



TUGAS AKHIR - TF 181801

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KONFIGURASI POSISI *PASSIVE FLAP* TERHADAP KINERJA TURBIN HIDROKINETIK VERTIKAL

M IRFAN ALFARIZI
NRP. 0231184000084

Dosen Pembimbing:
Dr. Ridho Hantoro S.T., M.T.

Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri Dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022

Halaman ini sengaja dikosongkan



FINAL PROJECT - TF 181801

***EXPERIMENTAL STUDY OF PASSIVE FLAP POSITION
CONFIGURATION EFFECT ON THE VERTICAL
HYDROKINETIC TURBINE PERFORMANCE***

**M IRFAN ALFARIZI
NRP. 02311840000084**

Supervisors:
Dr. Ridho Hantoro S.T., M.T.

*Department Of Engineering Physics
Faculty of Industrial Technology and System Engineering
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya
2022*

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini.

Nama : Muhammad Irfan Alfarizi
NRP : 0231840000084
Departemen / Prodi : Teknik Fisika / S1 Teknik Fisika
Fakultas : Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)
Perguruan Tinggi : Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Dengan ini menyatakan bahwa Tugas Akhir dengan judul “**Studi Eksperimental Pengaruh Konfigurasi Posisi *Passive flap* Terhadap Kinerja Turbin Hidrokinetik Vertikal**” adalah benar karya saya sendiri dan bukan plagiat dari karya orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat plagiat pada Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan yang berlaku.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan sebenar-benarnya.

Surabaya, 6 Juli 2022

Yang membuat pernyataan,



Muhammad Irfan Alfarizi

NRP. 02311840000084

Halaman ini sengaja dikosongkan

**LEMBAR PENGESAHAN
TUGAS AKHIR**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KONFIGURASI POSISI
PASSIVE FLAP TERHADAP KINERJA TURBIN HIDROKINETIK
VERTIKAL**

Oleh:

Muhammad Irfan Alfarizi

NRP. 0231184000084

Surabaya,

Menyetujui,

Pembimbing



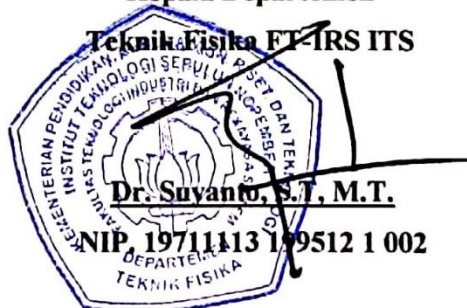
Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

NIP. 19761223 200501 1 001

Mengetahui,

Kepala Departemen

Teknik Fisika FT-IRS ITS



Dr. Suyanto, S.T., M.T.

NIP. 19711113 199512 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KONFIGURASI POSISI *PASSIVE FLAP* TERHADAP KINERJA TURBIN HIDROKINETIK VERTIKAL

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Program Studi S-1 Departemen Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Muhammad Irfan Alfarizi

NRP. 0231184000084

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:


1. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.


..... (Pembimbing)

2. Dr. Eng. Nur Laila Hamidah, S.T., M.Sc


..... (Ketua Penguji)

3. Gunawan Nugroho, S.T., M.T., Ph.D.


..... (Penguji I)

4. Lizda Johar Mawarani, S.T., M.T.


..... (Penguji II)

SURABAYA

2022

Halaman ini sengaja dikosongkan

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH KONFIGURASI POSISI *PASSIVE FLAP* TERHADAP KINERJA TURBIN HIDROKINETIK VERTIKAL

Nama : Muhammad Irfan Alfarizi
NRP : 0231184000084
Departemen : Teknik Fisika FTIRS - ITS
Dosen Pembimbing : Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T.

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh posisi konfigurasi *flap* terhadap kinerja turbin hidrokinetik vertikal. Penelitian ini dilakukan eksperimen dengan memodifikasi *hydrofoil* NACA 0018 dengan *movable flap*. Eksperimen ini dilakukan pada 3 variasi posisi konfigurasi *flap* yakni IN, OUT dan BOTH pada posisi 50%c. Turbin hidrokinetik tipe darrieus diuji pada *flume tank* dengan 3 variasi kecepatan yakni 0,17 m/s ; 0,21 m/s dan 0,29 m/s pada 2 sudut bukaan yakni 45° dan 90°. Data yang diambil berupa KECEPATAN SUDUT, torsi dan kecepatan aliran untuk perhitungan nilai TSR, koefisien torsi dan koefisien daya. Hasil dari eksperimen ini menunjukkan bahwa *flap* dengan sudut bukaan 90° memiliki kinerja yang lebih baik daripada *flap* dengan sudut bukaan 45°. Kemudian konfigurasi posisi IN memiliki nilai koefisien daya yang lebih besar daripada konfigurasi posisi OUT dan BOTH. Akan tetapi pada konfigurasi OUT nilai rata-rata koefisien daya dibawah *hydrofoil clean*. Dari eksperimen ini dapat ditemukan bahwa pemasangan *flap* IN dan *flap* BOTH pada turbin hidrokinetik vertikal tipe darrieus memiliki kinerja yang lebih baik daripada turbin tanpa *flap* karena mampu mencegah separasi aliran.

Kata kunci: *hydrofoil* NACA 0018, *movable flap*, turbin hidrokinetik vertikal

Halaman ini sengaja dikosongkan

***EXPERIMENTAL STUDY OF PASSIVE FLAP POSITION
CONFIGURATION EFFECT ON THE VERTIKAL
HYDROKINETIC TURBINE PERFORMANCE***

Name : Muhammad Irfan Alfarizi
NRP : 0231184000084
Department : Engineering Physics FTIRS - ITS
Supervisors : Dr. Ridho Hantoro, S.T, M.T

ABSTRACT

This research aims to determine the effect of the configuration flap's position on hydrokinetic turbine performance by modifying NACA 0018 Hydrofoil with a movable flap. The variation of the configuration flap's position is 50% of IN, OUT, and BOTH positions. The Hydrokinetic Darrieus type was tested on a flume tank with the variance of speed i.e., 0.17 m/s, 0.21 m/s, and 0.29 m/s at 45° and 90° opening angles. The angular velocity, torque, and velocity were taken to calculate the value of TSR, torque coefficient, and power coefficient. The experiment result shows that flaps with opening angles of 90° have better performance than flaps with opening angles of 45°. Then the IN position configuration has a higher power coefficient than the OUT and BOTH position configurations. From this experiment, it can be found that the IN flap and BOTH flap installation on the Darrieus type vertikal hydrokinetic turbine has better performance than the turbine without a flap because it is able to prevent flow separation.

Keywords: hydrofoil NACA 0018, movable flap, vertical axis hydrokinetic turbine

Halaman ini sengaja dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hikmatNya sehingga penulis diberikan kelancaran dan kesehatan dalam menyusun laporan tugas akhir yang berjudul: “Studi Eksperimental Pengaruh Konfigurasi Posisi *Passive flap* Terhadap Kinerja Turbin Hidrokinetik Vertikal”. Tugas akhir ini merupakan salah satu persyaratan akademik yang harus dipenuhi dalam Program Studi S1 Teknik Fisika FTIRS-ITS. Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tua penulis serta segenap keluarga besar penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan untuk penulis.
2. Dr. Ridho Hantoro, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir ini, yang selalu memberikan bimbingan dan semangat pada penulis.
3. Dr. Suyanto, S.T., M.T. selaku ketua Departemen Teknik Fisika - ITS.
4. Segenap Bapak/Ibu dosen pengajar di Departemen Teknik Fisika - ITS..
5. Seluruh teman-teman bimbingan Pak Ridho yang telah menemani selama pengerjaan tugas akhir khususnya Farhan, Farich, Dean dan Irfan serta Ahmad Wildan Mahmashani yang telah membantu dalam eksperimen.
6. Seluruh teman-teman angkatan, F53 yang telah menemani selama menempuh pendidikan di Teknik Fisika.
7. Asisten Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkodisian Lingkungan yang telah banyak membantu.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, terima kasih atas bantuannya.

Penulis menyadari bahwa mungkin masih ada kekurangan dalam laporan ini, sehingga kritik dan saran penulis terima. Penulis mohon maaf jika terdapat kesalahan dan kekurangan dalam laporan ini. Semoga dengan tersusunya laporan ini dapat menjadi bahan atau acuan untuk meningkatkan pengembangan teknologi khususnya dalam bidang turbin hidrokinetik.

Surabaya, 6 Juli 2022

Muhammad Irfan Alfarizi

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
COVER PAGE.....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI.....	v
LEMBAR PENGESAHAN	vii
LEMBAR PENGESAHAN	ix
ABSTRAK	xi
ABSTRACT.....	xiii
KATA PENGANTAR	xv
DAFTAR ISI.....	xvii
DAFTAR GAMBAR	xix
DAFTAR TABEL.....	xxiii
DAFTAR SIMBOL.....	xxv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan.....	2
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Sistematika Laporan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI.....	5
2.1 Turbin Hidrokinetik.....	5
2.2 <i>Hydrofoil</i>	10
2.3 <i>Flow Control Devices</i>	15
BAB III METODE PENELITIAN.....	17
3.1 Studi Literatur.....	17

3.2	Penentuan Geometri Turbin.....	18
3.3	Fabrikasi Turbin.....	19
3.4	Pengujian dan Pengambilan Data	20
3.5	Validasi	31
3.6	Analisis Data dan Pembahasan	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		33
4.1	Pengujian <i>Hydrofoil clean</i> (NACA 0018)	33
4.2	Pengujian Turbin pada Variasi Konfigurasi IN	39
4.3	Pengujian Turbin pada Variasi Konfigurasi OUT	48
4.4	Pengujian Turbin pada Variasi Konfigurasi BOTH.....	56
4.5	Diskusi	64
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		75
5.1	Kesimpulan	75
5.2	Saran	75
DAFTAR PUSTAKA.....		77
LAMPIRAN		81
BIODATA PENULIS.....		95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Klasifikasi Turbin Hidrokinetik (Khan dkk., 2009).....	5
Gambar 2.2	Turbin Hidrokinetik Horizontal (Khan dkk., 2009).....	5
Gambar 2.3	Turbin Hidrokinetik Vertikal (Khan dkk., 2009).....	6
Gambar 2.4	Konsep Turbin Darrieus (Mohamed dkk., 2020).....	6
Gambar 2.5	Geometri Airfoil (Havaldar dkk., 2015).....	10
Gambar 2.6	Bentuk Geometri NACA 0018 (Gerakopulos dkk., 2010)..	10
Gambar 2.7	Gaya-Gaya dari Fluida di Sekeliling Hydrofoil (a) Gaya Tekanan ; (b) Gaya Viskos ; (c) Gaya Resultan (lift dan drag) (Munson dkk., 2003).....	11
Gambar 2.8	Dinamika Fluida di Sekitar Hydrofoil (HANNA, 2003)....	12
Gambar 2.9	Partikel Fluida ketika Mengalir di dalam Boundary layer (Munson dkk., 2003).....	13
Gambar 2.10	Separasi Aliran (Knez, 2005).....	14
Gambar 2.11	Aliran Melewati Sebuah Hydrofoil (a) angle of attack 0° ; (b) angle of attack 5° (Munson dkk.,2003).....	14
Gambar 2.12	Movable flap (Hao dkk., 2021).....	15
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian.....	17
Gambar 3.2	Desain Turbin.....	18
Gambar 3.3	Hasil 3D Print Turbin (a) Base Foil; (b) Base Foil Tampak Samping ; (c) Flap Tampak Samping; (d) Mekanisme Bukaan; (e) Arm.....	19
Gambar 3.4	Hasil Post Processing Turbin (a) Base Foil ; (b) Flap.....	19
Gambar 3.5	Instalasi Turbin.....	20
Gambar 3.6	Variasi Konfigurasi Posisi Flap IN (a) Tampak Atas Turbin (b) Flap IN dengan Sudut Bukaan 45° & 90°	21
Gambar 3.7	Variasi Konfigurasi Posisi Flap OUT (a) Tampak Atas Turbin (b) Flap OUT dengan Sudut Bukaan 45° & 90°	21
Gambar 3.8	Variasi Konfigurasi Posisi Flap BOTH (a) Tampak Atas Turbin (b) Flap BOTH dengan Sudut Bukaan 45° & 90° ...	21
Gambar 3.9	Komponen Pengujian (a) Flume Tank ; (b) Motor Propeller	23

Gambar 3.10	Sensor yang Digunakan dalam Penelitian (a) Load cell; (b) Proximity.....	23
Gambar 3.11	Mounting Atas Turbin.....	24
Gambar 3.12	Mounting Bawah (a) Bearing dengan akrilik; (b) Akrilik dengan magnet; (c) Mounting bawah Tampak Samping....	24
Gambar 3.13	Komponen Pembebanan dan Alat Ukur (a) Beban dengan Berat 10 gram ; (b) Beban dengan berat 50 gram ; (c) Current Meter.....	25
Gambar 3.14	Pulley dengan Alumunium Tape (a) Tampak Atas ; (b) Tampak Samping.....	26
Gambar 3.15	Instalasi Sensor Proximity pada Pulley.....	26
Gambar 3.16	Instalasi Sensor Load cell pada Pulley dengan Tali.....	27
Gambar 3.17	Skema Pengambilan Data Torsi.....	27
Gambar 3.18	Lokasi Motor Propeller untuk Kecepatan Inlet.....	28
Gambar 3.19	Hasil Pengambilan Data Kecepatan Inlet dengan Aliran Counter Clockwise.....	29
Gambar 3.20	Hasil Pengambilan Data Kecepatan Inlet dengan Aliran Clockwise.....	29
Gambar 4.1	Gaya pada Hydrofoil (Drag dan Lift, 2014).....	34
Gambar 4.2	Perilaku Aliran terhadap Permukaan Hydrofoil pada angle of attack tertentu.....	34
Gambar 4.3	Pressure Gradient (Cengel dan Cimbala, 2006).....	35
Gambar 4.4	Nilai Torsi terhadap Kecepatan Sudut pada Hydrofoil clean (NACA 0018).....	36
Gambar 4.5	Nilai C_p terhadap TSR pada Hydrofoil clean (NACA 0018).....	37
Gambar 4.6	Variasi Konfigurasi IN ketika Pengambilan Data pada (a) Sudut Bukaan 45° ; (b) Sudut Bukaan 90°	39
Gambar 4.7	Perilaku Flap pada Variasi Konfigurasi IN.....	40
Gambar 4.8	Ilustrasi Flap IN pada Sudut Azimuth 0° sampai 90°	40

Gambar 4.9	Nilai Torsi terhadap Kecepatan Sudut pada Variasi Konfigurasi IN dengan Sudut Buka 45°	42
Gambar 4.10	Nilai Cp terhadap TSR pada Konfigurasi IN dengan Sudut Buka 45°	43
Gambar 4.11	Nilai Torsi terhadap Kecepatan Sudut pada Variasi Konfigurasi IN dengan Sudut Buka 90°	45
Gambar 4.12	Nilai Cp terhadap TSR pada Konfigurasi IN dengan Sudut Buka 90°	47
Gambar 4.13	Variasi Konfigurasi OUT ketika Pengambilan Data pada (a) Aliran Upstream ; (b) Aliran Downstream.....	49
Gambar 4.14	Perilaku Flap pada Variasi Konfigurasi OUT.....	49
Gambar 4.15	Nilai Torsi terhadap Kecepatan Sudut pada Variasi Konfigurasi OUT dengan Sudut Buka 45°	51
Gambar 4.16	Nilai Cp terhadap TSR pada Konfigurasi OUT dengan Sudut Buka 45°	52
Gambar 4.17	Nilai Torsi terhadap Kecepatan Sudut pada Variasi Konfigurasi OUT dengan Sudut Buka 90°	54
Gambar 4.18	Nilai Cp terhadap TSR pada Konfigurasi OUT dengan Sudut Buka 90°	55
Gambar 4.19	Variasi Konfigurasi BOTH ketika Pengambilan Data pada (a) Aliran Upstream ; (b) Aliran Downstream.....	57
Gambar 4.20	Perilaku Flap pada Variasi Konfigurasi BOTH.....	57
Gambar 4.21	Nilai Torsi terhadap Kecepatan Sudut pada Variasi Konfigurasi BOTH dengan Sudut Buka 45°	59
Gambar 4.22	Nilai Cp terhadap TSR pada Konfigurasi BOTH dengan Sudut Buka 45°	60
Gambar 4.23	Nilai Torsi terhadap Kecepatan Sudut pada Variasi Konfigurasi BOTH dengan Sudut Buka 90°	63
Gambar 4.24	Nilai Cp terhadap TSR pada Konfigurasi BOTH dengan Sudut Buka 90°	64

Gambar 4.25	Komparasi Konfigurasi Posisi pada Sudut Bukaannya 45° dengan Re 8500.....	66
Gambar 4.26	Komparasi Konfigurasi Posisi pada Sudut Bukaannya 45° dengan Re 10500.....	66
Gambar 4.27	Komparasi Konfigurasi Posisi pada Sudut Bukaannya 45° dengan Re 14500.....	67
Gambar 4.28	Komparasi Konfigurasi Posisi pada Sudut Bukaannya 90° dengan Re 8500.....	68
Gambar 4.29	Komparasi Konfigurasi Posisi pada Sudut Bukaannya 90° dengan Re 10500.....	68
Gambar 4.30	Komparasi Konfigurasi Posisi pada Sudut Bukaannya 90° dengan Re 14500.....	69
Gambar 4.31	Perbedaan Tekanan Flap IN pada Azimuth 0° – 90° (a) Kondisi awal sebelum adverse Pressure Gradient ; (b) Kondisi ketika adverse Pressure Gradient ; (c) Kondisi ketika flap mulai terbuka.....	70
Gambar 4.32	Perilaku Flap pada Azimuth 0° (a) Konfigurasi IN ; (b) Konfigurasi OUT ; (c) Konfigurasi BOTH.....	71
Gambar 4.33	Perilaku Flap pada Azimuth 45° (a) Konfigurasi IN ; (b) Konfigurasi OUT ; (c) Konfigurasi BOTH.....	71
Gambar 4.34	Perilaku Flap pada Azimuth 90° (a) Konfigurasi IN ; (b) Konfigurasi OUT ; (c) Konfigurasi BOTH.....	72
Gambar 4.35	Komparasi Sudut Bukaannya pada Variasi Konfigurasi IN dengan Re 8500.....	73
Gambar 4.36	Komparasi Sudut Bukaannya pada Variasi Konfigurasi IN dengan Re 10500.....	73
Gambar 4.37	Komparasi Sudut Bukaannya pada Variasi Konfigurasi IN dengan Re 14500.....	74

