0,4 H	0,6 H	0,8 H
11	D V11H1	123							43	9	17	26	34				
12	D V12H1	120							43	9	17	26	34				
13	D V13H1	118							43	9	17	26	34				
14	D V14H1	115							43	9	17	26	34				
15	D V15H1	113							43	9	17	26	34				
16	D V16H1	110							43	9	17	26	34				
17	D V17H1	108							43	9	17	26	34				
18	D V18H1	105							43	9	17	26	34				
19	D V19H1	103							43	9	17	26	34				
20	D V20H1	100							43	9	17	26	34				

Lanjutan Tabel 3.2 Parameter yang Diukur

Tabel Pengujian Hidrokinetik Turbin																				
No.	Variasi	Tinggi Air Pada Tandon	RPM					Kedalaman Air Pada Saluran H	Posisi Current Meter (dari dasar)				Kecepatan pada posisi turbin							
1	2	3	4					5	5				7							
		H_T	η_{RPM}						0,2 H	0,4 H	0,6 H	0,8 H	current meter (putaran)							
		(cm)	1	2	3	4	5	Rata - rata	(cm)	(cm)				0,2 H	0,4 H		0,6 H		0,8 H	
21	STD V1H1	150							43	9	17	26	34							
22	STD V2H1	145							43	9	17	26	34							
23	STD V3H1	143							43	9	17	26	34							
24	STD V4H1	140							43	9	17	26	34							
25	STD V5H1	138							43	9	17	26	34							
26	STD V6H1	135							43	9	17	26	34							
27	STD V7H1	133							43	9	17	26	34							
28	STD V8H1	130							43	9	17	26	34							
29	STD V9H1	128							43	9	17	26	34							
30	STD V10H	125							43	9	17	26	34							

Lanjutan Tabel 3.2 Parameter yang Diukur

Tabel Pengujian Hidrokinetik Turbin																					
No.	Variasi	Tinggi Air Pada Tandon	RPM						Kedalaman Air Pada Saluran H	Posisi Current Meter (dari dasar)				Kecepatan pada posisi turbin							
1	2	3	4						5	5				7							
		H_T	η_{RPM}							0,2 H	0,4 H	0,6 H	0,8 H	current meter (putaran)							
		(cm)	1	2	3	4	5	Rata - rata	(cm)	(cm)				0,2 H	0,4 H	0,6 H	0,8 H				
31	STD V11H1	123							43	9	17	26	34								
32	STD V12H1	120							43	9	17	26	34								
33	STD V13H1	118							43	9	17	26	34								
34	STD V14H1	115							43	9	17	26	34								
35	STD V15H1	113							43	9	17	26	34								
36	STD V16H1	110							43	9	17	26	34								
37	STD V17H1	108							43	9	17	26	34								
38	STD V18H1	105							43	9	17	26	34								
39	STD V19H1	103							43	9	17	26	34								
40	STD V20H1	100							43	9	17	26	34								

Keterangan tabel:

D : Darrieus
 STD : *Spinning Top* Darrieus

H : Variasi Kedalaman (m)
 V : Variasi Kecepatan (m/s)

Tabel 3.3 Pengukuran Nilai Torsi

Tabel Pengujian Hidrokinetik Turbin																
No.	Variasi	Tinggi Air Pada Tandon	Pengukuran Torsi masing-masing sudut												Rata-Rata	
1	2	3	4												5	
		H _T	Sudut													
		(cm)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°	
1	D V1H1	150														
2	D V2H1	145														
3	D V3H1	143														
4	D V4H1	140														
5	D V5H1	138														
6	D V6H1	135														
7	D V7H1	133														
8	D V8H1	130														
9	D V9H1	128														
10	D V10H1	125														

Lanjutan Tabel 3.3 Pengukuran Nilai Torsi

Tabel Pengujian Hidrokinetik Turbin																
No.	Variasi	Tinggi Air Pada Tandon	Pengukuran Torsi masing-masing sudut												Rata-Rata	
1	2	3	4												5	
		H _T	Sudut													
		(cm)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°	
11	D V11H1	123														
12	D V12H1	120														
13	D V13H1	118														
14	D V14H1	115														
15	D V15H1	113														
16	D V16H1	110														
17	D V17H1	108														
18	D V18H1	105														
19	D V19H1	103														
20	D V20H1	100														

Lanjutan Tabel 3.3 Pengukuran Nilai Torsi

Tabel Pengujian Hidrokinetik Turbin															
No.	Variasi	Tinggi Air Pada Tandon	Pengukuran Torsi masing-masing sudut												Rata-Rata
1	2	3	4												5
		H_T	Sudut												
		(cm)	0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°
21	STD V1H1	150													
22	STD V2H1	145													
23	STD V3H1	143													
24	STD V4H1	140													
25	STD V5H1	138													
26	STD V6H1	135													
27	STD V7H1	133													
28	STD V8H1	130													
29	STD V9H1	128													
30	STD V10H1	125													

Lanjutan Tabel 3.3 Pengukuran Nilai Torsi

Tabel Pengujian Hidrokinetik Turbin																
No.	Variasi	Tinggi Air Pada Tandon	Pengukuran Torsi masing-masing sudut												Rata-Rata	
1	2	3	4												5	
		H _T (cm)	Sudut													
			0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°	
31	STD V11H1	123														
32	STD V12H1	120														
33	STD V13H1	118														
34	STD V14H1	115														
35	STD V15H1	113														
36	STD V16H1	110														
37	STD V17H1	108														
38	STD V18H1	105														
39	STD V19H1	103														
40	STD V20H1	100														

Keterangan tabel:

D : Darrieus
 STD : *Spinning Top* Darrieus

H : Variasi Kedalaman (m)
 V : Variasi Kecepatan (m/s)

3.8 Perbandingan Kinerja Turbin

Perbandingan kinerja turbin ditunjukkan oleh hubungan antara beberapa parameter penting yang telah diukur dan dianalisis, diantaranya:

1. Hubungan antara RPM (*Rotation Per Minute*) terhadap variasi kecepatan aliran air.
2. Hubungan antara Torsi terhadap variasi kecepatan aliran air.
3. Hubungan antara TSR (*Tip Speed Ratio*) dan C_p (*Coeffisien of Power*)
4. Hubungan antara TSR (*Tip Speed Ratio*) terhadap variasi kecepatan aliran air.
5. Hubungan antara energi kinetik terhadap variasi kecepatan aliran air..
6. Efisiensi Turbin (%).



Tabel 3.4 Rencana Penelitian

No	Kegiatan Tahun 2019-2020	Nov-19	Dec-19	Jan-20	Jun-20	Jul-20	Ags-20	Sep-20	Oktober 2020	Nov-20	
1	Tahap Pertama: Proposal Penelitian								4	1	2
	a. Menyusun Proposal										
	b. Seminar Proposal										
	c. Revisi/Perbaikan Proposal										
2	Tahap Kedua: Penelitian										
	a. Pengumpulan Data Penelitian										
	b. Pengolahan Data										
	c. Analisis Data										
	d. Tugas Akhir										
	e. Seminar Hasil										
	f. Revisi/Perbaikan Hasil Penelitian										
3	Tahap Ketiga: Ujian/Sidang Tugas Akhir										
	a. Ujian Tugas Akhir										
	b. Revisi/Perbaikan Tugas Akhir										
	c. Penyusunan Abstrak										
	d. Laporan Tugas Akhir										
	e. Penyusunan Jurnal										
	f. Selesai										

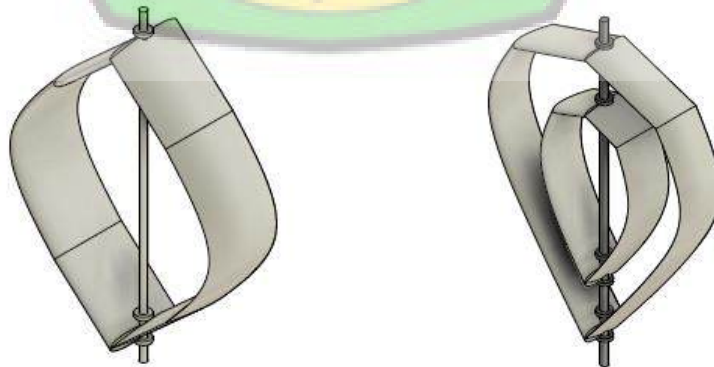
BAB IV

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Desain dan Komponen STD (*Spinning Top Darrieus*) Turbin

Seperti yang telah dijelaskan pada bagian sebelumnya, desain turbin STD (merupakan pengembangan terbaru dari desain turbin *Darrieus*). Desain ini tetap mengikuti dimensi serta ukuran bilah yang diterapkan pada turbin *Darrieus*, hal ini diperlukan untuk mendapatkan nilai parameter-parameter yang dapat digunakan dalam melakukan perbandingan kinerja antara kedua turbin tersebut. Akan tetapi dilakukan perubahan bentuk dan penambahan bilah pada bagian dalam turbin dengan bentuk modifikasi yang sama namun ukuran lebih kecil. Meskipun begitu antara turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus* memiliki luasan yang sama.

a. Bilah (*Blade*)



Gambar 4.1 Bilah (*Blade*)

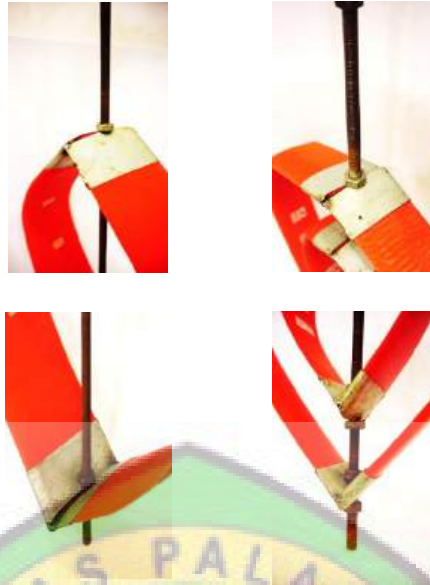
Blade atau bilah yang digunakan adalah tipe NACA 0018 yang mempunyai kinerja yang lebih baik dibandingkan *blade* yang lainnya (Mohammed, 2012). Bentuk modifikasi dari turbin *Darrieus* ini disesuaikan dengan bentuk distribusi kecepatan aliran seperti pada Gambar 4.2. dengan tujuan dapat bekerja lebih maksimal. *Blade* pada kedua turbin terbuat dari bahan PLA (*Poly Lactic Acid*), dengan dicetak menggunakan *3D printing*.



Sumber: Chow, 2009

Gambar 4. 2 Efek Kekasaran Terhadap Distribusi Kecepatan di Saluran Terbuka

b. As Turbin



Gambar 4. 3 As turbin

As turbin berfungsi juga sebagai tempat dudukan *blade* dari turbin dan sebagai tempat meletakkan *bearing* yang telah terhubung dengan dudukan *bearing* agar turbin dapat diletakkan pada dudukan turbin. As turbin terbuat dari besi dan digunakan baut untuk menyambungkan *blade* pada as turbin.

c. Bearing

Bearing berguna untuk menghubungkan turbin kepada dudukan turbin kemudian pada bagian atas dan bawah *bearing* dikunci dengan drat agar *bearing* tidak bergoyang.

4.2 Parameter Hasil Pengukuran

Pada pengujian turbin hidrokinetik diperlukan data RPM, Torsi, dan Kecepatan Aliran. Sehingga dapat dihitung data lain yang diperlukan, beberapa parameter yang dapat dihitung adalah sebagai berikut:

4.2.1. Rotasi Per Menit (RPM)

Nilai RPM diperoleh dengan menggunakan alat *tachometer* seri GM8905. Dengan mengarahkan laser dari *tachometer* tegak lurus pada bagian reflektif yang telah diletakkan pada as turbin, sehingga dapat terpantulkan kembali dan terbaca oleh sensor. Amati dan perhatikan hingga nilai RPM tetap kemudian dicatat, dilampirkan pada tabel 4.1 berikut :

Tabel 4.1 Rotasi Per Menit

No.	Variasi	V terukur rata-rata (m/s)	RPM (rad/menit)
1	2	3	4
1	D V1H1	0,222	95,84
2	D V2H1	0,216	94,90
3	D V3H1	0,215	94,82
4	D V4H1	0,212	93,91
5	D V5H1	0,211	93,76
6	D V6H1	0,210	92,93
7	D V7H1	0,209	91,57
8	D V8H1	0,208	90,50
9	D V9H1	0,206	89,77
10	D V10H1	0,204	87,24
11	STD V1H1	0,222	117,17
12	STD V2H1	0,216	116,06
13	STD V3H1	0,215	115,48
14	STD V4H1	0,212	113,68
15	STD V5H1	0,211	113,60
16	STD V6H1	0,210	112,50
17	STD V7H1	0,209	112,35
18	STD V8H1	0,208	110,33
19	STD V9H1	0,206	109,16
20	STD V10H1	0,204	108,85

Keterangan Tabel 4.1 :

Kolom 1 : Menunjukkan jumlah variasi pengujian yang dilakukan

Kolom 2 : Menunjukkan kode variasi pengujian turbin STD dan turbin *Darrieus* di mana D V1H1 menyatakan turbin *Darrieus* pada variasi kecepatan V1 serta kedalaman H1; dan STD V1H1 menyatakan turbin *Spinning Top Darrieus* pada variasi kecepatan V1 serta kedalaman H1.

Kolom 3 : Merupakan nilai kecepatan aliran pada saluran air sesuai dengan ketinggian air pada tandon (m/s).

Kolom 4 : Merupakan nilai RPM yang dihasilkan dari alat *tachometer*.