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi Turbin.....	18
Tabel 3.2	Matriks Variasi.....	22
Tabel 4.1	Nilai Kecepatan sudut dan Torsi terhadap Beban pada Hydrofoil clean.....	35
Tabel 4.2	Hasil Perhitungan TSR, C_t dan C_p pada Hydrofoil clean (NACA 0018).....	37
Tabel 4.3	Data Kedalaman dan Kecepatan Turbin pada Titik (+)1d dan (-)1d dengan Hydrofoil clean NACA 0018.....	38
Tabel 4.4	Nilai Kecepatan Sudut dan Torsi terhadap Beban pada Konfigurasi IN 45°	41
Tabel 4.5	Hasil Perhitungan TSR, C_t dan C_p pada Konfigurasi IN Sudut Bukan 45°	43
Tabel 4.6	Data Kedalaman dan Kecepatan Turbin pada Titik (+)1d dan (-)1d dengan Varisi Konfigurasi IN Sudut Bukan 45°	44
Tabel 4.7	Nilai Kecepatan Sudut dan Torsi terhadap Beban pada Konfigurasi IN 90°	45
Tabel 4.8	Hasil Perhitungan TSR, C_t dan C_p pada Konfigurasi IN Sudut Bukan 90°	46
Tabel 4.9	Data Kedalaman dan Kecepatan Turbin pada Titik (+)1d dan (-)1d dengan Varisi Konfigurasi IN Sudut Bukan 90°	48
Tabel 4.10	Nilai Kecepatan Sudut dan Torsi terhadap Beban pada Konfigurasi OUT 45°	50
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan TSR, C_t dan C_p pada Konfigurasi OUT Sudut Bukan 45°	51
Tabel 4.12	Data Kedalaman dan Kecepatan Turbin pada Titik (+)1d dan (-)1d dengan Varisi Konfigurasi OUT Sudut Bukan 45°	53
Tabel 4.13	Nilai Kecepatan Sudut dan Torsi terhadap Beban pada Konfigurasi OUT 90°	53
Tabel 4.14	Hasil Perhitungan TSR, C_t dan C_p pada Konfigurasi OUT Sudut Bukan 90°	55

Tabel 4.15	Data Kedalaman dan Kecepatan Turbin pada Titik (+)1d dan (-)1d dengan Varisi Konfigurasi OUT Sudut Bukaan 90°.....	56
Tabel 4.16	Nilai Kecepatan Sudut dan Torsi terhadap Beban pada Konfigurasi BOTH 45°.....	58
Tabel 4.17	Hasil Perhitungan TSR, C_t dan C_p pada Konfigurasi BOTH Sudut Bukaan 45°.....	60
Tabel 4.18	Data Kedalaman dan Kecepatan Turbin pada Titik (+)1d dan (-)1d dengan Varisi Konfigurasi BOTH Sudut Bukaan 45°.....	61
Tabel 4.19	Nilai Kecepatan Sudut dan Torsi terhadap Beban pada Konfigurasi BOTH 90°.....	62
Tabel 4.20	Hasil Perhitungan TSR C_p & C_t pada Konfigurasi BOTH Sudut Bukaan 90°.....	63
Tabel 4.21	Data Kedalaman dan Kecepatan Turbin pada Titik (+)1d dan (-)1d dengan Varisi Konfigurasi BOTH Sudut Bukaan 90°.....	65

DAFTAR SIMBOL

A	: Luas sapuan turbin (m^2)
AR	: <i>Aspect ratio</i>
A_c	: Luas <i>cross-sectional</i> saluran air (m^2)
A_p	: Luas <i>planform</i> (m^2)
B	: <i>Blockage ratio</i>
b	: Panjang <i>span</i> (m)
C_p	: Koefisien daya
C_T	: Koefisien torsi
c	: Panjang <i>chord</i> (m)
F	: Gaya yang bekerja (N)
F_T	: Gaya tangensial (N)
I	: Momen Inersia (kgm^2)
n	: Jumlah <i>aluminium tape</i> yang diindera
P	: Daya (Watt)
R	: Jari-jari turbin (m)
RPM	: <i>Rotation per minute</i>
R_p	: Jari-jari <i>pulley</i> (m)
Re_x	: <i>Reynold Number</i> Aliran Eksternal
TSR	: <i>Tip speed ratio</i>
t	: Waktu pengambilan data (s)
U_∞	: Kecepatan disekitar <i>boundary layer</i> (m/s)
V	: Kecepatan aliran (m/s)
x	: Jarak dari titik awal benda (m)
α	: Percepatan sudut (rad/s)
θ	: Sudut gaya terhadap horizontal ($^\circ$)
μ	: Viskositas dinamik (kg/ms)
ρ	: Massa jenis aliran (kg/m^3)
τ	: Torsi (Nm)
ω	: Kecepatan sudut (rad/s)

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi hidrokinetik merupakan salah satu energi terbarukan yang memanfaatkan arus air sebagai penggerakannya. Pilihan terbaik untuk memanfaatkan energi hidrokinetik adalah dengan menggunakan turbin hidrokinetik (Hantoro dan Septyaningrum, 2018). Turbin hidrokinetik memiliki dua sumbu putar yakni horizontal dan vertikal. Kedua jenis turbin tersebut memiliki karakteristiknya masing-masing. Turbin hidrokinetik sumbu vertikal lebih cocok digunakan karena dapat menghasilkan daya pada kecepatan yang rendah, kemudian mudah beradaptasi dengan perubahan arah arus (bersifat *omni-directional*) dan bersifat mudah dirawat (Hantoro dan Septyaningrum, 2018). Namun turbin hidrokinetik vertikal juga memiliki kekurangan yakni terdapat fenomena *dynamic stall* (Zhu dkk., 2019a). Salah satu tipe dari turbin hidrokinetik vertikal ialah turbin darrieus *straight blade* yang banyak digunakan untuk konversi energi *kinetic* air (Du dkk., 2019).

Turbin darrieus jenis *straight blade* telah digunakan untuk beberapa penelitian yang mengembangkan penggunaan *flow control devices* untuk meningkatkan kinerja dari turbin. Penelitian dengan menggunakan *flow control devices* diantaranya adalah pemasangan *flap gurney* pada turbin yang dapat meningkatkan kinerja turbin dalam kisaran TSR tertentu (Zhu dkk., 2019b). Menurut (Bianchini dkk., 2019) konfigurasi pemasangan *flap gurney* yakni 2% dari chordline yang dipasang di sisi dalam foil kemudian ditemukan juga bahwa ketika ketinggian *flap gurney* meningkat, tekanan akan meningkat di bagian atas *flap* (kompresi lebih tinggi) dan menurun di bagian bawah *flap* (hisap lebih tinggi) (Graham dkk., 2018).

Selain *flap gurney* ditemukan juga bahwa turbin yang didesain dengan menambahkan slat dapat meningkatkan koefisien performansi sebesar 43% jika dibandingkan dengan turbin tanpa penambahan slat (Chougule dkk., 2015). Penelitian juga dilakukan oleh (Hao dan Li, 2020) dengan simulasi CFD, Hasil simulasi menunjukkan bahwa penambahan *flap* pada turbin dapat meningkatkan

koefisien daya VAWT pada TSR 0,6 dan 1,2 untuk memperlambat *flow* separasi (Hao dkk., 2019). Kemudian penggunaan *movable flap* pada *trailing edge* juga diteliti dan didapatkan temuan bahwa *movable flap* dapat meningkatkan koefisien *lift* dan pada posisi *movable flap* 50% terhadap chordline memiliki pengaruh terbesar (Liu dkk., 2019).

Berdasarkan penelitian sebelumnya, pemasangan *flow control devices* dapat meningkatkan kinerja dari turbin. Namun, pada penelitian sebelumnya cenderung dilakukan pada aliran udara dan hanya beberapa yang dilakukan dengan kondisi di dalam aliran air. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengetahui posisi konfigurasi dan sudut bukaan *flap* yang mampu meningkatkan kinerja turbin hidrokinetik vertikal tipe darrieus *straight blade*. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *hydrofoil* NACA 0018 yang merupakan *hydrofoil* terbaik untuk seri NACA dan umumnya digunakan untuk turbin Darrieus (Hantoro dkk., 2018).

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini ialah sebagai berikut :

- a) Bagaimana pengaruh posisi konfigurasi *flap* terhadap kinerja turbin hidrokinetik vertikal?
- b) Bagaimana pengaruh posisi konfigurasi *flap* terhadap karakteristik aliran fluida pada turbin hidrokinetik?

1.3 Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah sebelumnya, maka didapatkan tujuan penelitian yakni sebagai berikut :

- a) Mengetahui pengaruh posisi konfigurasi *flap* terhadap kinerja turbin hidrokinetik vertikal
- b) Mengetahui pengaruh posisi konfigurasi *flap* terhadap karakteristik aliran fluida pada turbin hidrokinetik vertical

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah yang digunakan yakni sebagai berikut :

- a) Turbin yang digunakan dalam penelitian ini adalah turbin hidrokinetik vertikal tipe darrieus *straight blade*.
- b) Penelitian dilakukan secara eksperimental pada aliran buatan di *flume tank* dengan dimensi *section test* sebesar 35 x 60 cm (lebar x tinggi).
- c) Jenis foil yang digunakan ialah NACA 0018.
- d) Penelitian ini menggunakan turbin dengan *aspect ratio* turbin sebesar 1:1 dan *blockage ratio* sebesar 0,44 yang diaplikasikan pada aliran dengan kedalaman sebesar 40 cm.
- e) Variasi yang digunakan ialah konfigurasi posisi *flap* terhadap poros turbin yaitu *in* (sisi dalam turbin), *out* (sisi luar turbin), dan *both* (kedua sisi turbin).
- f) Karakteristik aliran yang dibahas pada penelitian ini adalah fenomena yang terjadi ketika aliran melewati permukaan *hydrofoil* dengan *flap*.
- g) Kecepatan arus pada *flume tank* yang digunakan yakni 0,17 m/s ; 0,21 m/s ; 0,29 m/s.

1.5 Sistematika Laporan

Laporan Tugas Akhir disusun secara sistematis dalam 5 bab dengan rincian sebagai berikut. Bab I Pendahuluan, bab ini menjelaskan latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah dan sistematika laporan penelitian. Kemudian pada Bab II Tinjauan Pustaka dan Dasar Teori membahas mengenai teori pendukung untuk menyelesaikan penelitian ini. Pada Bab III Metodologi Penelitian berisikan tahapan dalam menyelesaikan penelitian dari mulai pengambilan data sampai analisis data yang telah diperoleh. Selanjutnya pada Bab IV Hasil dan Pembahasan berisikan terkait analisis dari data yang didapatkan kemudian dilakukan pembahasan sesuai dengan tujuan penelitian. Bagian terakhir yakni Bab 5 Kesimpulan dan Saran berisikan kesimpulan dari seluruh penelitian yang telah dilakukan dan terdapat saran untuk penelitian selanjutnya.

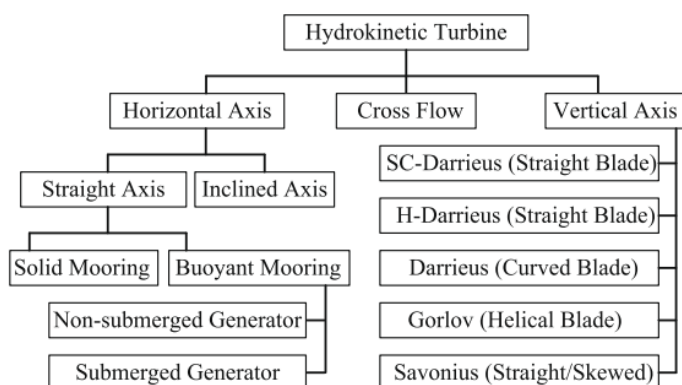
Halaman sengaja dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

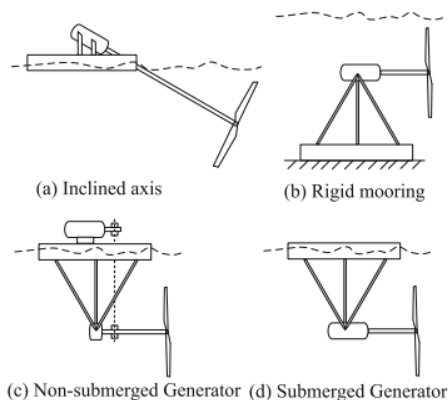
2.1 Turbin Hidrokinetik

Turbin hidrokinetik merupakan teknologi untuk mengkonversi energi kinetik pada arus sungai atau arus laut untuk menjadi energi mekanik putaran. Turbin hidrokinetik memiliki konsep dan desain yang sama dengan turbin angin. Berdasarkan sumbu putarnya, turbin hidrokinetik dibagi menjadi 3 jenis yaitu horizontal aksis, vertikal aksis, dan turbin *crossflow*. **Gambar 2.1** merupakan klasifikasi turbin hidrokinetik (Khan dkk., 2009).

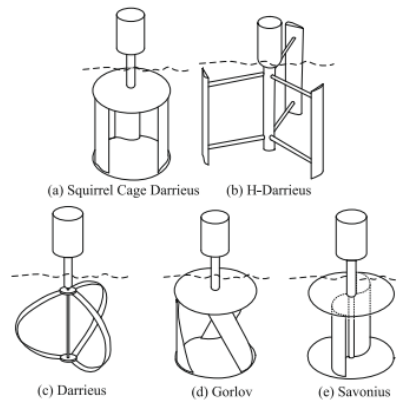


Gambar 2.1 Klasifikasi Turbin Hidrokinetik (Khan dkk., 2009)

Dari ketiga jenis turbin tersebut, umumnya yang digunakan yakni turbin hidrokinetik horizontal dan turbin hidrokinetik vertikal. **Gambar 2.2** dan **Gambar 2.3** merupakan contoh dari turbin hidrokinetik horizontal dan turbin hidrokinetik vertikal.



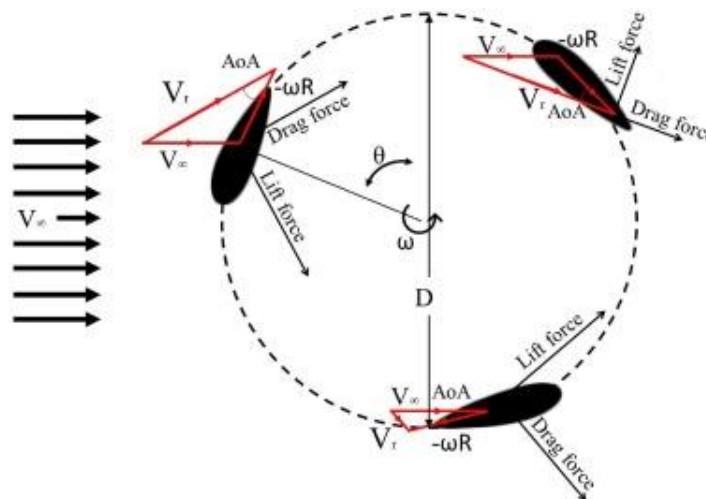
Gambar 2.2 Turbin Hidrokinetik Horizontal (Khan dkk., 2009)



Gambar 2.3 Turbin Hidrokinetik Vertikal (Khan dkk., 2009)

Turbin jenis turbin hidrokinetik vertikal ini cenderung dipilih karena memiliki beberapa kelebihan yakni, mampu menerima aliran dari segala arah, maintenance yang mudah dan dapat beroperasi pada kecepatan aliran yang rendah. Namun, turbin turbin hidrokinetik vertikal ini juga memiliki kekurangan yakni kemampuan self-starting yang buruk dan memiliki fenomena *dynamic stall* (Du dkk., 2019).

Turbin sumbu vertikal yang umum diketahui yakni turbin darrieus *straight blade*. Turbin darrieus *straight blade* dikenal dengan efisiensi yang tinggi jika dibandingkan dengan turbin sumbu vertikal tipe lain. Akan tetapi turbin darrieus ini memiliki kemampuan self-starting yang rendah dibandingkan dengan turbin vertikal lainnya (Du dkk., 2019). Turbin darrieus *straight blade* terdiri atas bilah vertikal yang terhubung dengan shaft.



Gambar 2.4 Konsep Turbin Darrieus (Mohamed dkk., 2020)

Turbin darrieus dapat berputar karena *hydrofoil* bergerak dalam lintasan rotasi seperti pada **Gambar 2.4**. Putaran dari tiap sudut azimuth (posisi orbital *hydrofoil*) pada *hydrofoil* memiliki kecepatan relative yang berbeda. Umumnya, kecepatan relative datang dari arah berlawanan dengan kecepatan aliran. *Hydrofoil* dapat bergerak sesuai dengan resultan gaya yang dihasilkan dari *hydrofoil* yakni gaya *lift* dan *drag*. Gaya *lift* dan *drag* akan berubah setiap perubahan *angle of attack*.

Adapun beberapa parameter untuk mengevaluasi turbin hidrokinetik pada penelitian ini. Berikut merupakan beberapa variable yang digunakan.

a. Aspek rasio

Aspek rasio adalah komparasi tinggi turbin (span) dan diameter luar turbin. Pengaruh aspek rasio dalam performa turbin dapat meningkatkan koefisien daya (Kurniawan dkk., 2018). Jika dalam skala *hydrofoil* maka dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\text{Aspek Rasio} = \frac{\text{Span (m)}}{\text{Chord (m)}} \quad (2.1)$$

b. Kecepatan sudut (ω)

Kecepatan sudut ialah banyaknya putaran turbin dalam satuan waktu tertentu dengan satuan rad/s atau RPM (*revolution per minute*).

$$\omega = \frac{60 \cdot \text{RPM}}{2\pi} \quad (2.2)$$

Dengan,

ω : kecepatan sudut (rad/s)

RPM : *revolution per minute*

c. *Tip speed ratio* (TSR)

TSR ialah perbandingan antara kecepatan tangensial *foil* turbin dengan kecepatan arus air. Nilai TSR menyatakan seberapa cepat turbin berputar terhadap kecepatan arus tertentu. Secara matematis TSR dinyatakan dalam persamaan berikut (Roy dan Saha, 2015).

$$\text{TSR} = \frac{R\omega}{V} \quad (2.3)$$

Dengan,

TSR : tip speed ratio

R : jari-jari turbin (m)

V : kecepatan arus air (m/s)

d. *Blockage ratio*

Blockage Effect merupakan efek pada dinding dan dasar kanal terhadap pergerakan aliran karena terjadi gaya perlawanan pada benda yang berputar. Timbulnya gaya perlawanan akibat dinding tersebut dipengaruhi oleh *Blockage ratio*. Berikut merupakan persamaan dari *Blockage ratio* (Goude dan Ågren, 2014).

$$\varepsilon = \frac{A_t}{A_c} \quad (2.4)$$

Dengan,

A_t : Luas Sapuan Turbin

A_c : Luas Permukaan Kanal

e. Reynold number

Bilangan Reynold menyatakan perbandingan dari efek inersia terhadap efek viskos. Sifat alamiah dari aliran yang melewati sebuah benda sangat tergantung apakah $Re \gg 1$ atau $Re \ll 1$. Berikut merupakan persamaan dari Reynold Number (Munson dkk., 2003).

$$Re = \frac{Uc}{\nu} \quad (2.5)$$

Dengan,

U : Kecepatan inlet (m/s)

c : Chord (m)

ν : Viskositas Kinematik (10^{-6} kg/ms)

f. Koefisien torsi

Koefisien torsi ($C\tau$) adalah koefisien yang menyatakan besarnya torsi suatu turbin terhadap kecepatan arus tertentu. Sedangkan torsi adalah momen gaya yang membuat benda berputar pada suatu sumbu. $C\tau$ juga merupakan variabel yang comparable untuk membandingkan besarnya torsi

satu turbin dengan turbin yang lain. Secara matematis C_T dinyatakan oleh persamaan berikut (Roy dan Saha, 2015).

$$\tau = R \times F \quad (2.6)$$

Dengan,

R : jari-jari *pulley* (m)

F : gaya pada *pulley* ketika turbin berputar (N)

$$C_T = \frac{\tau}{\frac{1}{2}\rho AV^2 R} \quad (2.7)$$

Dengan,

C_T : *coefficient of torque*

τ : torsi turbin (Nm)

ρ : densitas dari air (kg/m^3)

A : area sapuan turbin (m^2)

V : kecepatan arus air (m/s)

R : jari-jari turbin (m)

g. Koefisien daya

Performansi menyatakan rasio daya mekanik (daya output turbin) yang dapat dihasilkan terhadap daya input arus air tertentu. Semakin besar performansi, maka semakin besar daya yang dapat dihasilkan oleh turbin tersebut. Performansi dari turbin hidrokinetik biasa dinyatakan dengan *coefficient of power* (C_p).

$$C_p = \frac{P}{P_{available}} = \frac{\tau\omega}{0,5 \rho AV^3} = \frac{\tau}{0,5 \rho AV^2 R} \cdot \frac{R\omega}{V} \quad (2.8)$$

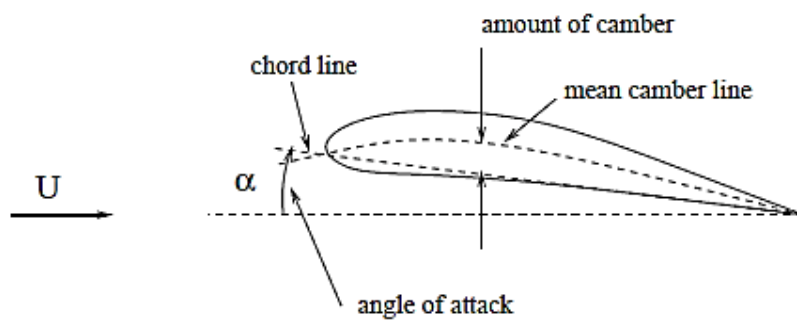
Dengan,

P : daya mekanik turbin (watt)

$P_{available}$: daya arus air (watt)

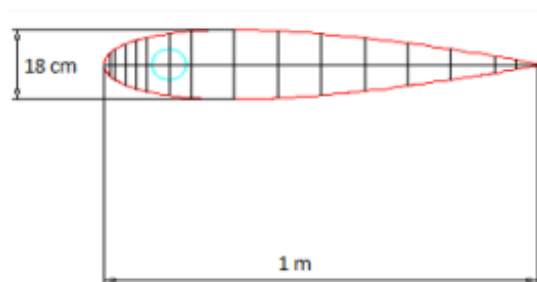
2.2 Hydrofoil

Hydrofoil adalah salah satu bentuk bodi hidrodinamika sederhana yang berguna untuk dapat memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi lainnya. Geometri *hydrofoil* memiliki pengaruh besar terhadap karakteristik hidrodinamika dengan parameter penting berupa C_l (koefisien *lift*) (Lopulalan, 2016). *Hydrofoil* dibagi menjadi 2 macam yakni *symmetric hydrofoil* dan *asymmetric hydrofoil*. Profil *hydrofoil* asimetris memberi keuntungan dengan pembangkitan C_l yang lebih tinggi dibanding airfoil simetris (Nur Fridayana dkk., 2018).