4.2.2. Coefficient of Power (C_p)

Kinerja turbin atau *Coefficient of Power* dinyatakan dengan nilai C_p menggunakan persamaan (2-2). Dari persamaan tersebut nilai C_p berbanding lurus terhadap meningkatnya nilai torsi (Nm) dikalikan kecepatan sudut (rad/s) dan berbanding terbalik dengan energy kinetik (kgm/s) yang dihasilkan dari aliran air. Nilai C_p dari hasil pengujian dinyatakan pada Tabel 4.2 berikut :

Tabel 4.2. Nilai *Coefficient of Power* Hasil Pengujian

No.	Variasi	Torsi τ (Nm)	Kecepatan Sudut ω (rad/s)	V terukur rata-rata (m/s)	Luas Bilah Turbin A (m ²)	<i>Coefficient of Power</i> C_p
1	2	3	4	5	6	7
1	D V1H1	0,049	10,03	0,222	0,11	0,79
2	D V2H1	0,048	9,93	0,216	0,11	0,83
3	D V3H1	0,047	9,92	0,215	0,11	0,83
4	D V4H1	0,046	9,83	0,212	0,11	0,83
5	D V5H1	0,045	9,81	0,211	0,11	0,83
6	D V6H1	0,044	9,73	0,210	0,11	0,81

Lanjutan Tabel 4.2 Nilai *Coefficient of Power* Hasil Pengujian

No.	Variasi	Torsi τ (N.m)	Kecepatan Sudut ω (rad/s)	V terukur rata-rata (m/s)	Luas Bilah Turbin A (m ²)	<i>Coefficient of Power</i> C _p
1	2	3	4	5	6	7
7	D V7H1	0,042	9,58	0,209	0,11	0,78
8	D V8H1	0,038	9,47	0,208	0,11	0,69
9	D V9H1	0,038	9,40	0,206	0,11	0,71
10	D V10H1	0,038	9,13	0,204	0,11	0,71
11	STD V1H1	0,033	12,26	0,222	0,15	0,50
12	STD V2H1	0,034	12,15	0,216	0,15	0,56
13	STD V3H1	0,034	12,09	0,215	0,15	0,56
14	STD V4H1	0,034	11,90	0,212	0,15	0,58
15	STD V5H1	0,034	11,89	0,211	0,15	0,59
16	STD V6H1	0,034	11,78	0,210	0,15	0,59
17	STD V7H1	0,034	11,76	0,209	0,15	0,60
18	STD V8H1	0,031	11,55	0,208	0,15	0,54
19	STD V9H1	0,030	11,43	0,206	0,15	0,54
20	STD V10H1	0,029	11,39	0,204	0,15	0,54

Keterangan Tabel 4.2 :

Kolom 1 : Menunjukkan jumlah variasi pengujian yang dilakukan

Kolom 2 : Menunjukkan kode variasi pengujian turbin STD dan turbin *Darrieus*, dimana D V1H1 menyatakan turbin *Darrieus* pada variasi kecepatan V1 serta kedalaman H1; dan STD V1H1 menyatakan turbin STD pada variasi kecepatan V1 serta kedalaman H1.

Kolom 3 : Diperoleh dengan menggunakan alat neraca pegas.

Kolom 4 : Dihitung dengan menggunakan persamaan (2-2).

Kolom 5 : Nilai kecepatan aliran rata-rata dihitung menggunakan persamaan (2-1)

Kolom 6 : Merupakan luas penampang turbin yang mampu menangkap energi yang dihasilkan dari aliran air. Nilai luasan ini diperoleh dengan bantuan program *Autocad*.

Kolom 7 : Nilai *coefficient of power* diperoleh dengan menggunakan persamaan (2-3).

4.2.3. Kecepatan Aliran, V (m/s)

Nilai kecepatan aliran, V (m/s) diperoleh dari pembacaan alat *current meter*. Alat tersebut berfungsi untuk mengetahui besar kecepatan aliran pada setiap kedalaman yang diinginkan. Kedalaman yang diperlukan untuk pengukuran kecepatan aliran didasarkan pada distribusi kecepatan aliran yaitu pada kedalaman 0,2h, 0,4 h, 0,6h, dan 0,8h. Pengukuran ini dilakukan di bagian sebelum melewati turbin dan setelah melewati turbin, hal ini diperlukan dalam mendapatkan diagram perbandingan distribusi kecepatan aliran untuk melihat bagaimana kinerja turbin dalam memaksimalkan energi aliran air tersebut. Dari hasil pengujian diperoleh nilai kecepatan aliran sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.4 :

Tabel 4.3 Nilai Kecepatan Aliran Hasil Pengujian

No.	Variasi Kecepatan	Ketinggian Air Pada Tandon H	Kecepatan Terukur rata-rata V (m/s)
1	2	3	4
1	V1	150	0,222
2	V2	145	0,216

Lanjutan Tabel 4.3 Nilai Kecepatan Aliran Hasil Pengujian

No.	Variasi Kecepatan	Ketinggian Air Tandon H	Kecepatan Terukur Rata-rata V (m/s)
1	2	3	4
3	V3	143	0,215
4	V4	140	0,212
5	V5	138	0,211
6	V6	135	0,210
7	V7	133	0,209
8	V8	130	0,208
9	V9	128	0,206
10	V10	125	0,204
11	V11	123	0,203
12	V12	120	0,202
13	V13	118	0,201
14	V14	115	0,200
15	V15	113	0,197
16	V16	110	0,196
17	V17	108	0,194
18	V18	105	0,192
19	V19	103	0,190
20	V20	100	0,188

Keterangan Tabel 4.3 :

Kolom 1 : Menunjukkan jumlah variasi pengujian yang dilakukan

Kolom 2 : Menunjukkan kode variasi pengujian turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus*, dimana :D V1H1 menyatakan turbin

Darrieus pada variasi kecepatan V1 serta kedalaman H1; dan STD V1H1 menyatakan *Spinning Top Darrieus* turbin pada variasi Kecepatan V1 serta kedalaman H1.

Kolom 3 : Merupakan variasi tinggi air pada tandon H.

Kolom 4 : Merupakan nilai kecepatan aliran terukur rerata .

Dari hasil pengujian untuk turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus* diperoleh nilai kecepatan aliran terbesar pada kode varian V1 sebesar 0,222 m/s dan terkecil pada kode varian V20 sebesar 0,188 m/s.