Gambar 2.5 Geometri Airfoil (Havaldar dkk., 2015)

National Advisory Committee for Aeronatika (NACA) ialah Lembaga bidang aeronatika yang menangani profil *foil*. Dalam system NACA, profil *foil* terdapat empat digit. Setiap digit memiliki makna tersendiri seperti pada **Gambar 2.5**, digit pertama menunjukkan besar maksimum *camber* sebagai persentase dari panjang *chord*. Kemudian digit kedua menunjukkan jarak maksimum *camber* terhadap panjang *chord* dari *leading edge* dan dua digit terakhir menunjukkan besar maksimum ketebalan *foil*. Sebagai contoh yakni NACA 0018, dimana dua digit 00 menyatakan bahwa foil ini tidak memiliki *camber* dan 18 menyatakan besarnya persentase ketebalan dari panjang *chord*.

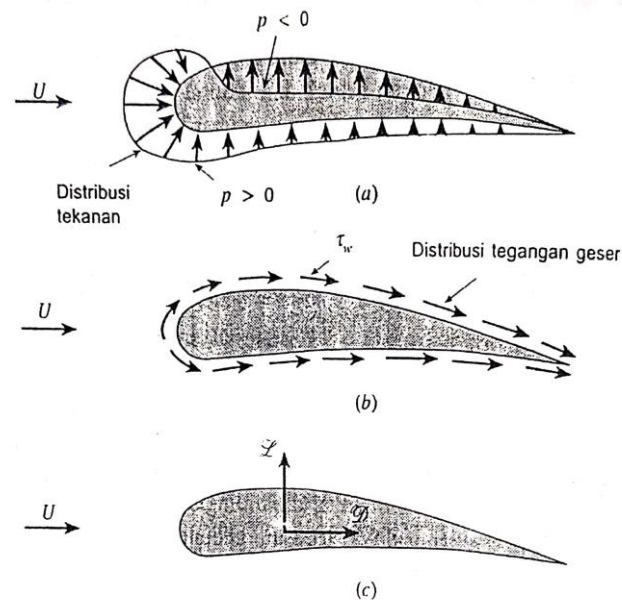


Gambar 2.6 Bentuk Geometri NACA 0018 (Gerakopulos dkk., 2010)

NACA 0018 merupakan NACA dengan *symmetric profile* seperti pada **Gambar 2.6**. NACA 0018 memiliki kemampuan untuk menahan bending. Namun, NACA 0018 juga memiliki kekurangan yakni ketika berada pada *angle of attack* 0 deg maka akan mendapatkan koefisien *lift* sebesar 0 karena bentuk profilnya *symmetric*. Berbeda dengan profil NACA *symmetric*, NACA *asymmetric* meskipun berada pada *angle of attack* 0 deg tetap mempunyai koefisien *lift*. Hal tersebut dikarenakan surface bagian atas dan bagian bawah *hydrofoil* berbeda dan akan menyebabkan perbedaan tekanan yang berbeda pula.

2.2.1 Gaya yang Terjadi pada *Hydrofoil*

Ketika sebuah benda bergerak melalui sebuah fluida maka akan terjadi interaksi antara benda dengan fluida. Efek tersebut digambarkan dalam bentuk gaya sebagai berikut.



Gambar 2.7 Gaya-Gaya dari Fluida di Sekeliling *Hydrofoil* (a) Gaya Tekanan ; (b) Gaya Viskos ; (c) Gaya Resultan (*lift* dan *drag*) (Munson dkk., 2003)

Gaya-gaya yang diperlukan seringkali hanya efek resultan secara keseluruhan. **Gambar 2.7** menunjukkan gaya gaya yang ada pada *hydrofoil*, gaya resultan dalam arah yang sama dengan kecepatan aliran (U) disebut sebagai *drag* (gaya seret) dan gaya resultan yang tegak lurus terhadap arah kecepatan aliran

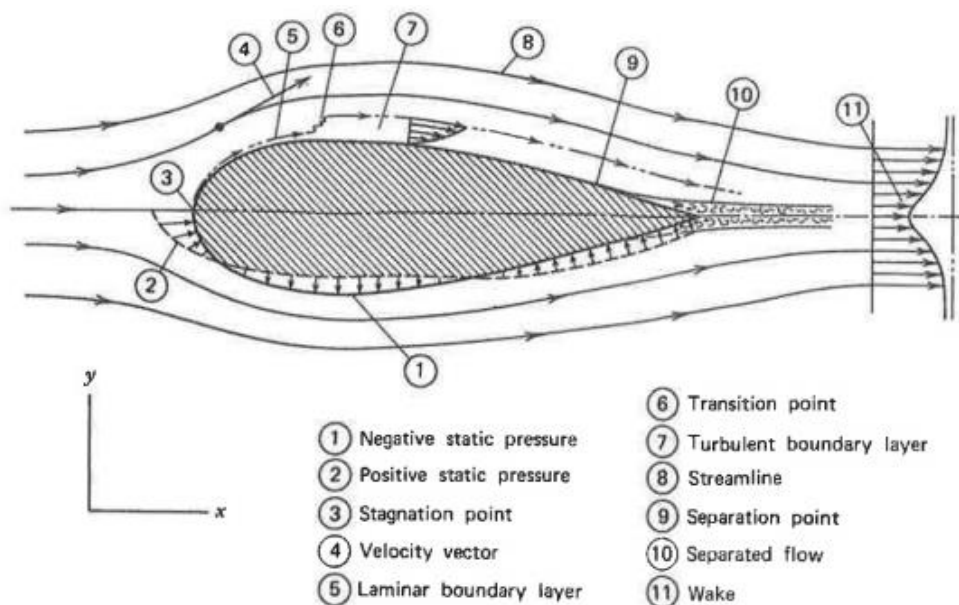
disebut sebagai *lift* (gaya angkat). *Lift* dan *drag* pada suatu bagian benda tergantung pada orientasi dari permukaan.

Gaya *drag* dihasilkan oleh efek tegangan geser dan tekanan. Jika permukaan sejajar dengan kecepatan aliran, seluruh gaya geser berkontribusi langsung terhadap gaya *drag*. Jika permukaan tegak lurus terhadap kecepatan aliran, tegangan geser tidak memberikan kontribusi pada gaya *drag*. Kemudian tekanan pada kedua sisi benda sejajar dengan aliran mungkin saja sangat besar, tetapi gaya tersebut tidak berkontribusi pada *drag* karena gaya tersebut bekerja pada arah tegak lurus terhadap kecepatan aliran. Sebaliknya, tekanan pada benda yang tegak lurus aliran menyebabkan keseluruhan gaya *drag*.

Gaya *lift* (angkat) merupakan gaya normal terhadap aliran bebas. Umumnya gaya *lift* berasal dari tekanan bukan dari gaya viskos. Suatu alat yang didesain untuk menghasilkan gaya *lift* dapat bekerja dengan menghasilkan suatu distribusi tekanan yang berbeda antara permukaan bagian atas dan bagian bawah (Munson dkk., 2003).

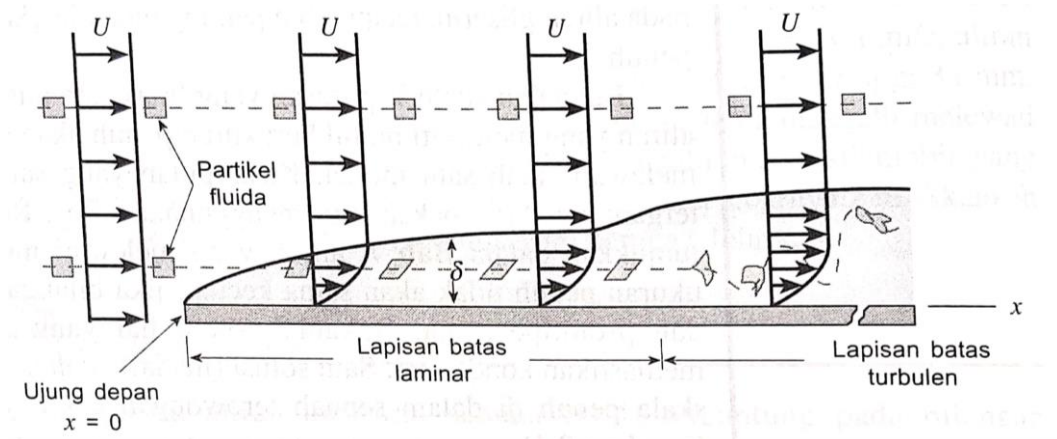
2.2.2 Fenomena pada *Hydrofoil*

Fenomena yang terjadi dalam *hydrofoil* disebabkan karena terdapat dinamika fluida dari *hydrofoil*. Berikut merupakan dinamika fluida di sekitar *hydrofoil*.



Gambar 2.8 Dinamika Fluida di Sekitar *Hydrofoil* (HANNA, 2003)

Gambar 2.8 menunjukkan beberapa fenomena yang terjadi pada *hydrofoil*, untuk poin 1 dan 2 yakni *negative* dan *positive static pressure* merupakan arah dari tekanan terhadap *hydrofoil*. Kemudian stagnation point merupakan titik dimana kecepatan aliran tidak memiliki nilai atau nol. Kecepatan aliran bebas yakni kecepatan pada tepi lapisan batas dan laminar *boundary layer* merupakan *boundary layer* yang menghasilkan gaya hambat akibat gaya gesek yang lebih rendah dibanding turbulen sedangkan turbulen *boundary layer* akan terbentuk setelah aliran yang mulanya laminar mencapai jarak tertentu. Selanjutnya, separasi ialah pelepasan *boundary layer* dari permukaan yang mana akan terjadi ketika momentum aliran fluida tidak dapat melawan kenaikan tekanan dan gesekan dengan permukaan (HANNA, 2003).

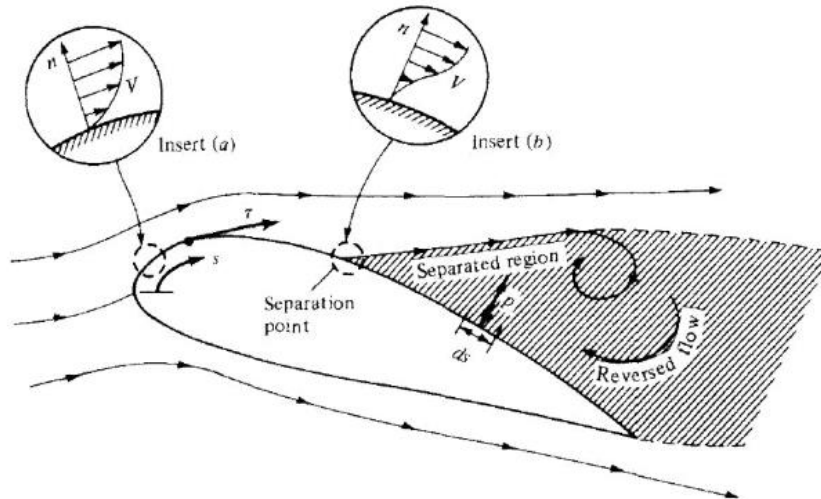


Gambar 2.9 Partikel Fluida ketika Mengalir di dalam *Boundary layer* (Munson dkk., 2003)

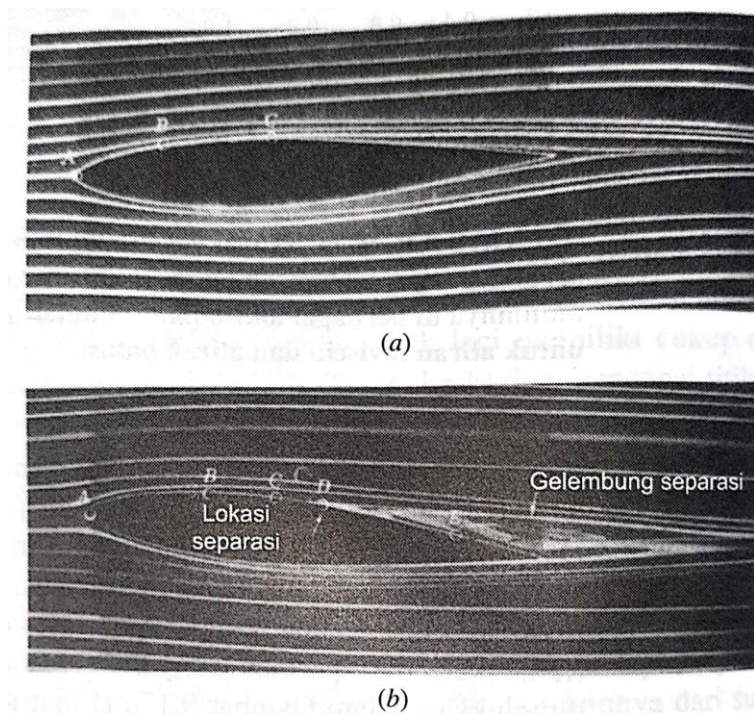
Boundary layer merupakan lapisan batas antara fluida dengan kecepatan yang berubah dengan kecepatan aliran awal (U). Sedangkan ketebalan *boundary layer* merupakan jarak dari dinding permukaan ke lokasi dimana kecepatan sudah kembali seperti semula seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.9**.

Fluida di dalam *boundary layer* tidak memiliki suplai energi sehingga ketika inersia fluida sedemikian besar maka fluida tidak dapat mengikuti lintasan melengkung pada benda. Jadi, fluida mengalir melawan tekanan yang meningkat sejauh fluida tersebut mampu, sampai pada suatu titik dimana *boundary layer* berpisah dari permukaannya atau disebut separasi. Separasi aliran terjadi ketika

angle of attack meningkat kemudian kecepatan akan menurun (*adverse pressure gradient*) sehingga pada kondisi tersebut terdapat aliran balik (seperti pada **Gambar 2.10**) di dalam *boundary layer* (Munson dkk., 2003).



Gambar 2.10 Separasi Aliran (Knez, 2005)



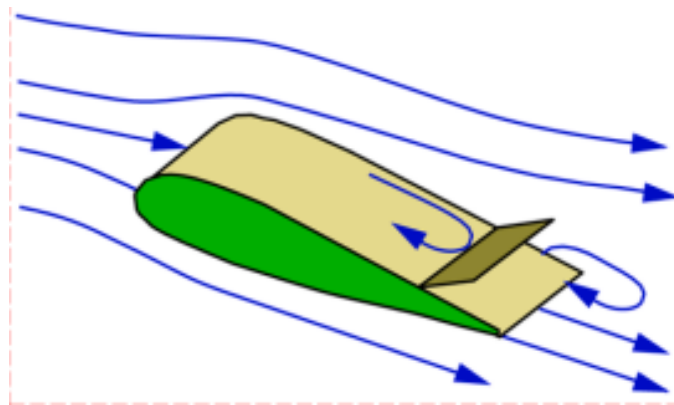
Gambar 2.11 Aliran Melewati Sebuah *Hydrofoil* (a) *angle of attack* 0° ; (b) *angle of attack* 5° (Munson dkk., 2003)

Jika gradien tekanan balik tidak terlalu besar, maka fluida pada *boundary layer* dapat mengalir ke dalam daerah yang tekanannya sedikit meningkat (yakni

Gambar 2.11 (a) pada titik C menuju *trailing edge*) tanpa berseparasi dari permukaan. Namun jika gradien tekanan terlalu besar (karena *angle of attack* terlalu besar) maka *boundary layer* akan berpisah dari permukaan seperti pada **Gambar 2.11** (b) Kondisi tersebut dapat menimbulkan hilangnya *lift* yang disebut stall.

2.3 Flow Control Devices

Flow control dibagi menjadi dua metode, yakni *active flow control* dan *passive flow control*. *Active flow control* ialah sistem yang membutuhkan energi eksternal untuk mengontrol aliran sedangkan *passive flow control* ialah ketika permukaan *hydrofoil* dimodifikasi untuk memanipulasi aliran di atasnya. Modifikasi permukaan dapat dicapai dengan mengubah kekasaran permukaan, *flap*, elemen kontrol luar permukaan, pelat kontrol tipis, dan bilah tepi depan. Saat ini, *active flow control* sudah mulai ditinggalkan karena biaya yang tinggi dan kompleksitas sedangkan *passive flow control* murah, sederhana dan tidak membutuhkan energi eksternal (Mishra dan De, n.d.). Salah satu *passive flow control* ialah *movable flap* (Zhu dkk., 2018), berikut merupakan gambar dari *movable flap*.



Gambar 2.12 *Movable flap* (Hao dkk., 2021)

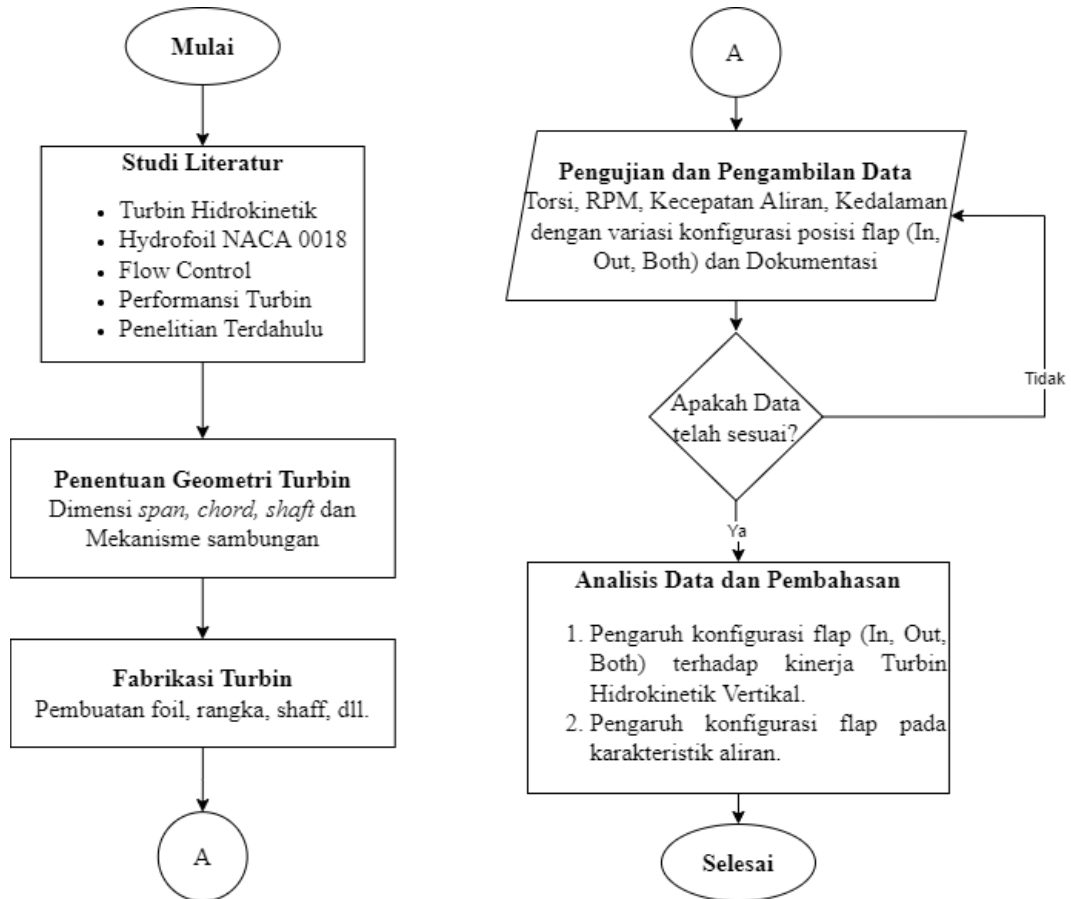
Pada **Gambar 2.12** dapat dilihat bahwa *flap* dapat terbuka karena tekanan pada *trailing edge* lebih besar daripada permukaan di atasnya. Sehingga *reverse flow* (aliran balik) yang terjadi akan membuka *flap* sehingga *reverse flow* tidak mengganggu aliran lainnya. Hal tersebut membuat separasi aliran tertunda (Hao dkk., 2021).

Halaman sengaja dikosongkan

BAB III

METODE PENELITIAN

Dalam pelaksanaan penelitian ini diagram alir digunakan untuk mengetahui tahapan-tahapan dari pelaksanaan penelitian. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 3.1**.



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.1 Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk meningkatkan pemahaman peneliti terhadap topik penelitian yang diambil yakni turbin hidrokinetik. Pemahaman yang harus dimiliki yakni turbin hidrokinetik, *hydrofoil* & NACA 0018, *flow control*, performansi turbin dan penelitian terdahulu. Studi literatur dapat dilakukan dengan mempelajari referensi pendukung, seperti buku, jurnal, tugas akhir dan lain sebagainya.

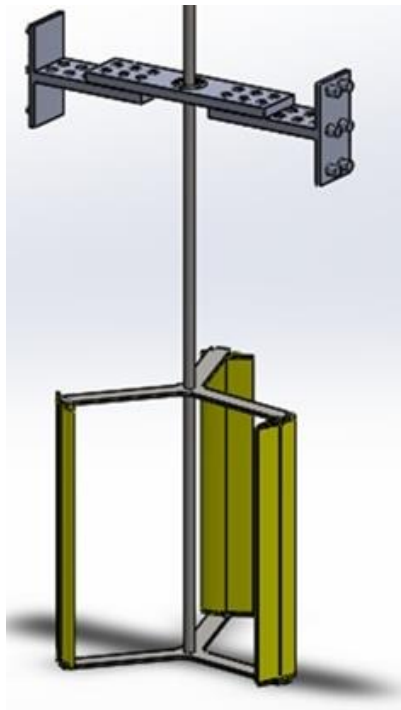
3.2 Penentuan Geometri Turbin

Penentuan geometri turbin dilakukan setelah mengetahui lokasi pengujian agar turbin dapat menyesuaikan dengan lokasi tersebut. Penelitian ini dilakukan pada *flume tank* yang memiliki dimensi luas kanal buatan sebesar 35 x 60 cm. Pada **Tabel 3.1** menunjukkan spesifikasi dari turbin yang digunakan untuk penelitian.

Tabel 3.1 Spesifikasi Turbin

No	Bagian Turbin	Dimensi (cm)
1	<i>Chord blade</i>	5
2	<i>Span Blade</i>	25
3	<i>Shaft</i>	40
5	Tinggi Turbin (H)	25
6	Diameter Turbin (D)	25

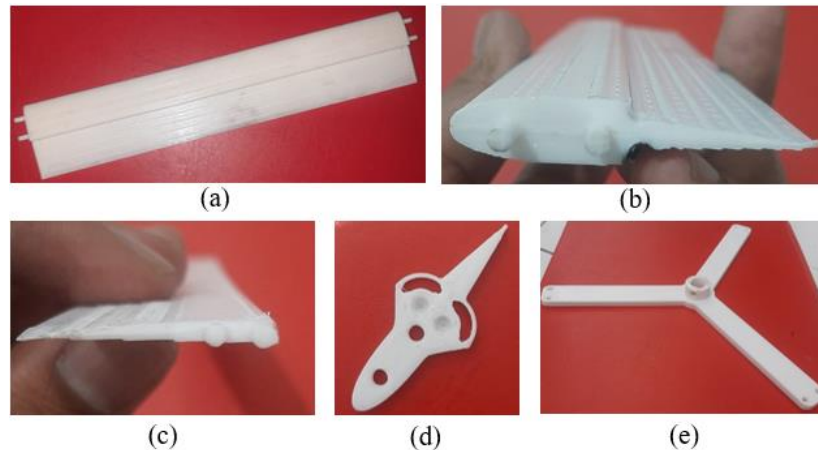
Setiap part dari turbin yang telah didesain kemudian disatukan seperti yang terlihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.2 Desain Turbin

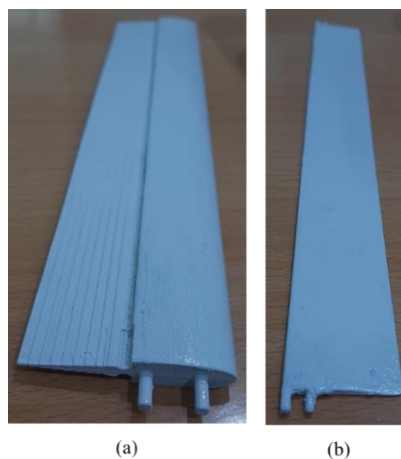
3.3 Fabrikasi Turbin

Dari geometri turbin yang telah ditentukan maka dapat dilakukan fabrikasi turbin dengan menggunakan 3D *printing* dengan bahan *filament polylactid acid*. Pada tahap ini yang akan dilakukan fabrikasi yakni *foil*, *flap*, *shaft*, *arm* dan *mounting*. Setelah fabrikasi, maka dilakukan perakitan setiap komponen dan *instalasi* pada *flume tank*.



Gambar 3.3 Hasil 3D Print Turbin (a) Base Foil; (b) Base Foil Tampak Samping ; (c) *Flap* Tampak Samping; (d) Mekanisme Buka-an; (e) Arm

Hasil 3D print dari turbin tidak bisa langsung digunakan untuk pengambilan data karena dapat dilihat pada **Gambar 3.3** (b) dan (c) terdapat permukaan yang tidak halus. Hasil 3D print tersebut dilakukan *Post Processing* dengan melapisi dempul pada permukaan turbin kemudian dihaluskan dengan menggunakan amplas dan diakhiri dengan cat agar warnanya sama seperti pada **Gambar 3.4**.



Gambar 3.4 Hasil *Post Processing* Turbin (a) Base Foil ; (b) *Flap*

Kemudian setelah dilakukan *Post Processing* maka turbin sudah dapat diinstalasi pada poros dan pada *mounting* atas. Instalasi dari turbin dapat dilihat pada **Gambar 3.5**.

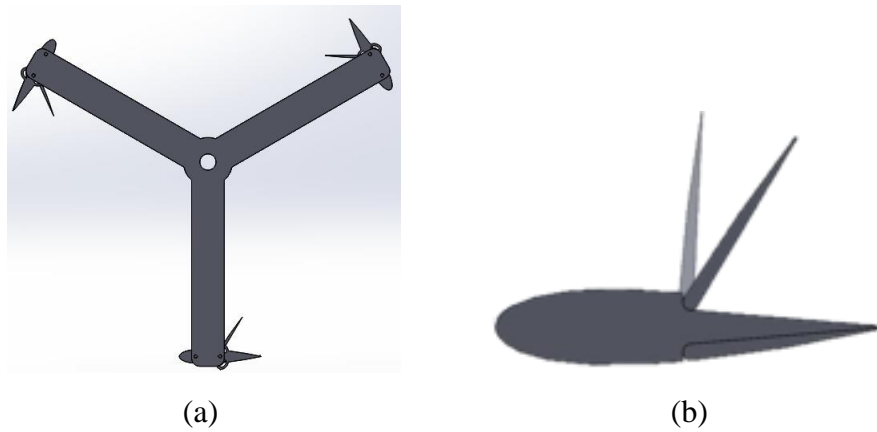


Gambar 3.5 Instalasi Turbin

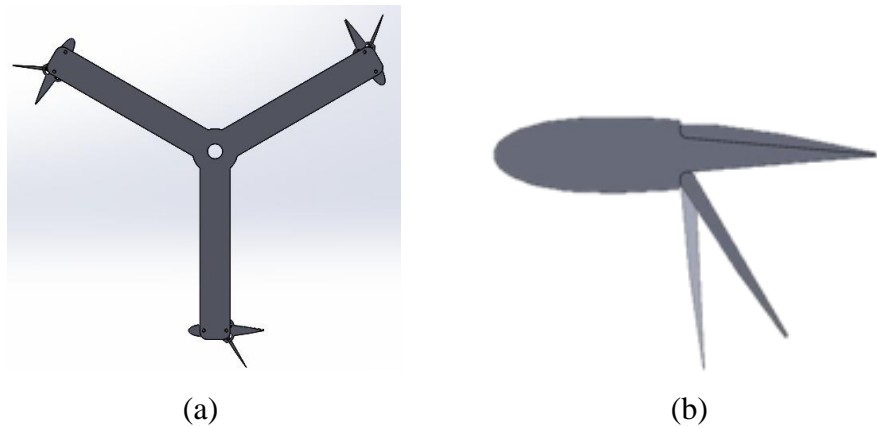
3.4 Pengujian dan Pengambilan Data

Variasi Pengujian

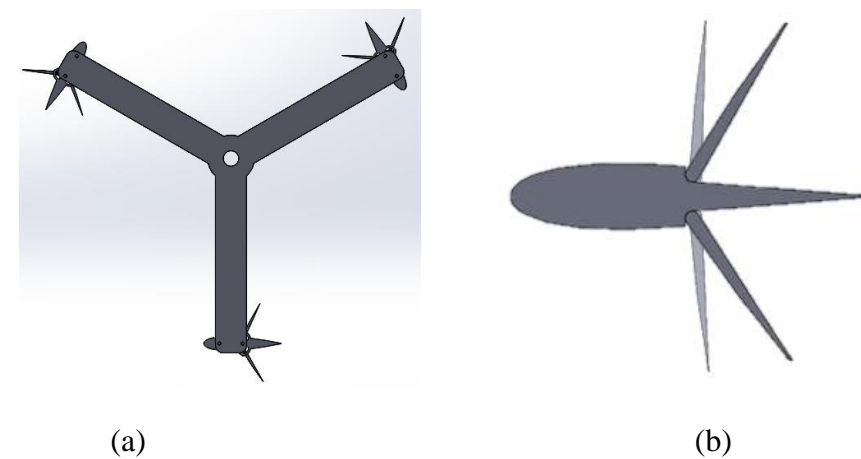
Pada pengujian ini dilakukan 3 variasi konfigurasi posisi *flap* pada turbin dengan 3 kecepatan yang berbeda dan 2 sudut bukaan yakni 45° dan 90° . Variasi konfigurasi posisi *flap* dibagi menjadi IN, OUT dan BOTH, posisi konfigurasi ketika IN yakni ketika *flap* yang berada pada *hydrofoil* bagian dalam seperti **Gambar 3.6** sedangkan jika posisi konfigurasi OUT yakni ketika *flap* yang berada pada *hydrofoil* bagian luar seperti pada **Gambar 3.7** dan posisi konfigurasi Both yakni ketika *flaps* yang berada pada kedua sisi (luar dan dalam *hydrofoil*) seperti pada **Gambar 3.8**. Kemudian posisi *flap* ditempatkan pada jarak 50% terhadap chord. Berikut merupakan variasi dari penelitian ini.



Gambar 3.6 Variasi Konfigurasi Posisi *Flap IN* (a) Tampak Atas Turbin (b) *Flap IN* dengan Sudut Buka 45° & 90°



Gambar 3.7 Variasi Konfigurasi Posisi *Flap OUT* (a) Tampak Atas Turbin (b) *Flap OUT* dengan Sudut Buka 45° & 90°



Gambar 3.8 Variasi Konfigurasi Posisi *Flap BOTH* (a) Tampak Atas Turbin (b) *Flap BOTH* dengan Sudut Buka 45° & 90°

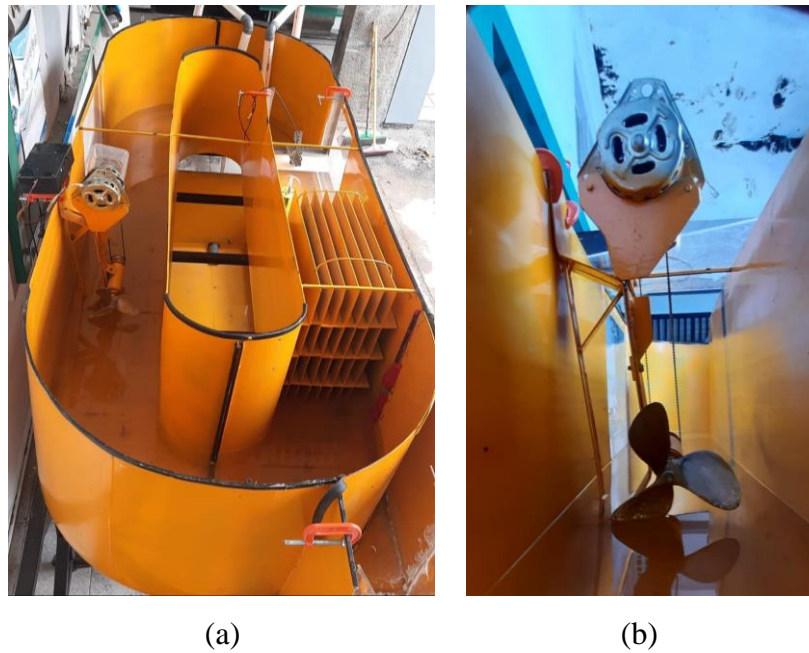
Variasi konfigurasi posisi *flap* tersebut dilakukan dengan 3 variasi kecepatan yakni 0,17 m/s, 0,21 m/s, dan 0,29 m/s sehingga dilakukan 18 variasi pada penelitian ini. **Tabel 3.2** merupakan penjabaran dari 18 variasi yang dilakukan.

Tabel 3.2 Matriks Variasi

No	Konfigurasi <i>Flap</i>	Sudut Bukaannya (deg)	Kecepatan Aliran (m/s)
1	<i>In</i>	90	0,17
2	<i>In</i>	90	0,21
3	<i>In</i>	90	0,29
4	<i>Out</i>	90	0,17
5	<i>Out</i>	90	0,21
6	<i>Out</i>	90	0,29
7	<i>Both</i>	90	0,17
8	<i>Both</i>	90	0,21
9	<i>Both</i>	90	0,29
10	<i>In</i>	45	0,17
11	<i>In</i>	45	0,21
12	<i>In</i>	45	0,29
13	<i>Out</i>	45	0,17
14	<i>Out</i>	45	0,21
15	<i>Out</i>	45	0,29
16	<i>Both</i>	45	0,17
17	<i>Both</i>	45	0,21
18	<i>Both</i>	45	0,29

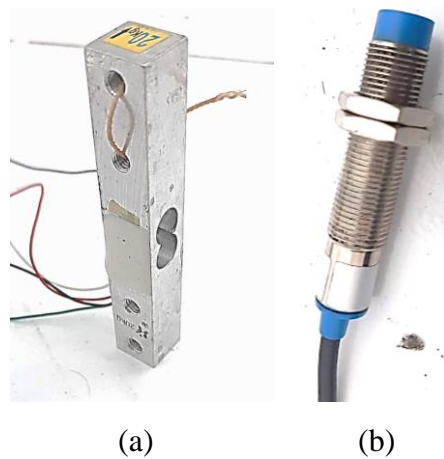
Persiapan Pengujian

Sebelum melakukan pengujian ada beberapa persiapan yang harus dipersiapkan seperti *flume tank*, motor *propeller*, sensor & aplikasi monitoring, *mounting* atas, *mounting* bawah, beban dan alat ukur. *Flume tank* digunakan untuk menjadi kanal buatan pada penelitian ini (**Gambar 3.9.a**). Kemudian motor *propeller* digunakan untuk menggerakkan aliran dan membuat kecepatan aliran yang berbeda-beda (**Gambar 3.9.b**).



Gambar 3.9 Komponen Pengujian (a) Flume Tank ; (b) Motor *Propeller*

Dalam proses pengambilan data terdapat sensor yang digunakan yakni sensor proximity untuk mendapatkan data kecepatan sudut kemudian sensor *load cell* untuk mendapatkan data torsi turbin. Sebelum sensor tersebut digunakan maka dilakukan kalibrasi terlebih dahulu, untuk sensor *load cell* memiliki nilai error -5,15 atau -4,28% sedangkan untuk sensor proximity memiliki nilai error -0,08 atau 0,10%. Nilai error yang didapatkan kurang dari 10% sehingga sensor sudah bisa digunakan. Pada **Gambar 3.10** merupakan dokumentasi dari sensor yang digunakan.



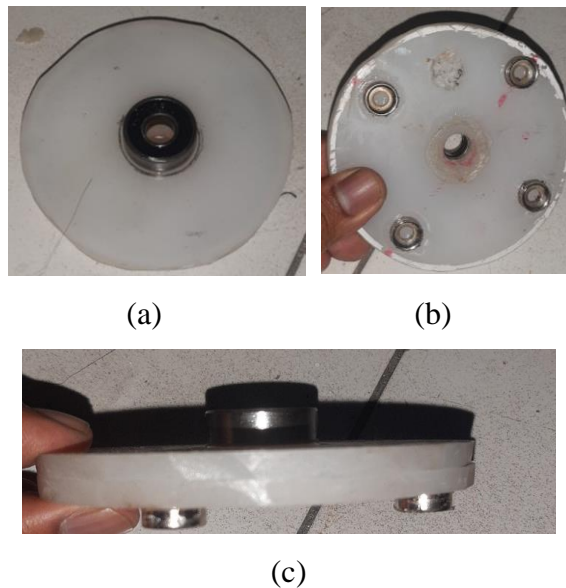
Gambar 3.10 Sensor yang Digunakan dalam Penelitian (a) *Load cell*; (b) Proximity

Mounting atas turbin dibuat dengan menggunakan besi siku 2 mm dengan menempelkan *pillow block* kemudian ditambahkan besi siku disamping kanan kiri untuk peletakan sensor *load cell* dan katrol untuk beban seperti pada **Gambar 3.11**.