4.2.4. Torsi, τ (N.m)

Nilai torsi diperoleh dari hasil pengukuran dengan menggunakan alat neraca pegas. Alat tersebut dapat menunjukkan angka besar tarikan yang dialami turbin pada saat pengambilan data, seperti yang sudah dijelaskan pada point 2.5.2. bahwa pengambilan nilai torsi dilakukan persudut. Dari hasil pengambilan data diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada table 4.4 berikut :

Tabel 4.4 Nilai Torsi Dari Hasil Pengujian

No	Variasi	Torsi yang Dihasilkan dari Variasi Sudut (Nm)													Rata - rata
		0°	30°	60°	90°	120°	150°	180°	210°	240°	270°	300°	330°	360°	
1	2	3													4
1	D V1H1	0,113	0,075	0,000	0,000	0,000	0,075	0,113	0,075	0,000	0,000	0,000	0,088	0,100	0,049
2	D V2H1	0,113	0,063	0,000	0,000	0,000	0,075	0,113	0,075	0,000	0,000	0,000	0,088	0,100	0,048
3	D V3H1	0,113	0,075	0,000	0,000	0,000	0,075	0,113	0,075	0,000	0,000	0,000	0,075	0,088	0,047
4	D V4H1	0,113	0,063	0,000	0,000	0,000	0,075	0,113	0,075	0,000	0,000	0,000	0,075	0,088	0,046
5	D V5H1	0,100	0,063	0,000	0,000	0,000	0,063	0,113	0,075	0,000	0,000	0,000	0,088	0,088	0,045
6	D V6H1	0,100	0,063	0,000	0,000	0,000	0,063	0,113	0,088	0,000	0,000	0,000	0,063	0,088	0,044
7	D V7H1	0,100	0,063	0,000	0,000	0,000	0,063	0,100	0,075	0,000	0,000	0,000	0,063	0,088	0,042
8	D V8H1	0,088	0,050	0,000	0,000	0,000	0,063	0,100	0,038	0,000	0,000	0,000	0,063	0,088	0,038
9	D V9H1	0,088	0,050	0,000	0,000	0,000	0,063	0,100	0,038	0,000	0,000	0,000	0,063	0,088	0,038
10	D V10H1	0,088	0,050	0,000	0,000	0,000	0,063	0,100	0,038	0,000	0,000	0,000	0,063	0,088	0,038
11	STD V1H1	0,088	0,038	0,025	0,000	0,000	0,000	0,088	0,038	0,025	0,000	0,000	0,038	0,088	0,033
12	STD V2H1	0,088	0,038	0,025	0,000	0,000	0,025	0,088	0,038	0,025	0,000	0,000	0,025	0,088	0,034
13	STD V3H1	0,088	0,038	0,025	0,000	0,000	0,025	0,088	0,038	0,025	0,000	0,000	0,025	0,088	0,034
14	STD V4H1	0,088	0,038	0,025	0,000	0,000	0,025	0,088	0,038	0,025	0,000	0,000	0,025	0,088	0,034
15	STD V5H1	0,088	0,038	0,025	0,000	0,000	0,025	0,088	0,038	0,025	0,000	0,000	0,025	0,088	0,034
16	STD V6H1	0,088	0,038	0,025	0,000	0,000	0,025	0,088	0,038	0,025	0,000	0,000	0,025	0,088	0,034
17	STD V7H1	0,088	0,038	0,025	0,000	0,000	0,025	0,088	0,038	0,025	0,000	0,000	0,025	0,088	0,034
18	STD V8H1	0,075	0,038	0,025	0,000	0,000	0,025	0,075	0,038	0,025	0,000	0,000	0,025	0,075	0,031
19	STD V9H1	0,075	0,038	0,013	0,000	0,000	0,025	0,075	0,038	0,025	0,000	0,000	0,025	0,075	0,030
20	STD V10H1	0,075	0,038	0,013	0,000	0,000	0,025	0,075	0,038	0,013	0,000	0,000	0,025	0,075	0,029

Keterangan Tabel 4.4 :

- Kolom 1 : Menunjukkan jumlah variasi pengujian yang dilakukan
- Kolom 2 : Menunjukkan kode variasi pengujian turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus*, dimana :D V1H1 menyatakan turbin *Darrieus* pada variasi kecepatan V1 serta kedalaman H1; dan STD V1H1 menyatakan *Spinning Top Darrieus* turbin pada variasi kecepatan V1 serta kedalaman H1.
- Kolom 3 : Merupakan variasi sudut pengukuran nilai torsi menggunakan neraca pegas.
- Kolom 4 : Merupakan nilai torsi terukur rerata.

Dari hasil pengujian untuk turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus* diperoleh nilai torsi terbesar pada kode variasi DV1H1 sebesar 0,049 Nm dan terkecil pada kode varian STD V20H1 sebesar 0,029 Nm

4.2.5. Kecepatan Sudut, ω (rad/s)

Nilai kecepatan sudut diperoleh dari hasil perhitungan dari nilai RPM pada pengujian. Dari hasil pengambilan data diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada Table 4.5 berikut :

Tabel 4.5 Nilai Kecepatan Sudut dari Hasil Pengujian

No.	Variasi	RPM (rad/menit)	Kecepatan Sudut ω (rad/s)
1	2	3	4
1	D V1H1	95,84	10,03
2	D V2H1	94,90	9,93
3	D V3H1	94,82	9,92
4	D V4H1	93,91	9,83
5	D V5H1	93,76	9,81

Lanjutan Tabel 4.5 Nilai Kecepatan Sudut dari Hasil Pengujian

No.	Variasi	RPM (rad/menit)	Kecepatan Sudut ω (rad/s)
1	2	3	4
6	D V6H1	92,93	9,73
7	D V7H1	91,57	9,58
8	D V8H1	90,50	9,47
9	D V9H1	89,77	9,40
10	D V10H1	87,24	9,13
11	STD V1H1	117,17	12,26
12	STD V2H1	116,06	12,15
13	STD V3H1	115,48	12,09
14	STD V4H1	113,68	11,90
15	STD V5H1	113,60	11,89
16	STD V6H1	112,50	11,78
17	STD V7H1	112,35	11,76
18	STD V8H1	110,33	11,55
19	STD V9H1	109,16	11,43
20	STD V10H1	108,85	11,39

Keterangan Tabel 4.5 :

Kolom 1 : Menunjukkan jumlah variasi pengujian yang dilakukan

Kolom 2 : Menunjukkan kode variasi pengujian turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus*, dimana :D V1H1 menyatakan turbin *Darrieus* pada variasi kecepatan V1 serta kedalaman H1; dan STD V1H1 menyatakan *Spinning Top Darrieus* turbin pada variasi kecepatan V1 serta kedalaman H1.

Kolom 3 : Merupakan nilai hasil pengukuran RPM.

Kolom 4 : Merupakan nilai Kecepatan Sudut.

Dari hasil pengujian untuk turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus* diperoleh nilai kecepatan sudut terbesar pada kode variasi *running* STD V1H1 sebesar 12,26 (rad/s) dan terkecil pada kode varian D V10H1 sebesar 9,13 (rad/s).

4.2.6. Daya Mekanik Turbin, W_s (kgm^2/s^3)

Nilai kecepatan sudut diperoleh dari hasil perhitungan dari nilai RPM dan torsi pada pengujian seperti pada persamaan (2-5). Dari hasil pengambilan data diperoleh hasil seperti yang ditunjukkan pada table 4.6 berikut :

Tabel 4.6 Nilai Daya Mekanik Turbin dari Hasil Pengujian

No.	Variasi	Torsi τ (Nm)	RPM	Daya Mekanik Turbin W_s (kgm^2/s^3)
1	2	3	4	5
1	D V1H1	0,049	67,09	1,97
2	D V2H1	0,048	66,43	1,92
3	D V3H1	0,047	66,37	1,88
4	D V4H1	0,046	65,74	1,82
5	D V5H1	0,045	65,63	1,78
6	D V6H1	0,044	65,05	1,73
7	D V7H1	0,042	65,10	1,63
8	D V8H1	0,038	63,35	1,43
9	D V9H1	0,038	62,84	1,41
10	D V10H1	0,038	61,07	1,37
11	STD V1H1	0,033	82,02	1,61
12	STD V2H1	0,034	81,24	1,64
13	STD V3H1	0,034	80,84	1,63
14	STD V4H1	0,034	79,58	1,56
15	STD V5H1	0,034	79,52	1,61
16	STD V6H1	0,034	78,75	1,59
17	STD V7H1	0,034	78,65	1,59
18	STD V8H1	0,031	77,23	1,43
19	STD V9H1	0,030	76,41	1,37
20	STD V10H1	0,029	76,20	1,32

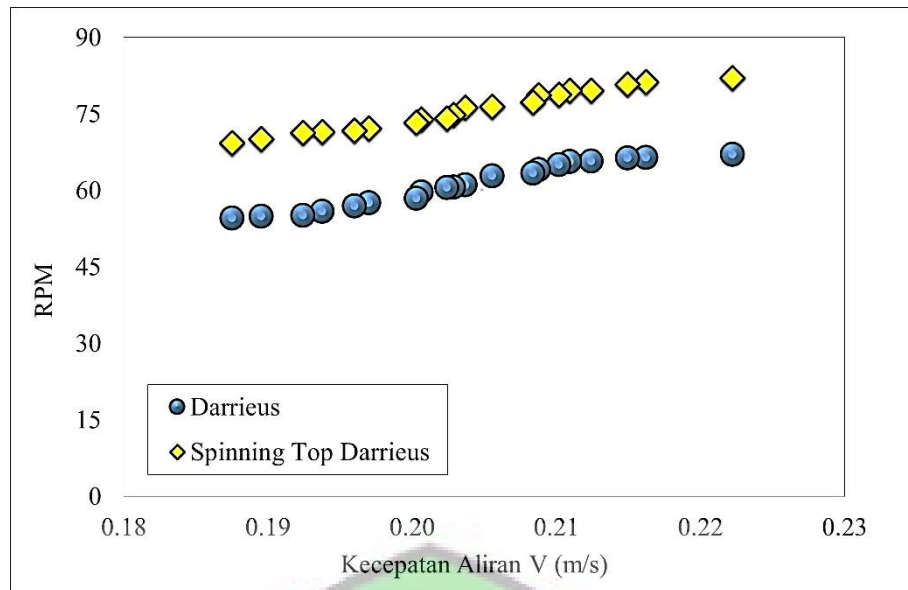
Keterangan Tabel 4.6 :

- Kolom 1 : Menunjukkan jumlah variasi pengujian yang dilakukan
- Kolom 2 : Menunjukkan kode variasi pengujian turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus* turbin, dimana :D V1H1 menyatakan turbin *Darrieus* pada variasi kecepatan V1 serta kedalaman H1; dan STD V1H1 menyatakan *Spinning Top Darrieus* turbin pada variasi kecepatan V1 serta kedalaman H1.
- Kolom 3 : Merupakan nilai hasil pengukuran torsi.
- Kolom 4 : Merupakan nilai hasil pengukuran RPM..
- Kolom 5 : Merupakan nilai daya mekanik turbin.

Dari hasil pengujian untuk turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus* diperoleh nilai daya mekanik turbin terbesar pada kode variasi *running* D V1H1 sebesar $1,97 \text{ (kgm}^2/\text{s}^3)$ dan terkecil pada kode variasi *running* STD V10H1 sebesar $1,32 \text{ (kgm}^2/\text{s}^3)$.

4.3 Analisa Hubungan antara Rotasi Per Menit (RPM) dan Kecepatan Aliran, V (m/s)

Berikut adalah gambar grafik yang menunjukkan perbandingan nilai pengukuran RPM turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus* dari hasil uji coba laboratorium dengan luas bidang yang sama namun desain berbeda.



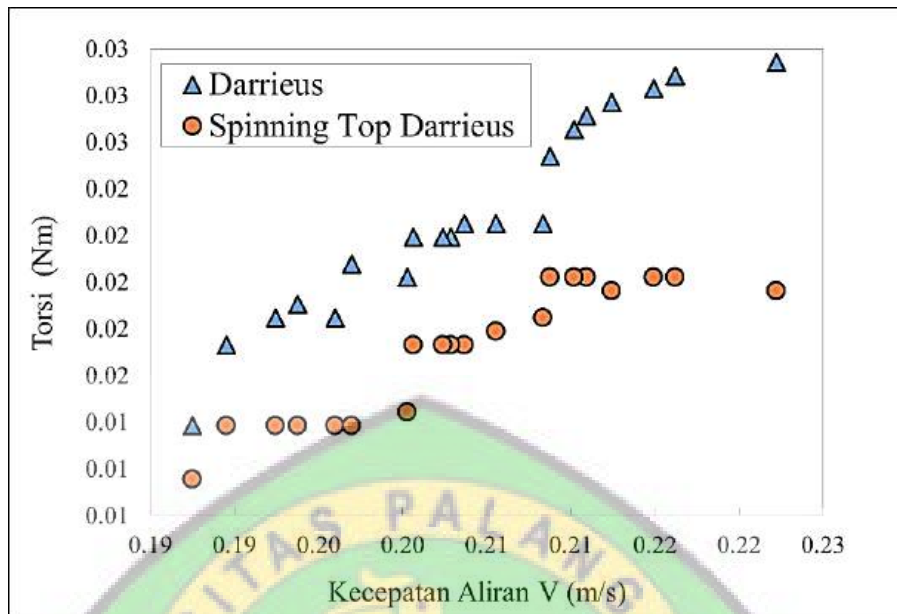
Gambar 4.4 Perbandingan Nilai Rotasi Per Menit (RPM) dan Kecepatan Aliran, V (m/s)

Pada gambar 4.4 diatas menunjukkan hasil pengukuran nilai RPM pada dua buah turbin, dapat dilihat perbandingan nilai RPM dimana *Spinning Top Darrieus* memiliki nilai RPM lebih banyak dibandingkan dengan turbin *Darrieus*. Maka dapat dikatakan bahwa inovasi desain yang dilakukan dapat menambah kinerja turbin sehingga putaran yang dihasilkan lebih banyak.