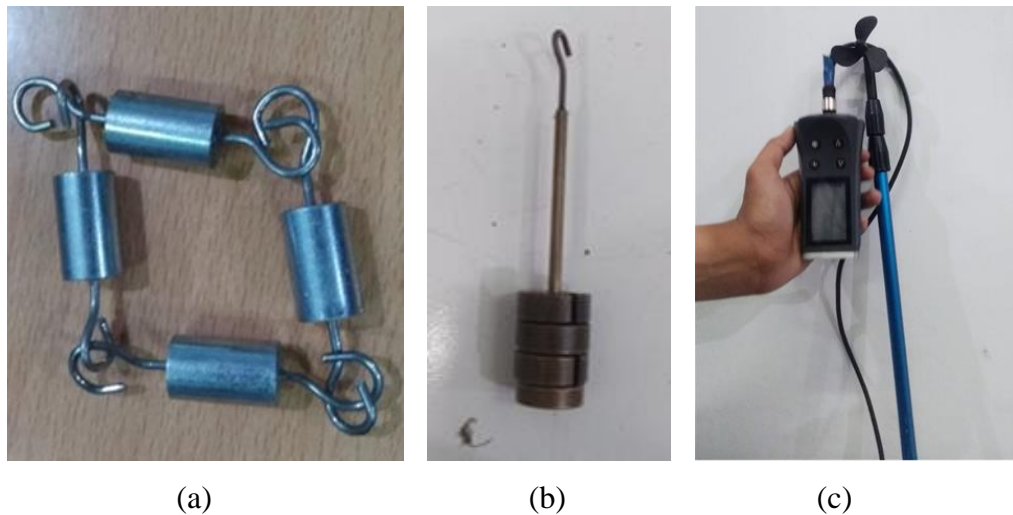
Gambar 3.11 *Mounting* Atas Turbin

Kemudian untuk *mounting* bawah turbin dibuat dengan akrilik dan ditambahkan magnet untuk menempel ke *flume tank* (**Gambar 3.12.b**). Bagian atas *mounting* bawah ditempelkan *bearing* untuk menghubungkan ke shaft (**Gambar 3.12.a**).



Gambar 3.12 *Mounting* Bawah (a) *Bearing* dengan akrilik; (b) Akrilik dengan magnet; (c) *Mounting* bawah Tampak Samping

Alat penunjang lainnya yakni pembebanan dan alat ukur. Penelitian ini digunakan beban dengan interval 10 gram dan 50 gram seperti pada **Gambar 3.13.a.b**. Kemudian alat ukur yang digunakan yakni *current meter* untuk mengukur kecepatan aliran dan multimeter untuk mengontrol putaran dari motor *propeller* (**Gambar 3.13.c**).

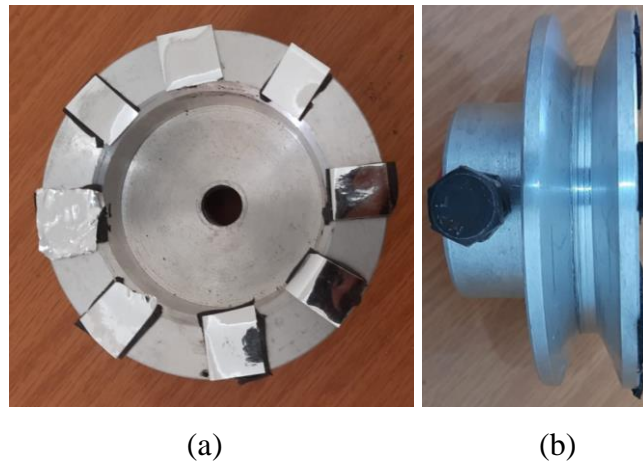


Gambar 3.13 Komponen Pembebanan dan Alat Ukur (a) Beban dengan Berat 10 gram ; (b) Beban dengan berat 50 gram ; (c) *Current Meter*

Pengambilan Data

Pengambilan data kecepatan sudut dilakukan dengan sensor Infrared Proximity. Sensor Infrared Proximity merupakan sensor yang dapat mendeteksi keberadaan suatu benda tanpa menyentuh benda (logam) tersebut dengan menggunakan infrared sampai jarak tertentu. Prinsip kerja dari sensor ini ialah ketika objek berada pada daerah pembacaan, maka LED akan menyala. Keuntungan dari pendeteksian ini ialah tidak adanya kontak fisik dengan objek yang akan dideteksi, sehingga dapat mendeteksi objek yang tipis dan mudah hancur (Gopel. W, J. Hesse, 1991).

Skema sensor proximity dalam penelitian ini yakni dengan meletakkan sensor didekat *pulley* (**Gambar 3.15**) yang sudah terhubung dengan shaft pada turbin (**Gambar 3.14**). *Pulley* tersebut kemudian ditempelkan aluminium tape dengan berjarak agar sensor dapat membaca perputaran dari *pulley*. Berikut merupakan desain *pulley* yang sudah ditempelkan aluminium tape.



Gambar 3.14 *Pulley* dengan Alumunium Tape (a) Tampak Atas ; (b) Tampak Samping

Pulley ditempelkan alumunium sebanyak 8 titik sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$RPM = \frac{n/8}{t} \times 60 \quad (3.1)$$

Dengan,

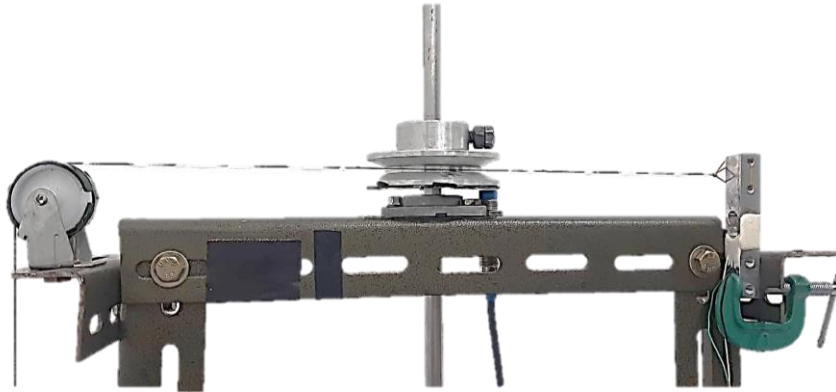
n= Jumlah alumunium tape yang dibaca sensor

t = Waktu pengambilan data (s)



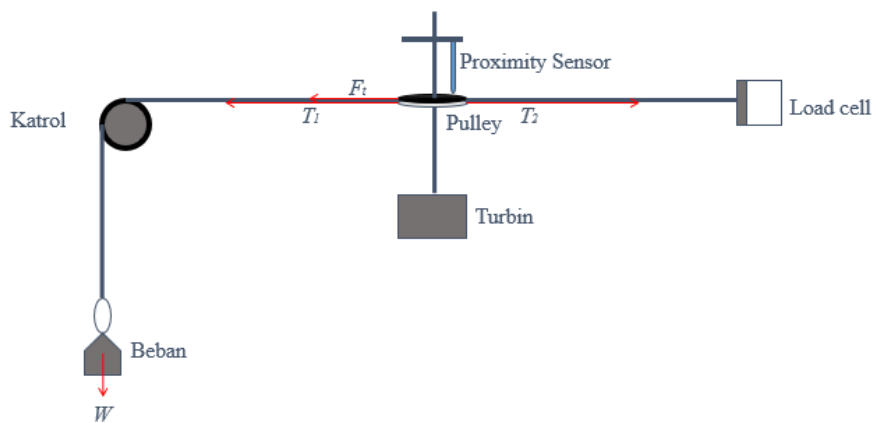
Gambar 3.15 Instalasi Sensor Proximity pada *Pulley*

Kemudian data torsi didapatkan dari sensor *load cell*. Skema dalam pengambilan data torsi ini ialah dengan menghubungkan tali antara beban dan *load cell* dengan *pulley* seperti pada **Gambar 3.16**.



Gambar 3.16 Instalasi Sensor *Load cell* pada *Pulley* dengan Tali

Kemudian beban divariasikan sehingga beban pada tali berubah. Nilai torsi dapat dikonversi dari beban tali yang dihasilkan. **Gambar 3.17** merupakan skema dari prony brake.



Gambar 3.17 Skema Pengambilan Data Torsi

Dari skema tersebut maka didapat persamaan sebagai berikut :

$$\sum \tau = I\alpha \quad (3.2)$$

$$(T_1 + F_T)r_p - T_2r_p = \frac{1}{2}mr_p^2\alpha \text{ (Diasumsikan GLB)}$$

$$F_T = T_2 - T_1 = T_2 - W \quad (3.3)$$

$$\tau = r_p \times F_T \quad (3.4)$$

Dengan,

r_p = Jari – jari *pulley* (m)

F_t = Gaya tangensial (N)

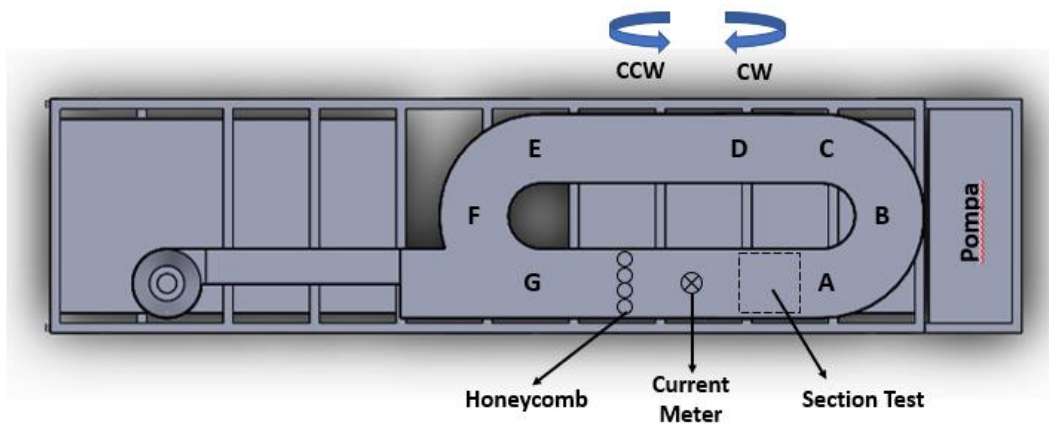
I = momen inersia (kgm^2)

α = percepatan sudut (rad/s)

T_1, T_2 = Tegangan tali (N)

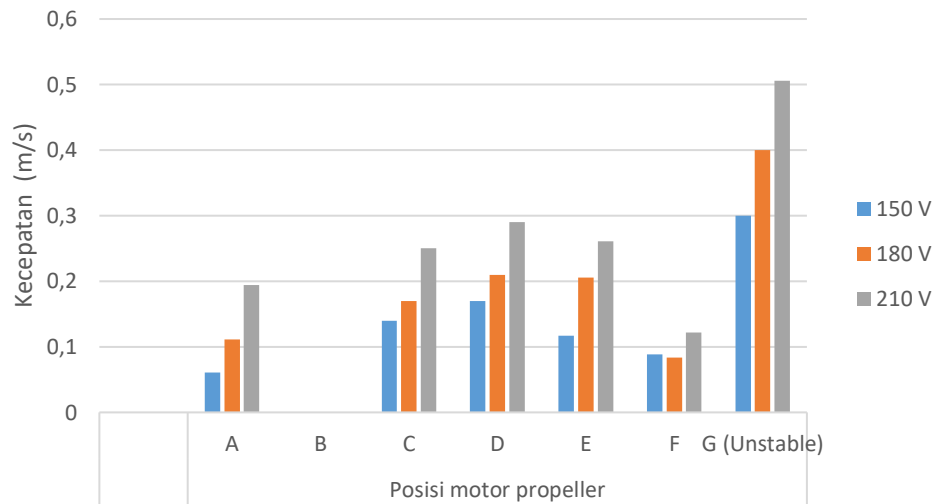
τ = Torsi (Nm)

Dalam melakukan pengambilan data digunakan 3 variasi kecepatan *inlet*, untuk menentukan besar kecepatan *inlet* dapat dengan memindahkan tempat motor *propeller*. Terdapat 7 titik posisi motor *propeller* untuk mengetahui potensi dari kecepatan aliran seperti pada **Gambar 3.18**. Dari 7 penempatan motor *propeller* tersebut akan ditinjau dan digunakan kecepatan aliran yang memiliki selisih yang cukup signifikan. Berikut merupakan data kecepatan dari beberapa lokasi motor *propeller* yang telah diambil.



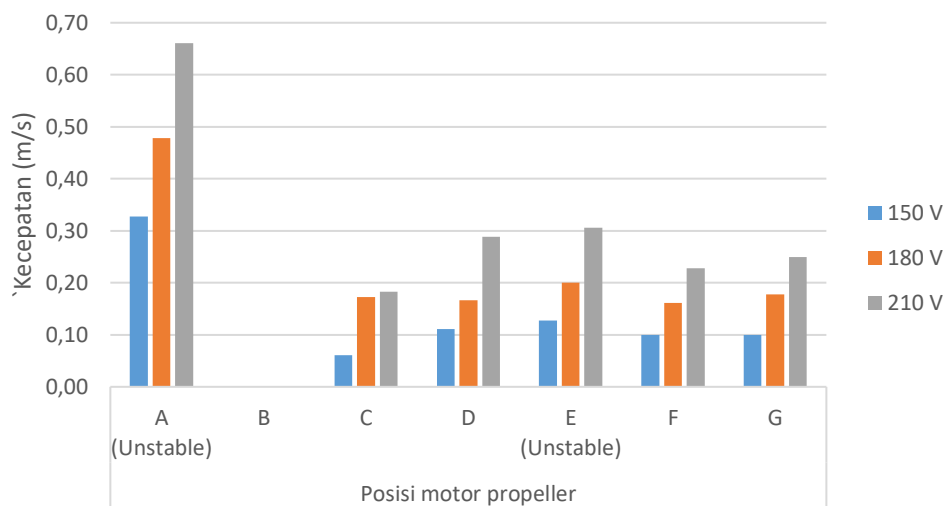
Gambar 3.18 Lokasi Motor *Propeller* untuk Kecepatan *Inlet*

Pada **Gambar 3.18** menunjukkan 7 lokasi penempatan motor *propeller* untuk dilihat potensi kecepatan *inlet* yang bisa digunakan.



Gambar 3.19 Hasil Pengambilan Data Kecepatan *Inlet* dengan Aliran *Counter Clockwise*

Untuk pengambilan data digunakan 2 arah aliran yakni arah aliran *counter clockwise* dan *clockwise* di 7 titik posisi motor *propeller*. Pada **Gambar 3.19** merupakan hasil data kecepatan *inlet* dengan arah *counter clockwise* dan pada **Gambar 3.20** merupakan hasil data kecepatan *inlet* dengan arah *clockwise*.



Gambar 3.20 Hasil Pengambilan Data Kecepatan *Inlet* dengan Aliran *Clockwise*

Data kecepatan *inlet* yang digunakan yakni pada arah aliran *counter clockwise* pada posisi motor *propeller* di titik D dengan 3 variasi kecepatan yakni 0,17 m/s ; 0,21 m/s dan 0,29 m/s.

Pengambilan data dapat dimulai dengan pengukuran kecepatan arus air dengan menggunakan *current* meter dan kedalaman aliran dengan menggunakan penggaris yang sudah dipasang pada *flume tank*. Kemudian turbin dimasukkan kedalam *flume tank* dan diukur kembali arus aliran dan kedalamannya untuk melihat efek yang terjadi pada aliran ketika dimasukkan turbin. Kemudian data kecepatan sudut didapatkan dengan memasang sensor proximity yang diletakan diatas *pulley* dan dipasang sensor *load cell* untuk mengambil data beban kemudian dikonversi menjadi nilai torsi.

Pengambilan data torsi dilakukan dengan penambahan beban dengan interval 10 gram sampai turbin berhenti berputar. Kemudian kecepatan arus diambil pada 2 titik yakni pada posisi $1d$ dan $-(1)d$. Data kedalaman arus diambil pada 2 posisi yakni pada $1d$ dan $-(1)d$. Posisi tersebut merupakan hasil perkalian antara angka dengan konstanta d yang merupakan diameter turbin. Kemudian untuk positif dan negatif menandakan posisi pengambilan data yang mana positif berada di depan turbin dan begitu juga sebaliknya.

Adapun SOP dalam pengambilan data yakni sebagai berikut :

- i. Alat dan Bahan disiapkan
- ii. Flume yang sudah bersih diisi air sampai ketinggian 40 cm dengan pompa
- iii. Turbin Both dengan variasi 50% diassembly pada shaft dan *mounting*
- iv. Turbin diletakan pada *section* test
- v. Motor penggerak dinyalakan dan potentiometer diatur sampai tegangan 150V
- vi. Tunggu sampai aliran steady
- vii. Lakukan pengambilan data torsi, kecepatan sudut, kecepatan di titik $+1d$; $-1d$ dan kedalaman air di titik $+1d$; $-1d$.
- viii. Ulangi langkah 7 dengan memberikan beban pada *pulley* dengan interval 10 gram sampai turbin berhenti berputar.
- ix. Ulangi langkah 5-8 dengan mengubah tegangan pada motor penggerak dengan variasi 180 V dan 210 V.
- x. Ulangi langkah 3-9 dengan mengubah jenis turbin dengan variasi posisi IN dan OUT.

3.5 Validasi

Validasi dilakukan untuk meninjau kembali data kecepatan sudut dan torsi yang telah didapatkan. Data kecepatan sudut dapat divalidasi dengan video yang diambil saat pengambilan data. Setiap dilakukan penambahan beban pada turbin maka seharusnya nilai dari kecepatan sudut akan menurun. Ketika pembacaan sensor proximity terdapat data yang tidak sesuai (ketika beban ditambahkan, kecepatan sudut meningkat) maka data tersebut dapat ditinjau kembali dengan video pengambilan data yang telah diambil.

Kemudian data torsi dapat divalidasi dengan menggunakan perhitungan jari-jari dari *pulley* dikalikan dengan gaya yang terjadi pada *pulley*. Gaya yang terjadi pada *pulley* didapatkan dari pembacaan *load cell* dikurangi dengan pembebanan yang diberikan kemudian dikalikan dengan percepatan gravitasi. Hasil dari perhitungan tersebut kemudian dibandingkan dengan menggunakan nilai beban aktual.

3.6 Analisis Data dan Pembahasan

Data yang telah didapat yakni kecepatan sudut, Torsi, kecepatan arus dan kedalaman dari setiap konfigurasi disajikan dalam bentuk tabel dan grafik. Kemudian dilakukan perhitungan nilai TSR dan koefisien torsi dari data yang didapatkan. Hasil perhitungan tersebut digunakan untuk mencari nilai koefisien daya pada tiap variasi.