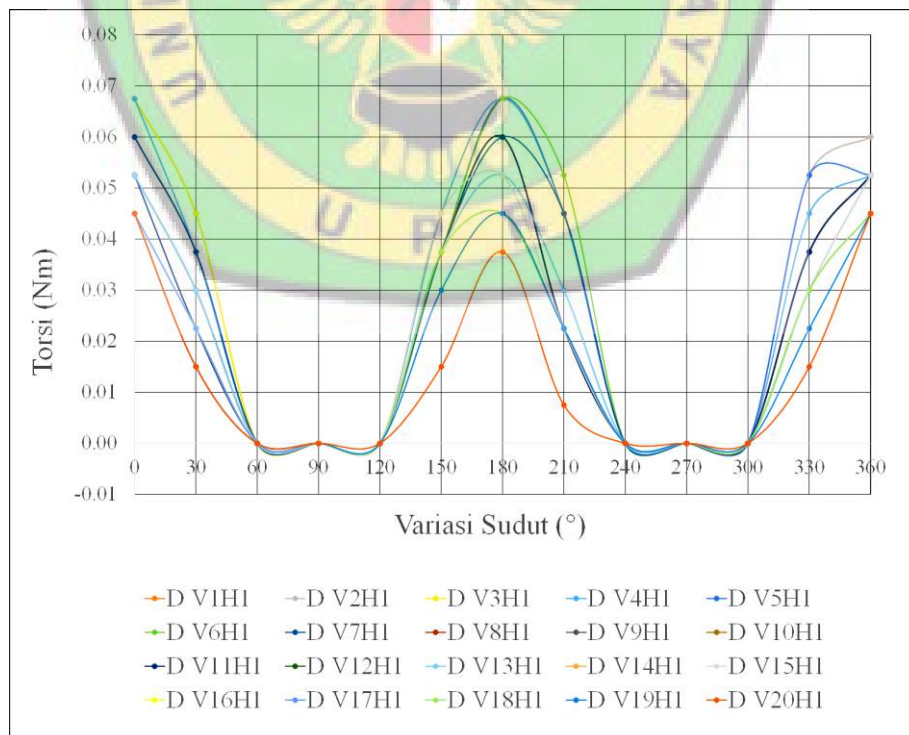
4.4 Analisa Hubungan antara Torsi, τ (Nm) dan Kecepatan Aliran, V (m/s)

Berikut adalah gambar grafik yang menunjukkan perbandingan nilai pengukuran torsi turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus* dari hasil uji coba laboratorium, pengambilan data torsi dilakukan secara manual yaitu dengan cara pengamatan langsung menggunakan alat neraca pegas. Data yang dihasilkan dari alat neraca pegas masih berupa gaya, oleh sebab itu harus dikalikan terlebih dahulu dengan lengan torsi. Sehingga nilai torsi yang didapat merupakan hasil kali

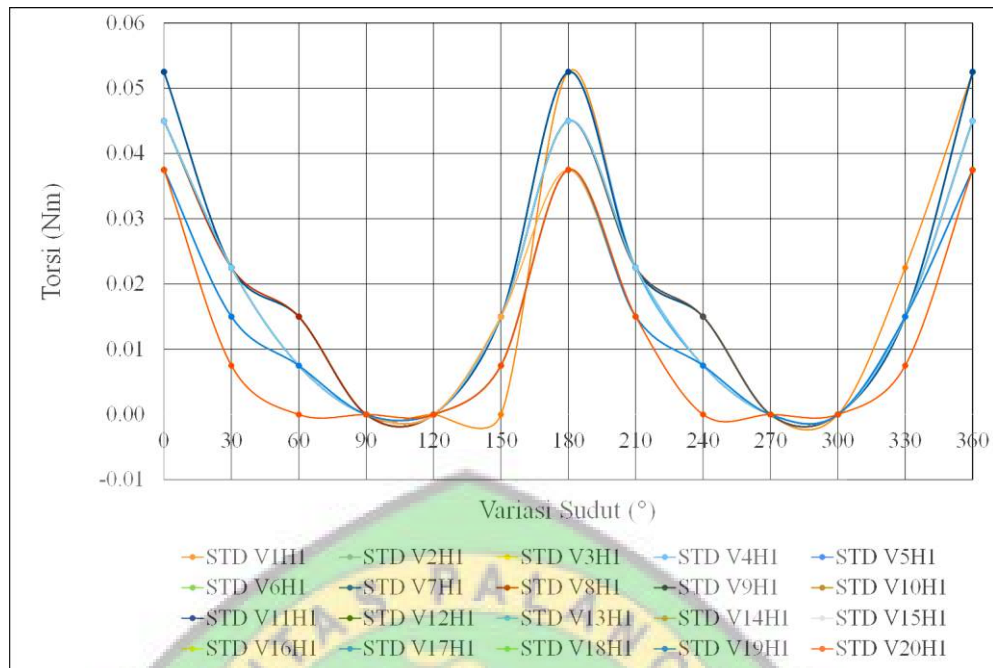
antara gaya (N) dan lengan torsi (m) yang diletakkan tegak lurus dengan sudut pengambilan.



Gambar 4.5 Perbandingan Nilai Torsi, τ (Nm) dan Kecepatan Aliran, V (m/s)



Gambar 4.6 Nilai Torsi turbin Darrieus pada masing-masing sudut



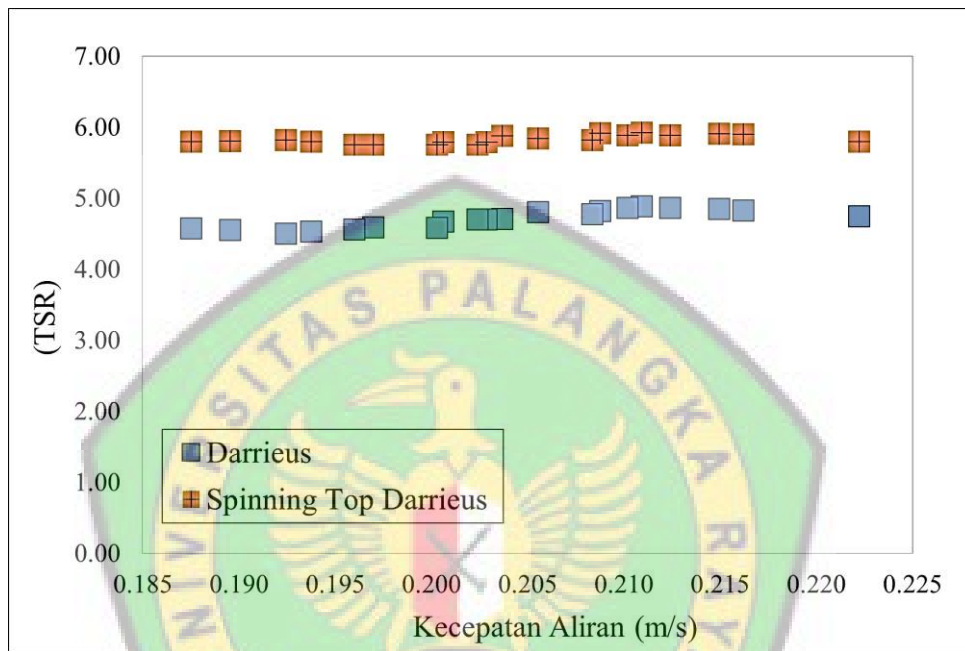
Gambar 4.7 Nilai Torsi turbin *Spinning Top Darrieus* pada masing-masing sudut

Pada gambar 4.5 bahwa nilai torsi yang dihasilkan turbin *Darrieus* lebih besar jika dibandingkan dengan nilai torsi yang dihasilkan oleh turbin *Spinning Top Darrieus*. Dimana hal ini berbanding terbalik dengan gambar 4.4 dikarenakan hubungan antara RPM dan torsi, di mana semakin besar RPM yang dihasilkan maka semakin kecil torsi yang terjadi. Begitu juga sebaliknya semakin kecil RPM yang dihasilkan maka semakin besar torsi yang terjadi. Semakin luas bidang tangkap semakin besar juga nilai torsi dan semakin kecil bidang tangkapnya semakin kecil juga nilai torsi.

4.5 Analisa Hubungan antara TSR (*Tip Speed Ratio*) dan Kecepatan

Aliran, V (m/s)

Dari hasil perhitungan nilai TSR berdasarkan data kecepatan sudut dan kecepatan aliran, dapat dilihat perbandingan nilai TSR antara turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus* yang ditunjukkan pada Gambar 4.8 berikut:

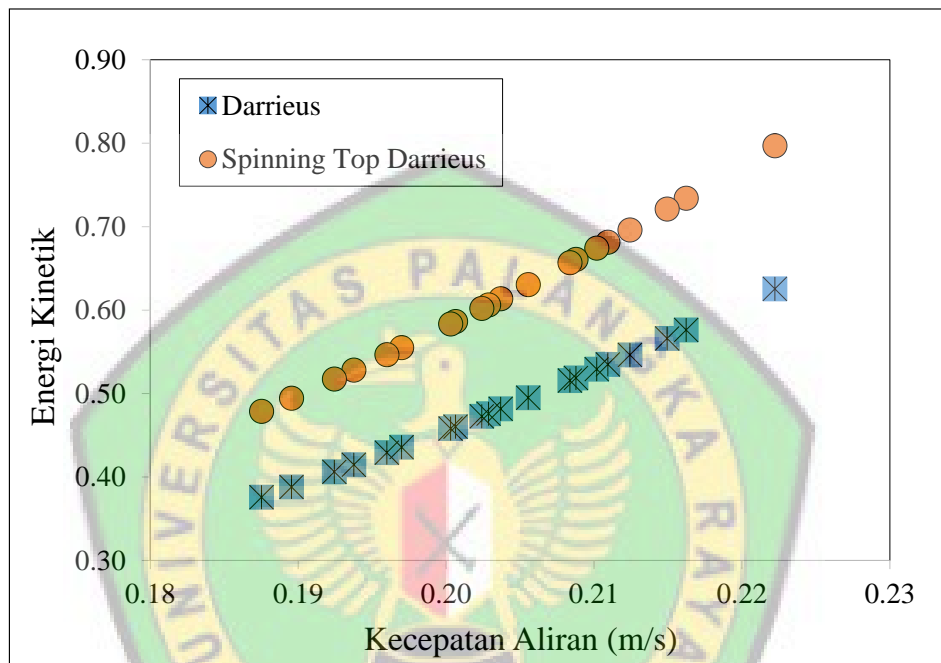


Gambar 4.8 Perbandingan Nilai TSR (*Tip Speed Ratio*) dan Kecepatan Aliran, V (m/s)

Dari gambar grafik diatas menunjukkan perbandingan nilai TSR antara turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus*. Nilai TSR menyatakan seberapa cepat turbin berputar terhadap kecepatan aliran. Di mana dapat dilihat bahwa nilai TSR turbin *Darrieus* lebih kecil dari pada turbin *Spinning Top Darrieus*, hal ini menunjukkan bahwa inovasi desain yang dilakukan berhasil menambah kinerja putaran pada turbin *Spinning Top Darrieus*.

4.6 Analisa Hubungan antara Energi Kinetik dan Kecepatan Aliran, V (m/s)

Pada penelitian ini dihitung juga besar energi kinetik yang dihasilkan masing-masing turbin. Pada Gambar 4.9 berikut menunjukkan besar energi kinetik terhadap kecepatan aliran:



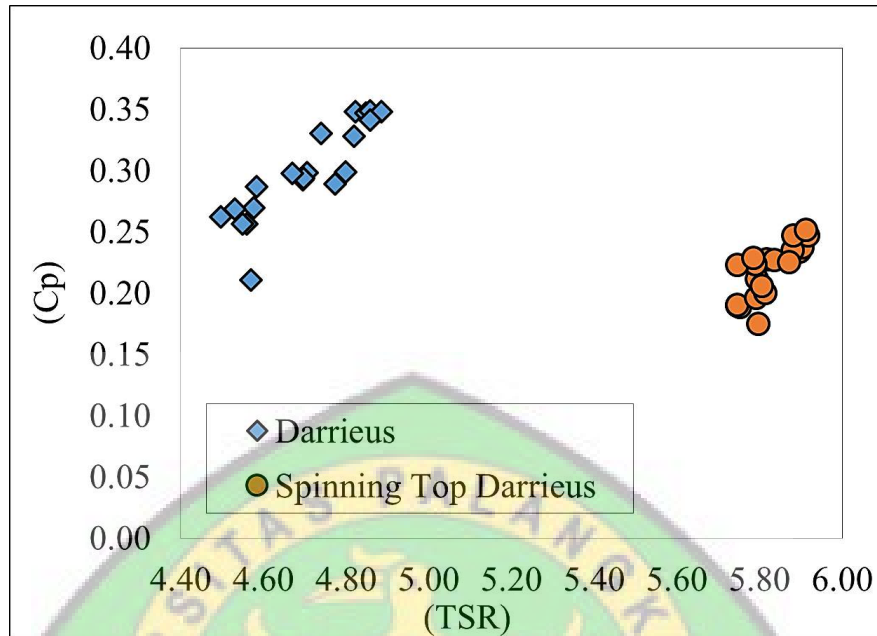
Gambar 4.9 Perbandingan Nilai Energi Kinetik dan Kecepatan Aliran, V (m/s)

Pada Gambar 4.9 dapat disimpulkan bahwa semakin besar kecepatan alirannya maka semakin besar juga energi kinetik yang dihasilkan oleh masing-masing turbin. Seperti pada Gambar 4.9 bahwa nilai energi kinetik bergerak konstan meningkat berbanding lurus dengan kecepatan aliran.