Nilai koefisien daya yang dihasilkan tersebut dianalisis untuk menyelesaikan 2 poin rumusan masalah. Nilai koefisien daya dikomparasikan antara satu variasi dengan lainnya untuk melihat konfigurasi dan sudut bukaan terbaik. Kemudian didapatkan kesimpulan dari analisis yang telah dilakukan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB IV

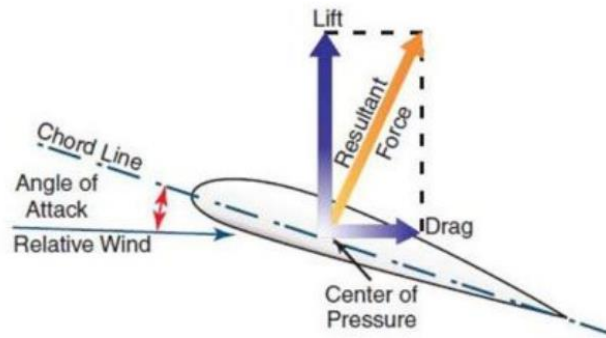
HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian Turbin Hidrokinetik Vertikal dengan memodifikasi *hydrofoil* dilakukan dengan 3 variasi konfigurasi posisi *flap* yakni pada konfigurasi IN, OUT dan BOTH. Penelitian ini dilakukan pengujian dengan mengambil beberapa data seperti kecepatan sudut, torsi, kecepatan aliran dan kedalaman pada 3 variasi kecepatan aliran yakni 0,17 m/s, 0,21 m/s dan 0,29 m/s. Variasi kecepatan tersebut merupakan kecepatan aliran sebelum turbin dimasukkan kedalam *flume tank*. Dalam proses pengambilan data digunakan beberapa tools penunjang untuk mempermudah dalam proses pengambilan data seperti data kecepatan sudut didapat dari sensor proximity, data torsi didapat dari sensor *load cell*, data kecepatan aliran didapat dari *current* meter dan data kedalaman didapat dari penggaris yang telah ditempelkan pada *flume tank*. Dalam pengambilan data kecepatan sudut dan torsi dilakukan penambahan beban dengan *interval* 10 gram sampai turbin tidak bisa berputar kemudian dalam pengambilan data kecepatan aliran dan kedalaman dilakukan pada jarak 1D didepan turbin dan 1D dibelakang turbin.

Terdapat 8 beban pada penelitian ini yakni 4 beban dengan berat tiap bebanya 10 gram dan 4 beban dengan berat tiap bebanya 50 gram. Beban tersebut telah dilakukan kalibrasi dengan 2 timbangan dan didapatkan selisih 4,93%. Kemudian dilakukan validasi untuk nilai torsi dengan membandingkan hasil perhitungan dengan menggunakan beban ideal dan beban actual sehingga didapatkan selisih sebesar 4,12%.

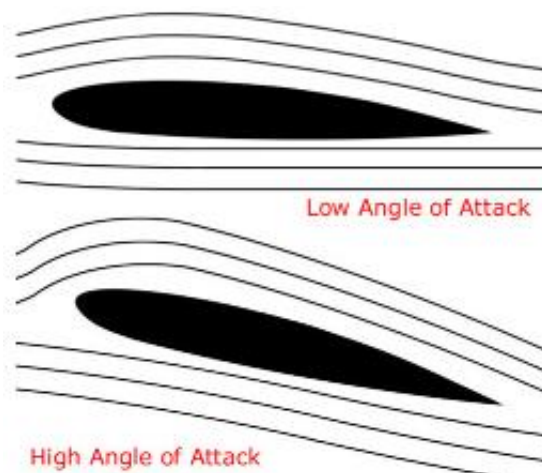
4.1 Pengujian *Hydrofoil clean* (NACA 0018)

Pergerakan *hydrofoil* dalam air disebabkan oleh gaya resultan yang dihasilkan dari gaya *lift* dan *drag*. Gaya *lift* merupakan gaya yang tegak lurus terhadap arah kecepatan relatif sedangkan gaya yang sejajar dengan kecepatan relatif ialah gaya *drag*. Gaya *lift* dan *drag* ini dipengaruhi oleh distribusi tekanan dan distribusi tegangan geser yang berada di sekitar *hydrofoil* (Munson dkk., 2003) seperti pada **Gambar 4.1**. Tekanan dan tegangan geser tersebut akan selalu berubah di setiap azimuth (posisi orbital turbin). Pada semua posisi azimuth memiliki *angle of attack* (sudut serang) masing masing sehingga ketika *angle of attack* berbeda maka kecepatan relatif juga berbeda. Ketika *angle of attack* memiliki nilai maka permukaan dari *hydrofoil* akan mengalami perbedaan tekanan sehingga gaya *lift* dihasilkan.



Gambar 4.1 Gaya pada *Hydrofoil* (*Drag* dan *Lift*, 2014)

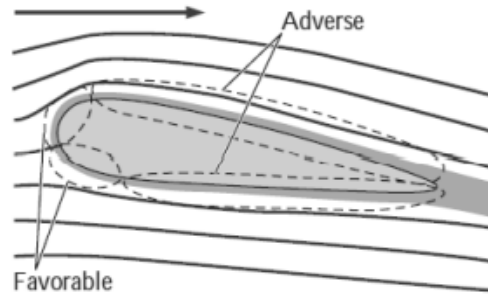
Posisi *hydrofoil* pada azimuth 0° yakni ketika *angle of attack* nol pada *hydrofoil* simetris maka tidak terjadi perbedaan tekanan dan tegangan geser pada permukaan atas dan bawah *hydrofoil*. Sehingga pada posisi ini tidak dihasilkan gaya *lift*. Kemudian ketika *hydrofoil* memiliki *angle of attack* maka terjadi perbedaan tekanan di permukaan atas *hydrofoil* dan permukaan bawah *hydrofoil* seperti pada **Gambar 4.2**. Permukaan atas *hydrofoil* memiliki tekanan yang lebih kecil daripada tekanan di bawah permukaan *hydrofoil* karena kecepatan di atas permukaan *hydrofoil* lebih tinggi daripada dibawahnya. Hal tersebut membuat *hydrofoil* menghasilkan gaya *lift*.



Gambar 4.2 Perilaku Aliran terhadap Permukaan *Hydrofoil* pada *angle of attack* tertentu

Ketika *hydrofoil* berada di dalam air maka terdapat interaksi antara aliran dan permukaan *hydrofoil* yang disebut *boundary layer* (lapisan batas). *Boundary layer* memiliki ketebalan yakni jarak antara permukaan *hydrofoil* ke lokasi dimana kecepatan menjadi uniform, semakin jauh aliran melintasi permukaan *hydrofoil* maka ketebalan *boundary layer* akan semakin tebal karena kecepatan aliran pada *boundary layer* akan menurun yang disebabkan oleh gaya gesek yang terjadi pada permukaan *hydrofoil*. Kemudian terdapat

kondisi dimana kecepatan aliran akan meningkat dibagian *leading edge* yang disebut *favourable pressure gradient*. Selain itu juga terdapat kondisi ketika kecepatan aliran menurun dibagian *trailing edge* yang disebut *adverse pressure gradient*.



Gambar 4.3 *Pressure Gradient* (Cengel dan Cimbala, 2006)

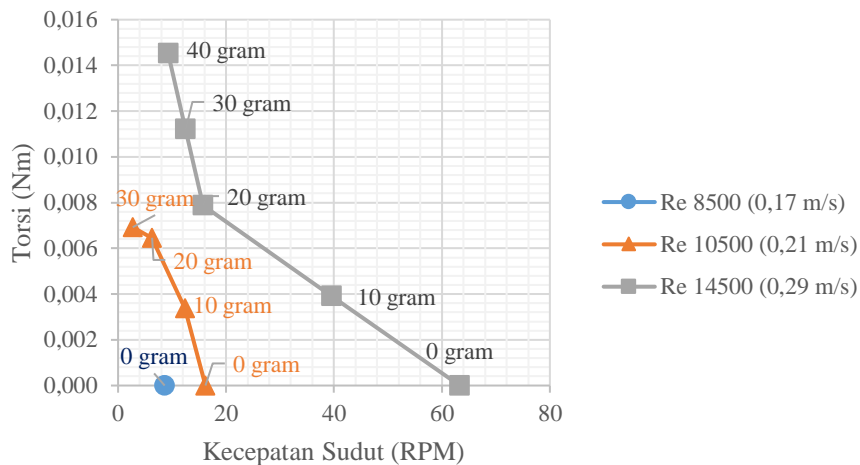
Pada daerah *adverse Pressure Gradient* terjadi penurunan kecepatan sehingga aliran tidak dapat melawan kenaikan tekanan dan gesekan dengan permukaan *hydrofoil* (seperti pada **Gambar 4.3**). Ketika tekanan meningkat maka terdapat aliran balik pada *trailing edge* menuju *leading edge*. Aliran balik tersebut akan mengganggu aliran yang berada pada permukaan atas *hydrofoil* sehingga terjadi *wake* dan *boundary layer* berpisah dari permukaan *hydrofoil*. Kondisi ini disebut separasi aliran dan titik dimana *boundary layer* berpisah dengan permukaan *hydrofoil* disebut titik separasi (Munson dkk., 2003).

Dari pengujian yang telah dilakukan didapat nilai kecepatan sudut dan torsi terhadap pembebanan yang diberikan pada 3 kecepatan aliran. Kemudian dilakukan perhitungan Reynold Number dengan menggunakan persamaan (2.5). Didapatkan bahwa ketika kecepatan aliran 0,17 m/s maka nilai Re sebesar 8500 kemudian ketika kecepatan aliran 0,21 m/s maka nilai Re yang didapatkan sebesar 10500 dan pada kecepatan aliran 0,29 m/s didapatkan Re sebesar 14500. Adapun nilai kecepatan sudut dan torsi yang didapat sebagai berikut.

Tabel 4.1 Nilai Kecepatan sudut dan Torsi terhadap Beban pada *Hydrofoil clean*

Beban (gram)	NACA 0018					
	Kecepatan sudut			Torsi		
	Re 8500	Re 10500	Re 14500	Re 8500	Re 10500	Re 14500
0	8,633	16,186	63,294	0,000	0,000	0,000
10		12,425	39,519		0,003	0,004
20		6,304	15,743		0,006	0,008
30		2,713	12,509		0,007	0,011
40			9,275			0,015

Pada **Tabel 4.1** terlihat bahwa nilai kecepatan sudut dan torsi tidak sepenuhnya ada pada setiap penambahan beban. Untuk variasi ini pada Re 8500 turbin hanya dapat berputar sampai pada pembebanan 0 gram dan pada Re 10500 turbin hanya dapat berputar sampai pada pembebanan 30 gram. Kemudian pada Re 14500 turbin dapat berputar sampai pada pembebanan 40 gram. Dari tabel tersebut didapatkan bahwa ketika turbin diberikan beban melebihi batas pembebanan maka turbin akan berhenti berputar sehingga nilai torsi dan kecepatan sudut tidak memiliki nilai pada tabel.



Gambar 4.4 Nilai Torsi terhadap Kecepatan Sudut pada *Hydrofoil clean* (NACA 0018)

Grafik pada **Gambar 4.4** dapat ditinjau hubungan antara nilai torsi dengan kecepatan sudut yang berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan persamaan daya pada (2.6) dimana ketika nilai kecepatan sudut meningkat maka nilai torsi akan menurun, begitu juga sebaliknya. Ketika turbin diberikan beban maka nilai kecepatan sudut akan menurun karena beban terhubung dengan turbin, semakin berat beban yang diberikan maka putaran dari turbin akan semakin kecil. Sebaliknya, jika turbin diberikan beban maka nilai torsi akan muncul karena *load cell* dapat terbaca jika diberikan beban namun ketika *load cell* tidak diberikan beban maka nilai torsi tidak dapat terbaca. Nilai torsi akan semakin tinggi jika beban yang diberikan pada turbin semakin berat akan tetapi jika beban melebihi batasnya maka turbin akan berhenti dan nilai torsi menjadi nol.

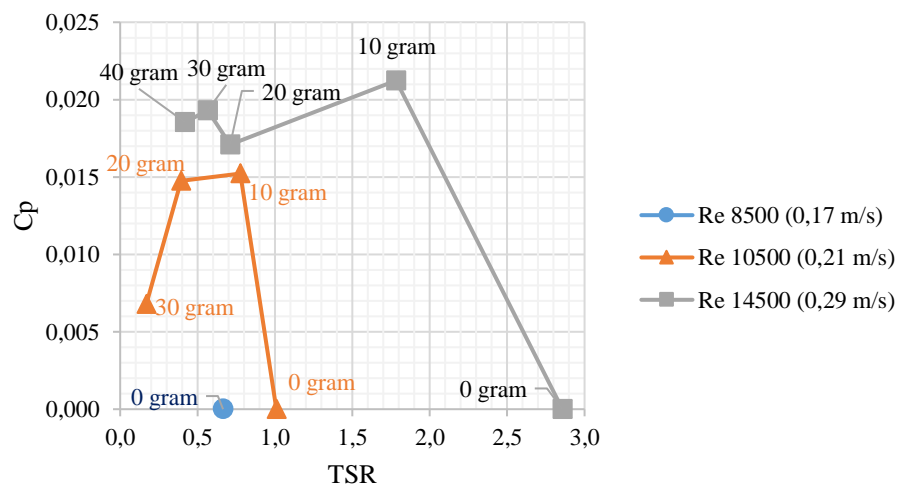
Gambar 4.4 juga menunjukkan bahwa Bilangan Reynold yang besar akan menghasilkan nilai kecepatan sudut dan torsi yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan persamaan (2.5) dimana nilai Re dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Semakin tinggi kecepatan aliran maka nilai Re juga akan semakin tinggi begitu juga pada nilai kecepatan sudut, karena kecepatan aliran berbanding lurus dengan nilai kecepatan sudut

Dari data yang sudah didapatkan dapat dihitung nilai TSR dan koefisien torsi sesuai pada persamaan (2.3) dan persamaan (2.7). Perhitungan dilakukan setiap nilai yang didapat dari beban 0 gram sampai pembebanan hingga turbin berhenti. Kemudian dilakukan perhitungan koefisien daya dengan menggunakan persamaan (2.8) sehingga didapat nilai koefisien torsi, TSR dan koefisien daya pada **Tabel 4.2**.

Tabel 4.2 Hasil Perhitungan TSR, C_τ dan C_p pada *Hydrofoil clean* (NACA 0018)

Reynold Number	NACA 0018		
	TSR	C_τ	C_p
Re 8500	0,665	0,000	0,000
Re 10500	1,009	0,000	0,000
	0,774	0,020	0,015
	0,393	0,038	0,015
	0,169	0,040	0,007
Re 14500	2,857	0,000	0,000
	1,784	0,012	0,021
	0,711	0,024	0,017
	0,565	0,034	0,019
	0,419	0,044	0,019

Data yang telah diperhitungkan tersebut kemudian di plot dalam grafik. Berikut merupakan plot koefisien power terhadap TSR.



Gambar 4.5 Nilai C_p terhadap TSR pada *Hydrofoil clean* (NACA 0018)

Pada **Gambar 4.5** dapat dilihat grafik antara koefisien daya dengan TSR. Parameter yang memengaruhi koefisien daya yakni koefisien torsi dan TSR. Koefisien torsi dipengaruhi oleh nilai torsi dan TSR dipengaruhi oleh kecepatan sudut. Nilai koefisien torsi

dan TSR berbanding terbalik seperti nilai torsi dan kecepatan sudut. Pada grafik sebelumnya telah di plot mengenai nilai torsi terhadap kecepatan sudut yakni ketika turbin diberikan pembebanan maka nilai torsi akan meningkat sedangkan kecepatan sudut akan menurun. Hal ini menunjukkan bahwa pembebanan memengaruhi momen inersia dari turbin. Jadi naik dan turunya kedua parameter ini akan menyebabkan nilai koefisien daya yang bervariasi.

Ketika koefisien daya mencapai titik maksimum maka nilai selanjutnya akan menurun. Hal ini terjadi karena koefisien daya didapat dari kombinasi dari 2 parameter yakni koefisien torsi dan TSR (dapat dilihat pada **Tabel 4.2**). Ketika nilai koefisien torsi tinggi maka nilai TSR akan kecil dan begitu sebaliknya. Hal tersebut yang menyebabkan koefisien daya tidak didapat dari nilai TSR atau koefisien torsi tertinggi karena ketika salah satu parameter memiliki nilai yang tinggi maka parameter lainnya akan memiliki nilai yang rendah sehingga kedua parameter ini harus berada pada satu titik tertentu untuk mendapat koefisien daya terbesar.

Kemudian karakteristik aliran juga ditinjau pada penelitian ini yakni dengan mengambil data kedalaman dan kecepatan aliran pada titik 1d di depan turbin dan 1d di belakang turbin. Data diambil sebanyak lima kali di setiap titik kemudian dirata-rata. Berikut merupakan data yang didapat.

Tabel 4.3 Data Kedalaman dan Kecepatan Turbin pada Titik (+)1d dan (-)1d dengan *Hydrofoil clean* NACA 0018

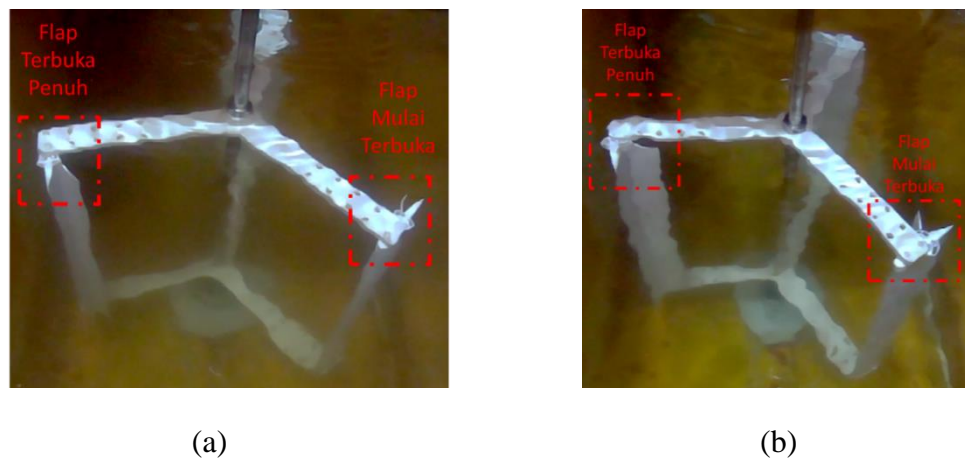
Kecepatan Aliran (m/s)	Beban (gram)	Kedalaman (cm)		V (m/s)	
		(+)1d	(-)1d	(+)1d	(-)1d
0,17	0	40,90	40,56	0,167	0,128
0,21	0	40,92	40,48	0,189	0,122
0,21	10	40,88	40,44	0,233	0,183
0,21	20	40,88	40,53	0,239	0,200
0,21	30	40,66	40,24	0,228	0,167
0,29	0	41,00	39,88	0,239	0,150
0,29	10	40,32	39,95	0,247	0,184
0,29	20	40,50	40,12	0,233	0,228
0,29	30	40,00	39,65	0,264	0,214
0,29	40	40,48	39,97	0,278	0,221

Tabel 4.3 menunjukkan bahwa seluruh nilai kedalaman pada titik 1d di depan turbin selalu lebih tinggi daripada kedalaman 1d di belakang turbin. Hal ini dapat terjadi karena turbin memiliki *Blockage ratio*. Kemudian pada kecepatan aliran sebelum mengenai turbin

juga memiliki nilai yang lebih besar daripada kecepatan aliran setelah mengenai turbin. Hal ini disebabkan karena ketika aliran mengenai turbin ada energi yang diekstraksi ketika melewati turbin sehingga kecepatan (energi kinetik) akan berkurang pada kondisi 1d di belakang turbin.