4.7 Analisa Hubungan antara C_p dan TSR

Pada pengujian ini dihitung juga besar *coeffisien of power* yang dihasilkan masing-masing turbin. Pada Gambar 4.10 berikut menunjukkan grafik hubungan

antara C_p dan TSR dimana perbandingan performa turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus* dapat terlihat:



Gambar 4.10 Perbandingan Nilai C_p dan TSR (Tip Speed Ratio)

Hasil dari pengujian didapat nilai nilai C_p untuk turbin *Darrieus* dari 0,20 sampai 0,35 dengan *TSR* dari 4,4 sampai 4,9. Sedangkan nilai C_p turbin *Spinning Top Darrieus* dari 0,15 hingga 0,25. Dari gambar 4.10 dapat dilihat perbandingan nilai C_p dan *TSR* yang dihasilkan oleh turbin angin dan air. Dapat diketahui bahwa turbin *Spinning Top Darrieus* menghasilkan nilai RPM yang besar sehingga nilai *TSR* yang dihasilkan besar juga, hal ini menunjukkan bahwa gaya *lift* pada turbin *Spinning Top Darrieus* lebih besar dari gaya *drag* yang dihasilkan.

BAB V

Kesimpulan Dan Saran

5.1. Kesimpulan

Setelah dilakukan pengujian dan analisis serta pembahasan dari hasil pengujian perbandingan kinerja hidrokinetik turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus* dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Desain turbin *Darrieus* yaitu berbentuk sama seperti turbin angin *Darrieus* yang memiliki 2 bilah, pada penelitian ini menggunakan *airfoil* NACA 0018.
2. Desain turbin *Spinning Top Darrieus* termodifikasi dari bentuk asli turbin *Darrieus* dan bentuk distribusi kecepatan aliran, sehingga dapat meningkatkan kinerja putaran turbin. Karena bentuk turbin yang mengikuti bentuk distribusi kecepatan, nilai RPM yang dihasilkan turbin *Spinning Top Darrieus* lebih besar. Namun dengan mengecilnya lebar bilah maka luas tangkapannya menjadi kecil, sehingga nilai torsi yang dihasilkan lebih kecil.
3. Dari hasil pengujian yang dilakukan, dapat terlihat perbedaan kinerja dan efisiensi dari turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus*. Turbin *Darrieus* memiliki efisiensi tinggi namun dengan angka TSR yang rendah yaitu TSR 4,74 dengan efisiensi sebesar 33%, sedangkan turbin *Spinning Top Darrieus* memiliki nilai TSR besar namun efisiensi kecil yaitu TSR 5,79 dengan efisiensi sebesar 21%.
4. Dari perbandingan nilai C_p dan TSR dari turbin *Darrieus* dan turbin *Spinning Top Darrieus*, nilai TSR yang dihasilkan turbin *Spinning Top Darrieus* lebih

besar dari nilai TSR turbin *Darrieus*. Hal ini menunjukkan bahwa turbin *Spinning Top Darrieus* menghasilkan gaya *lift* lebih besar sehingga perlu adanya studi untuk melanjutkan studi pengujian ini.

5.2. Saran

Dari hasil pengujian gaya *lift* yang dihasilkan lebih besar dari pada gaya *drag*, hal ini dikarenakan torsi yang dihasilkan lebih kecil. Sehingga untuk mengoptimalkan nilai torsi maka perlu adanya studi lanjutan untuk pengujian dengan penambahan ambang pada bawah turbin. Dengan begitu diharapkan nilai C_p turbin *Spinning Top Darrieus* bisa optimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Febrianto, A., Santoso, A. 2016. “Analisa Perbandingan Torsi dan Rpm Turbin Tipe Darrieus Terhadap Efisiensi Turbin”. JURNAL TEKNIK ITS Vol. 5 No. 2. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, Indonesia. 4 Oktober 2018.
- Firdausy, C. N., Hantoro, R. and Hamidah, N. L. (2018) ‘Analisis Pengaruh Passive Variable-Pitch pada Turbin Sumbu Vertikal Darrieus Cascade terhadap Efisiensi Turbin Hidrokinetik Berbasis Computational Fluid Dynamics’, *Jurnal Teknik ITS*, 7(1).
- Hantoro, R. *et al.* (2018) ‘Innovation in Vertical Axis Hydrokinetic Turbine - Straight Blade Cascaded (VAHT-SBC) design and testing for low current speed power generation’, *Journal of Physics: Conference Series*, 1022(1).
- Hardiatama, I. and Trifiananto, M. (2018) ‘Pengaruh Penambahan Diffuser terhadap Performa 3D Print Turbin Hidrokinetik Helical Savonius (Twist Angle 45o)’, *Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), p. 75. d
- Khalid, S. S. *et al.* (2013) ‘Difference between fixed and variable pitch vertical axis tidal turbine-using CFD analysis in CFX’, *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, 5(1), pp. 319–325.
- 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. Faculty of Engineering and Applied Science Memorial, University of Newfoundland, St. John's, NL. A1B3X5, Kanada. 12 Juli 2018.
- Khan, M. J., Iqbal, M. T., Quaicoe, J. E. 2006. “Design Considerations of A Straight Bladed Darrieus Rotor for River Current Turbines”. IEEE ISIE 2006. Faculty of Engineering and Applied Science Memorial, University of Newfoundland, St. John's, NL. A1B3X5, Kanada. 4 September 2018.
- Kirke, B. K., Lazauskas, L. 2011. “Limitations of Fixed Pitch Darrieus Hydrokinetic Turbines and The Challenge of Variable Pitch”. Renewable Energy. Sustainable Energy Centre, University of South Australia, Mawson Lakes, SA 5095, Australia. 4 September 2018.
- Lopez, O. *et al.* (2016) ‘Computational study of transient flow around Darrieus type cross flow water turbine’, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 8(1).

- Mohammed, M. H. 2012. "Performance Investigation of H-Rotor Darrieus Turbine with New Airfoil Shapes". Energy. Renewable Energy Lab. of Mechanical Power Engineering Dept., Faculty of Engineering, Mattaria, Helwan University, P.O. 11718, Cairo, Mesir. 12 Juli 2018.
- Sahim, K., Santoso, D. and Puspitasari, D. (2018) 'Investigations on the Effect of Radius Rotor in Combined Darrieus-Savonius Wind Turbine', *International Journal of Rotating Machinery*, 2018.
- Seno, widya, M. (2010) 'Rancang Bangun Turbin Arus Laut Sumbu Vertikal Straight Blade Cascade Untuk Mmengetahui Pengaruh Variasi Jumlah Blade Terhadap Efisiensi Turbin', pp. 1–3.
- Sheldahl, R. E., Klimas, P. C. and Feltz, L. V. (1980) 'Aerodynamic performance of a 5-metre-diameter Darrieus turbine with extruded aluminum NACA-0015 blades.', 4(5).
- Tjiu, W. *et al.* (2015) 'Darrieus vertical axis wind turbine for power generation I: Assessment of Darrieus VAWT configurations', *Renewable Energy*, 75, pp. 50–67.