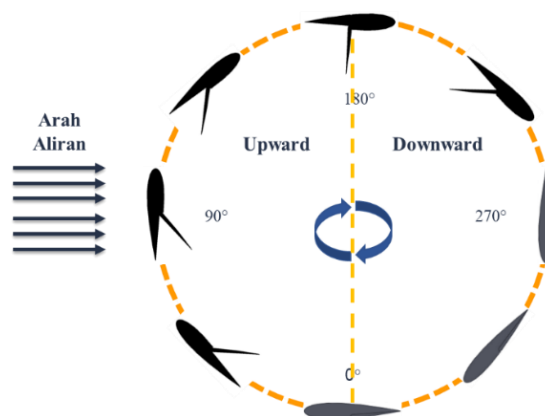
4.2 Pengujian Turbin pada Variasi Konfigurasi IN

Pada variasi konfigurasi IN *flap* yang terbuka berada pada 2 posisi yakni pada sudut azimuth 0° sampai 90° dan pada posisi azimuth 90° sampai 190° . *Flap* mulai terbuka pada sudut azimuth 0° sampai 150° . Kemudian pada sudut azimuth 150° sampai 190° *flap* terbuka maksimal dan pada sudut azimuth selanjutnya mulai menutup. **Gambar 4.6** merupakan contoh bukaan *flap* pada turbin yang di *capture* dari video ketika pengambilan data.



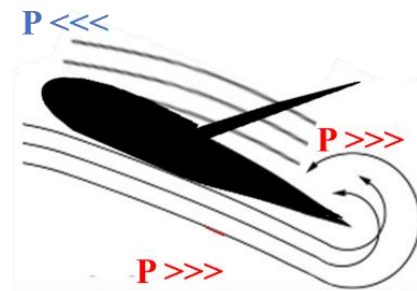
Gambar 4.6 Variasi Konfigurasi IN ketika Pengambilan Data pada (a) Sudut Bukaan 45° ;
(b) Sudut Bukaan 90°

Dari video pengambilan data dapat dirangkum perilaku *flap* ketika terbuka dan tertutup pada gambar berikut.



Gambar 4.7 Perilaku *Flap* pada Variasi Konfigurasi IN

Pada **Gambar 4.7** menunjukkan posisi pertama ketika *flap* terbuka yakni pada kondisi azimuth 0° sampai 90° , *hydrofoil* akan mendapatkan gaya *lift* dan *drag* dari interaksi kecepatan aliran dengan permukaan *hydrofoil* dengan *angle of attack* tertentu. Pada *angle of attack* rendah, aliran pada *boundary layer* dapat mengalir ke dalam daerah yang tekanannya sedikit meningkat (permukaan cembung) sehingga tidak terjadi separasi pada titik tersebut. Namun ketika *angle of attack* ditambahkan sampai aliran tidak mampu melewati permukaan *hydrofoil* maka pada titik tersebut merupakan titik separasi. Pada daerah separasi, tekanan akan meningkat karena *boundary layer* sudah terpisah dari permukaan *hydrofoil* sehingga kecepatannya rendah. Penurunan kecepatan tersebut membuat aliran berbalik dari arah *trailing edge* sehingga *flap* IN akan terbuka oleh dorongan aliran balik seperti pada **Gambar 4.8**.



Gambar 4.8 Ilustrasi *Flap* IN pada Sudut Azimuth 0° sampai 90°

Pada posisi kedua saat *flap* terbuka yakni pada sudut azimuth 90° sampai 190° *hydrofoil* akan tegak lurus terhadap aliran. Ketika *hydrofoil* melewati azimuth 90° maka *hydrofoil* akan mulai membelakangi arah aliran sehingga *flap* pada *trailing edge* dapat terbuka langsung oleh aliran yang menabraknya. Kemudian ketika *hydrofoil* semakin mendekati azimuth 180° atau lebih tepatnya pada azimuth 150° *hydrofoil* akan tepat membelakangi aliran sehingga *flap* pada *hydrofoil* dapat terbuka sepenuhnya sampai dengan azimuth 190° . Setelah azimuth 190° *flap* mulai menutup karena arah aliran tegak lurus dengan *flap* sehingga pada aliran *downward flap* IN tidak dapat terbuka.

Penggunaan *flap* IN pada *hydrofoil* memberikan fungsi yang berbeda di setiap posisi. Pada posisi pertama *flap* IN yang terbuka akan menghalangi aliran balik dari *trailing edge* menuju *leading edge* sehingga separasi aliran tidak terjadi pada kondisi tersebut. Ketika separasi aliran tidak terjadi maka gaya *lift* tidak berkurang sehingga bisa membantu *hydrofoil*

untuk bergerak. Kemudian fungsi *flap* yang terbuka pada posisi 2 yakni untuk memanfaatkan gaya *drag* sebagai dorongan tambahan untuk *hydrofoil* bergerak.

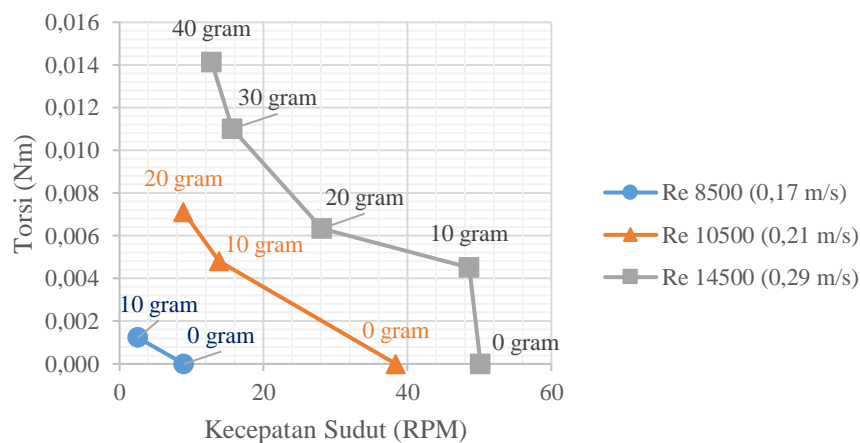
4.4.1 Konfigurasi IN dengan Sudut Buka 45°

Dari pengujian yang telah dilakukan didapat nilai kecepatan sudut dan torsi terhadap pembebanan yang diberikan pada 3 kecepatan aliran. Kemudian dilakukan perhitungan Reynold Number dengan menggunakan persamaan (2.5). Adapun nilai kecepatan sudut dan torsi yang didapat sebagai berikut.

Tabel 4.4 Nilai Kecepatan Sudut dan Torsi terhadap Beban pada Konfigurasi IN 45°

Beban (gram)	Konfigurasi IN45					
	Kecepatan Sudut			Torsi		
	Re 8500	Re 10500	Re 14500	Re 8500	Re 10500	Re 14500
0	8,96	38,39	50,17	0,000	0,000	0,000
10	2,55	13,81	48,56	0,001	0,005	0,005
20		8,89	28,16		0,007	0,006
30			15,69			0,011
40			12,80			0,014

Pada **Tabel 4.4** terlihat bahwa nilai kecepatan sudut dan torsi tidak sepenuhnya ada pada setiap penambahan beban. Untuk variasi ini pada Re 8500 turbin hanya dapat berputar sampai pada pembebanan 10 gram. Kemudian pada Re 10500 turbin dapat berputar sampai pada pembebanan 20 gram dan pada Re 14500 turbin dapat berputar sampai pada pembebanan 40 gram. Dari tabel tersebut didapatkan bahwa ketika turbin diberikan beban melebihi batas pembebanan maka turbin akan berhenti berputar sehingga nilai torsi dan kecepatan sudut tidak memiliki nilai pada tabel.



Gambar 4.9 Nilai Torsi terhadap Kecepatan Sudut pada Variasi Konfigurasi IN dengan Sudut Buka 45°

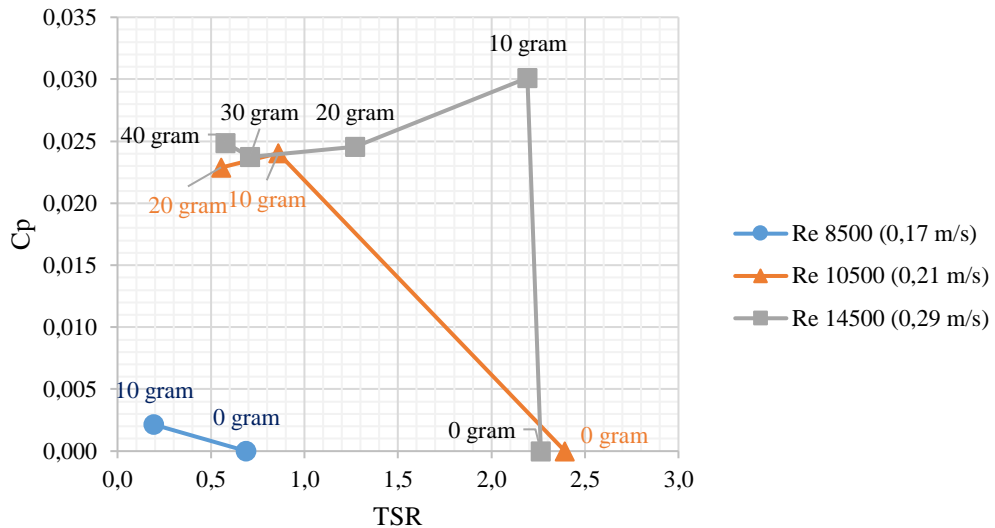
Gambar 4.9 menunjukkan bahwa Bilangan Reynold yang besar akan menghasilkan nilai kecepatan sudut dan torsi yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan persamaan (2.5) dimana nilai Re dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Semakin tinggi kecepatan aliran maka nilai Re juga akan semakin tinggi begitu juga pada nilai kecepatan sudut, karena kecepatan aliran berbanding lurus dengan nilai kecepatan sudut. Kemudian grafik tersebut juga menunjukkan hubungan antara nilai torsi dengan kecepatan sudut yang berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan persamaan daya pada (2.8) dimana ketika nilai kecepatan sudut meningkat maka nilai torsi akan menurun, begitu juga sebaliknya. Ketika turbin diberikan beban maka nilai kecepatan sudut akan menurun karena beban terhubung dengan turbin, semakin berat beban yang diberikan maka putaran dari turbin akan semakin kecil. Sebaliknya, jika turbin diberikan beban maka nilai torsi akan muncul karena *load cell* dapat terbaca jika diberikan beban namun ketika *load cell* tidak diberikan beban maka nilai torsi tidak dapat terbaca. Nilai torsi akan semakin tinggi jika beban yang diberikan pada turbin semakin berat akan tetapi jika beban melebihi batasnya maka turbin akan berhenti dan nilai torsi menjadi nol.

Dari data yang sudah didapatkan dapat dihitung nilai TSR dan koefisien daya dengan persamaan (2.3) dan (2.8). Perhitungan dilakukan setiap nilai yang didapat dari beban 0 gram sampai pembebanan hingga turbin berhenti sehingga didapatkan hasil pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 Hasil Perhitungan TSR, C_τ dan C_p pada Konfigurasi IN Sudut Buka 45°

Reynold Number	Konfigurasi IN45		
	TSR	C_τ	C_p
Re 8500	0,690	0.000	0,000
	0,196	0.011	0,002
Re 10500	2,393	0.000	0,000
	0,861	0.028	0,024
	0,554	0.041	0,023
Re 14500	2,264	0.000	0,000
	2,192	0.014	0,030
	1,271	0.019	0,025
	0,708	0.034	0,024
	0,578	0.043	0,025

Data yang telah diperhitungkan tersebut kemudian di plot dalam grafik. Berikut merupakan plot dari koefisien power terhadap TSR.



Gambar 4.10 Nilai C_p terhadap TSR pada Konfigurasi IN dengan Sudut Bukaan 45°

Pada **Gambar 4.10** dapat dilihat ketika koefisien daya mencapai titik maksimum maka nilai selanjutnya akan menurun. Hal ini terjadi karena koefisien daya didapat dari kombinasi dari 2 parameter yakni koefisien torsi dan TSR. Ketika nilai koefisien torsi tinggi maka nilai TSR akan kecil dan begitu sebaliknya (seperti pada **Tabel 4.5**). Hal tersebut yang menyebabkan koefisien daya tidak didapat dari nilai TSR atau koefisien torsi tertinggi karena ketika salah satu parameter memiliki nilai yang tinggi maka parameter lainnya akan memiliki nilai yang rendah sehingga kedua parameter ini harus berada pada satu titik tertentu untuk mendapat koefisien daya terbesar.

Pada grafik tersebut juga terlihat bahwa nilai koefisien daya cenderung meningkat setiap Re meningkat, sedangkan nilai Re dipengaruhi oleh kecepatan aliran seperti pada persamaan (2.5). Ketika nilai Re meningkat maka kecepatan aliran meningkat sehingga energi kinetik yang dihasilkan juga semakin besar yang membuat kedua parameter ini (TSR dan koefisien torsi) akan memiliki koefisien yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan aliran dibawahnya.

Selain menganalisis kinerja dari turbin, karakteristik aliran juga ditinjau pada penelitian ini yakni dengan mengambil data kedalaman dan kecepatan aliran pada titik 1d di depan turbin dan 1d di belakang turbin. Data diambil sebanyak lima kali di setiap titik kemudian dirata-rata. Berikut merupakan data yang didapat.

Tabel 4.6 Data Kedalaman dan Kecepatan Turbin pada Titik (+)1d dan (-)1d dengan Varisi Konfigurasi IN Sudut Buka 45°

Kecepatan Aliran (m/s)	Beban (gram)	Kedalaman (cm)		V (m/s)	
		(+)1d	(-)1d	(+)1d	(-)1d
0,17	0	40,00	39,80	0,161	0,128
0,17	10	39,94	39,62	0,167	0,150
0,21	0	39,92	39,20	0,183	0,128
0,21	10	39,78	39,36	0,200	0,150
0,21	20	39,76	39,46	0,217	0,172
0,29	0	39,76	38,90	0,222	0,189
0,29	10	39,66	38,90	0,211	0,100
0,29	20	39,70	38,70	0,228	0,111
0,29	30	39,64	39,12	0,250	0,211
0,29	40	39,76	39,02	0,289	0,256

Pada **Tabel 4.6** dapat dilihat bahwa seluruh nilai kedalaman pada titik 1d di depan turbin selalu lebih tinggi daripada kedalaman 1d di belakang turbin. Hal ini dapat terjadi karena turbin memiliki *Blockage ratio*. Kemudian pada kecepatan aliran sebelum mengenai turbin juga memiliki nilai yang lebih besar daripada kecepatan aliran setelah mengenai turbin. Hal ini disebabkan karena ketika aliran mengenai turbin ada energi yang diekstraksi ketika melewati turbin sehingga kecepatan (energi kinetik) akan berkurang pada kondisi 1d di belakang turbin.

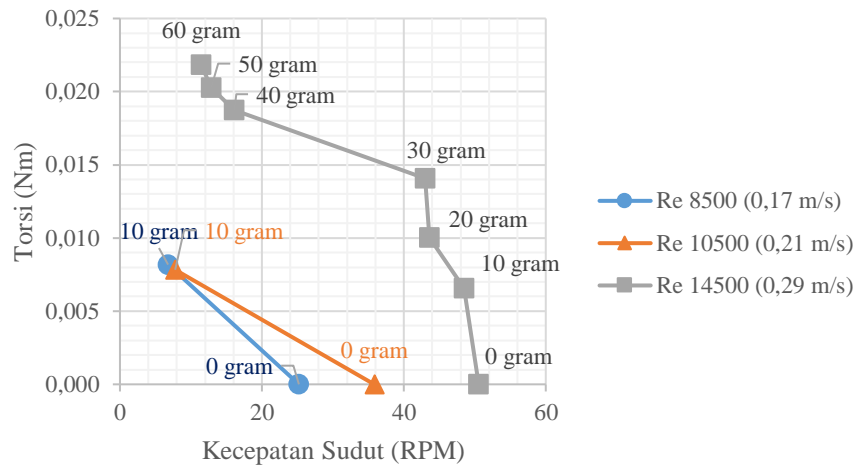
4.4.2 Konfigurasi IN dengan Sudut Buka 90°

Dari pengujian yang telah dilakukan didapat nilai kecepatan sudut dan torsi terhadap pembebanan yang diberikan pada 3 kecepatan aliran. Kemudian dilakukan perhitungan Reynold Number dengan menggunakan persamaan (2.5). Adapun nilai kecepatan sudut dan torsi yang didapat sebagai berikut.

Tabel 4.7 Nilai Kecepatan Sudut dan Torsi terhadap Beban pada Konfigurasi IN 90°

Beban (gram)	Konfigurasi IN90					
	Kecepatan Sudut			Torsi		
	Re 8500	Re 10500	Re 14500	Re 8500	Re 10500	Re 14500
0	25,22	35,82	50,55	0,000	0,000	0,000
10	6,78	7,78	48,50	0,008	0,008	0,007
20			43,61			0,010
30			42,99			0,014
40			16,12			0,019
50			12,86			0,020
60			11,447			0,022

Tabel 4.7 menunjukkan bahwa nilai kecepatan sudut dan torsi tidak sepenuhnya ada pada setiap penambahan beban. Untuk variasi ini pada Re 8500 dan Re 10500 turbin hanya dapat berputar sampai pada pembebanan 10 gram. Kemudian pada Re 14500 turbin dapat berputar sampai pada pembebanan 60 gram. Dari tabel tersebut didapatkan bahwa ketika turbin diberikan beban melebihi batas pembebanan maka turbin akan berhenti berputar sehingga nilai torsi dan kecepatan sudut tidak memiliki nilai pada tabel.



Gambar 4.11 Nilai Torsi terhadap Kecepatan Sudut pada Variasi Konfigurasi IN dengan Sudut Bukaan 90°

Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.11** bahwa Bilangan Reynold yang besar akan menghasilkan nilai kecepatan sudut dan torsi yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan persamaan (2.5) dimana nilai Re dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Semakin tinggi kecepatan aliran maka nilai Re juga akan semakin tinggi begitu juga pada nilai kecepatan sudut, karena kecepatan aliran berbanding lurus dengan nilai kecepatan sudut.

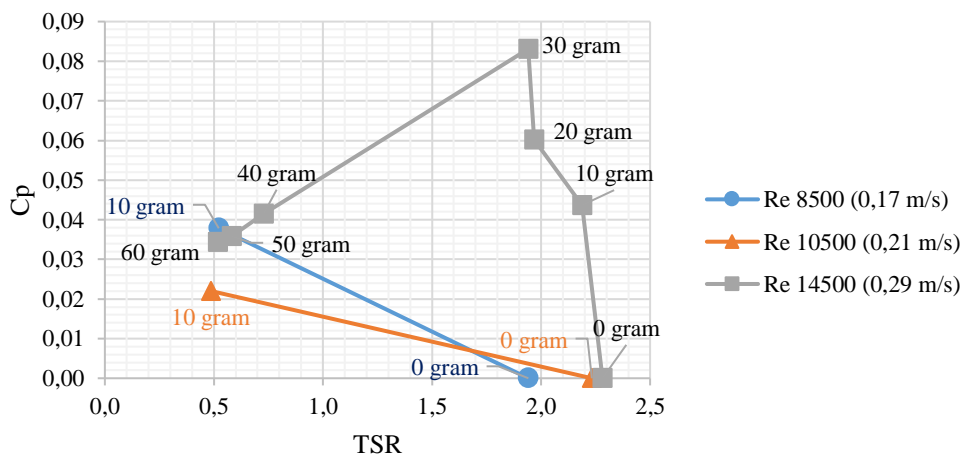
Kemudian terdapat hubungan antara nilai torsi dengan kecepatan sudut yang berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan persamaan daya pada (2.8). Ketika turbin diberikan beban maka nilai kecepatan sudut akan menurun karena beban terhubung dengan turbin, semakin berat beban yang diberikan maka putaran dari turbin akan semakin kecil. Sebaliknya, jika turbin diberikan beban maka nilai torsi akan muncul karena *load cell* dapat terbaca jika diberikan beban namun ketika *load cell* tidak diberikan beban maka nilai torsi tidak dapat terbaca. Nilai torsi akan semakin tinggi jika beban yang diberikan pada turbin semakin berat akan tetapi jika beban melebihi batasnya maka turbin akan berhenti dan nilai torsi menjadi nol.

Data tersebut kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai TSR, koefisien torsi dan koefisien daya dengan menggunakan persamaan (2.3), (2.7) dan (2.8) sehingga didapat hasil pada **Tabel 4.8** Hasil Perhitungan TSR, C_τ dan C_p pada Konfigurasi IN Sudut Buka 90°

Tabel 4.8 Hasil Perhitungan TSR, C_τ dan C_p pada Konfigurasi IN Sudut Buka 90°

Reynold Number	Konfigurasi IN90		
	TSR	C_τ	C_p
Re 8500	1,942	0.000	0,000
	0,522	0.073	0,038
Re 10500	2,233	0.000	0,000
	0,485	0.046	0,022
Re 14500	2,282	0.000	0,000
	2,189	0.020	0,044
	1,968	0.031	0,060
	1,940	0.043	0,083
	0,728	0.057	0,042
	0,580	0.062	0,036
	0,517	0.067	0,034

Pada **Gambar 4.12** dapat dilihat grafik antara koefisien daya dengan TSR. Parameter yang memengaruhi koefisien daya yakni koefisien torsi dan TSR. Koefisien torsi dipengaruhi oleh nilai torsi dan TSR dipengaruhi oleh kecepatan sudut. Nilai koefisien torsi dan TSR berbanding terbalik seperti nilai torsi dan kecepatan sudut. Pada grafik sebelumnya telah di plot mengenai nilai torsi terhadap kecepatan sudut yakni ketika turbin diberikan pembebanan maka nilai torsi akan meningkat sedangkan kecepatan sudut akan menurun. Hal ini menunjukkan bahwa pembebanan memengaruhi momen inersia dari turbin. Jadi naik dan turunnya kedua parameter ini akan menyebabkan nilai koefisien daya yang bervariasi.



Gambar 4.12 Nilai C_p terhadap TSR pada Konfigurasi IN dengan Sudut Buka 90°

Ketika koefisien daya mencapai titik maksimum maka nilai selanjutnya akan menurun. Hal ini terjadi karena koefisien daya didapat dari kombinasi dari 2 parameter yakni koefisien torsi dan TSR. Ketika nilai koefisien torsi tinggi maka nilai TSR akan kecil dan begitu sebaliknya (seperti pada **Tabel 4.8**). Hal tersebut yang menyebabkan koefisien daya tidak didapat dari nilai TSR atau koefisien torsi tertinggi karena ketika salah satu parameter memiliki nilai yang tinggi maka parameter lainnya akan memiliki nilai yang rendah sehingga kedua parameter ini harus berada pada satu titik tertentu untuk mendapat koefisien daya terbesar.

Pada grafik tersebut juga terlihat bahwa nilai koefisien daya cenderung meningkat setiap Re meningkat, sedangkan nilai Re dipengaruhi oleh kecepatan aliran seperti pada persamaan (2,5). Ketika nilai Re meningkat maka kecepatan aliran meningkat sehingga energi kinetik yang dihasilkan juga semakin besar yang membuat kedua parameter ini (TSR dan koefisien torsi) akan memiliki koefisien yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan aliran dibawahnya.

Kemudian setelah kinerja dari turbin dianalisis maka karakteristik aliran juga ditinjau pada penelitian ini yakni dengan mengambil data kedalaman dan kecepatan aliran pada titik 1d di depan turbin dan 1d di belakang turbin. Data diambil sebanyak lima kali di setiap titik kemudian dirata-rata.

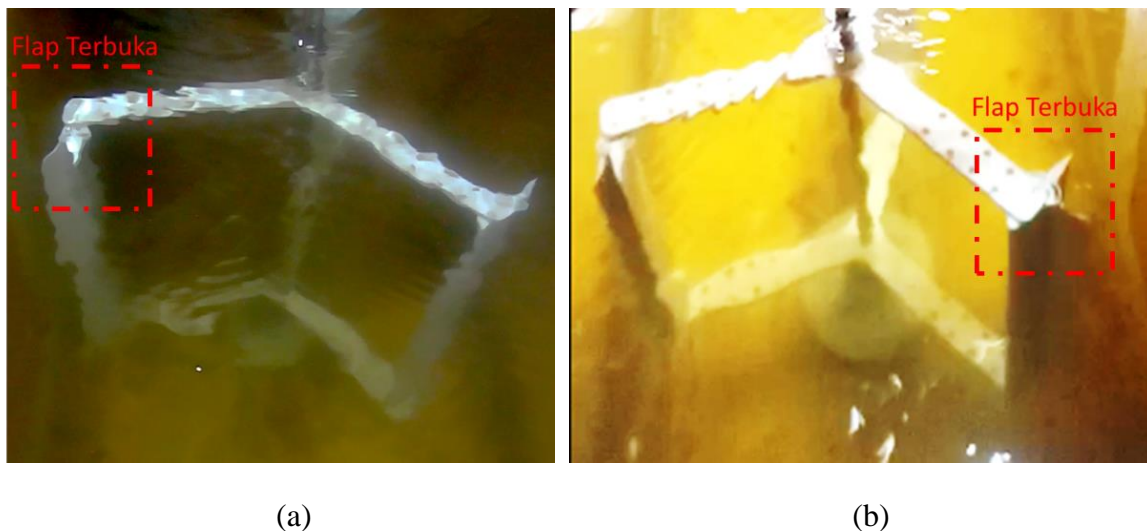
Tabel 4.9 Data Kedalaman dan Kecepatan Turbin pada Titik (+)1d dan (-)1d dengan Varisi Konfigurasi IN Sudut Buka 90°

Kecepatan Aliran (m/s)	Beban (gram)	Kedalaman (cm)		V (m/s)	
		(+)1d	(-)1d	(+)1d	(-)1d
0,17	0	39,96	39,80	0,156	0,094
0,17	10	39,90	39,80	0,167	0,161
0,21	0	39,88	39,82	0,211	0,139
0,21	10	39,94	39,82	0,211	0,217
0,29	0	40,70	39,60	0,239	0,156
0,29	10	40,70	39,50	0,250	0,133
0,29	20	40,70	39,76	0,211	0,150
0,29	30	40,50	39,70	0,244	0,156
0,29	40	40,70	39,92	0,339	0,250
0,29	50	40,36	39,50	0,278	0,239
0,29	60	40,70	39,70	0,289	0,228

Pada **Tabel 4.9** dapat dilihat bahwa seluruh nilai kedalaman pada titik 1d di depan turbin selalu lebih tinggi daripada kedalaman 1d di belakang turbin. Hal ini dapat terjadi karena turbin memiliki *Blockage ratio*. Kemudian pada kecepatan aliran sebelum mengenai turbin juga memiliki nilai yang lebih besar daripada kecepatan aliran setelah mengenai turbin. Hal ini disebabkan karena ketika aliran mengenai turbin ada energi yang diekstraksi ketika melewati turbin sehingga kecepatan (energi kinetik) akan berkurang pada kondisi 1d di belakang turbin.

4.3 Pengujian Turbin pada Variasi Konfigurasi OUT

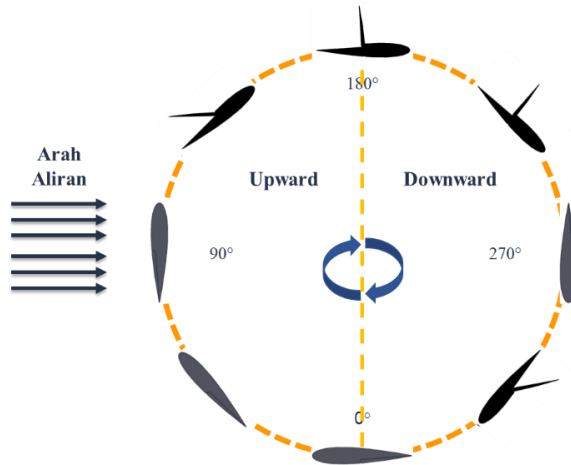
Flap pada variasi konfigurasi OUT hanya memiliki 1 posisi dimana *flap* akan terbuka yakni pada sudut azimuth 90° sampai 240° . Pada sudut azimuth 90° sampai 180° *flap* akan mulai terbuka kemudian pada azimuth 180° sampai 240° *flap* akan terbuka penuh kemudian menutup kembali dan akan terbuka kembali pada azimuth 330° . Berikut merupakan contoh bukaan *flap* pada turbin yang di *capture* dari video pengambilan data.



Gambar 4.13 Variasi Konfigurasi OUT ketika Pengambilan Data pada (a) Aliran *Upstream* ; (b) Aliran *Downstream*

Gambar 4.14 menunjukkan perilaku *flap* pada konfigurasi OUT. Pada konfigurasi ini *flap* akan mulai terbuka yakni pada azimuth 90° yang mana pada kondisi ini *hydrofoil* juga mulai membelakangi arah aliran sehingga *flap* OUT akan mulai terbuka oleh aliran yang menabraknya. Kemudian ketika *hydrofoil* mendekati azimuth 180° maka *hydrofoil* akan tepat membelakangi arah aliran tersebut. Oleh karena itu pada azimuth 180° dan seterusnya *flap* akan terbuka penuh sesuai dengan variasi sudut bukaan yang digunakan (45° atau 90°) sampai pada azimuth 240° . Setelah azimuth 240° *flap* pada konfigurasi OUT mulai tertutup

karena setelah sudut azimuth 240° *flap* sudah tertutup oleh permukaan *hydrofoil* sehingga aliran sudah tidak bisa membuka *flap*. Kemudian *flap* akan terbuka kembali pada sudut azimuth 330° karena terdapat aliran balik seperti yang terjadi pada konfigurasi IN.



Gambar 4.14 Perilaku *Flap* pada Variasi Konfigurasi OUT

Dampak dari penggunaan *flap* OUT yakni untuk memanfaatkan gaya *drag* pada *hydrofoil* karena *flap* terdorong langsung oleh aliran sehingga *hydrofoil* akan memiliki gaya tambahan untuk berputar. Akan tetapi ketika *flap* terbuka pada sudut azimuth 330° memiliki dampak negative karena aliran yang diterima *hydrofoil* tersebut sudah mengalami *wake*. *Flap* dengan sudut bukaan 45° dan 90° memiliki perilaku yang sama, hanya luas permukaan yang berbeda ketika ditabrak oleh aliran. Berikut merupakan hasil pengujian pada konfigurasi OUT dengan sudut bukaan 45° dan 90° .

4.3.1 Konfigurasi OUT dengan Sudut Bukaan 45°

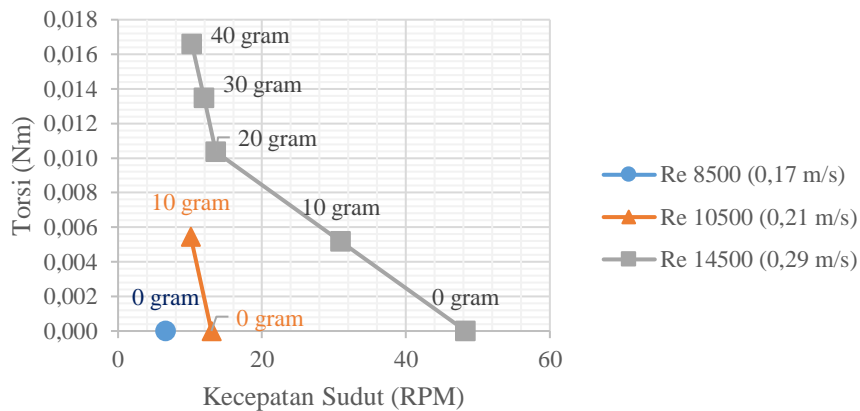
Dari pengujian yang telah dilakukan didapat nilai kecepatan sudut dan torsi terhadap pembebanan yang diberikan pada 3 kecepatan aliran. Kemudian dilakukan perhitungan Reynold Number dengan menggunakan persamaan (2.5). Adapun nilai kecepatan sudut dan torsi yang didapat sebagai berikut.

Tabel 4.10 Nilai Kecepatan Sudut dan Torsi terhadap Beban pada Konfigurasi OUT 45°

Beban (gram)	Konfigurasi OUT45					
	Kecepatan Sudut			Torsi		
	Re 8500	Re 10500	Re 14500	Re 8500	Re 10500	Re 14500
0	6,62	12,97	48,31	0,000	0,000	0,000
10		10,09	30,97		0,005	0,005
20			13,62			0,010
30			11,93			0,013
40			10,25			0,017

Seperti yang terlihat pada **Tabel 4.10** menunjukkan bahwa nilai kecepatan sudut dan torsi tidak selalu memiliki nilai setiap penambahan beban yang diberikan. Pada Re 8500 turbin hanya dapat berputar dengan kondisi tanpa beban. Sedangkan pada Re 10500 turbin dapat berputar sampai pembebanan 10 gram dan pada Re 14500 sampai pada pembebanan 40 gram. Dari tabel tersebut didapatkan bahwa ketika turbin diberikan beban melebihi batas pembebanan maka turbin akan berhenti berputar sehingga nilai torsi dan kecepatan sudut tidak memiliki nilai pada tabel.

Gambar 4.15 menunjukkan bahwa Bilangan Reynold yang besar akan menghasilkan nilai kecepatan sudut dan torsi yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan persamaan (2.5) dimana nilai Re dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Semakin tinggi kecepatan aliran maka nilai Re juga akan semakin tinggi begitu juga pada nilai kecepatan sudut, karena kecepatan aliran berbanding lurus dengan nilai kecepatan sudut.



Gambar 4.15 Nilai Torsi terhadap Kecepatan Sudut pada Variasi Konfigurasi OUT dengan Sudut Buka 45°

Hubungan antara nilai torsi dengan kecepatan sudut yakni berbanding terbalik seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.15**. Hal ini sesuai dengan persamaan daya pada (2.8) dimana ketika nilai kecepatan sudut meningkat maka nilai torsi akan menurun, begitu juga sebaliknya. Ketika turbin diberikan beban maka nilai kecepatan sudut akan menurun karena beban terhubung dengan turbin, semakin berat beban yang diberikan maka putaran dari turbin akan semakin kecil. Sebaliknya, jika turbin diberikan beban maka nilai torsi akan muncul karena *load cell* dapat terbaca jika diberikan beban namun ketika *load cell* tidak diberikan beban maka nilai torsi tidak dapat terbaca. Nilai torsi akan semakin tinggi jika

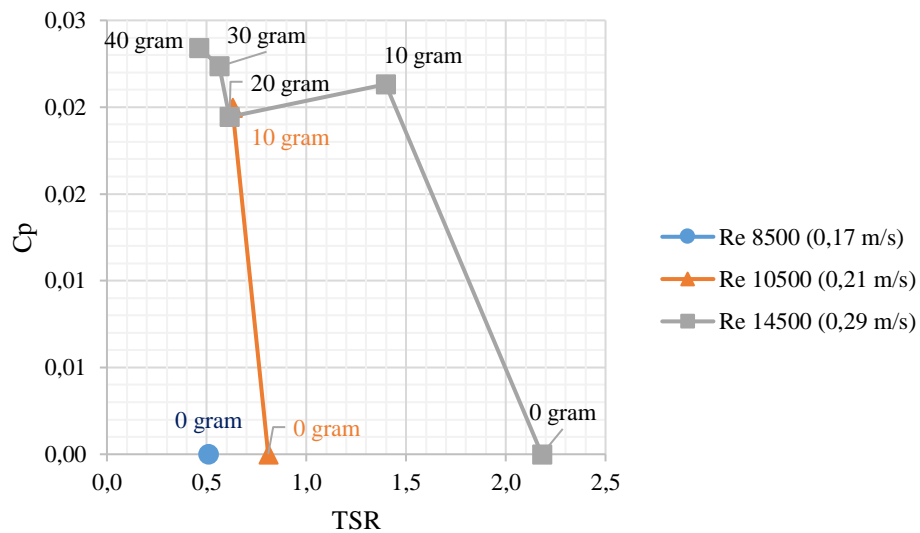
beban yang diberikan pada turbin semakin berat akan tetapi jika beban melebihi batasnya maka turbin akan berhenti dan nilai torsi menjadi nol.

Dari data yang sudah didapatkan dapat dihitung nilai TSR dan koefisien torsi sesuai pada persamaan (2.3), (2.7) dan (2.8) dan didapatkan hasil perhitungan pada **Tabel 4.11**.

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan TSR, C_τ dan C_p pada Konfigurasi OUT Sudut Buka 45°

Reynold Number	Konfigurasi OUT45		
	TSR	C_τ	C_p
Re 8500	0,510	0,000	0,000
Re 10500	0,808	0,000	0,000
	0,629	0,032	0,020
Re 14500	2,181	0,000	0,000
	1,398	0,015	0,021
	0,615	0,032	0,019
	0,564	0,040	0,022
	0,462	0,051	0,023

Data perhitungan tersebut kemudian di plot dalam sebuah grafik. Berikut merupakan grafik koefisien daya terhadap TSR.



Gambar 4.16 Nilai C_p terhadap TSR pada Konfigurasi OUT dengan Sudut Buka 45°

Gambar 4.16 menunjukkan nilai koefisien daya terhadap TSR. Pada grafik tersebut terlihat trendline dari nilai koefisien daya yang cenderung menurun setiap peningkatan nilai TSR. Kemudian ketika nilai koefisien daya mencapai kondisi tertinggi maka nilai koefisien daya akan menurun (seperti pada **Tabel 4.11**). Hal ini terjadi karena koefisien daya dipengaruhi oleh koefisien torsi dengan nilai TSR, ketika nilai koefisien torsi tinggi maka

nilai TSR akan kecil sehingga koefisien daya maksimum tidak dihasilkan dari nilai TSR dan koefisien torsi yang tinggi melainkan dari titik kombinasi TSR dan koefisien torsi yang optimal.

Pada grafik tersebut juga terlihat bahwa nilai koefisien daya cenderung meningkat setiap Re meningkat, sedangkan nilai Re dipengaruhi oleh kecepatan aliran seperti pada persamaan (2,5). Ketika nilai Re meningkat maka kecepatan aliran meningkat sehingga energi kinetik yang dihasilkan juga semakin besar yang membuat kedua parameter ini (TSR dan koefisien torsi) akan memiliki koefisien yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan aliran dibawahnya.

Selain menganalisis kinerja dari turbin, karakteristik aliran juga ditinjau pada penelitian ini yakni dengan mengambil data kedalaman dan kecepatan aliran pada titik 1d di depan turbin dan 1d di belakang turbin. Data diambil sebanyak lima kali di setiap titik kemudian dirata-rata. Berikut merupakan data yang didapat.

Tabel 4.12 Data Kedalaman dan Kecepatan Turbin pada Titik (+)1d dan (-)1d dengan Varisi Konfigurasi OUT Sudut Buka 45°

Kecepatan Aliran (m/s)	Beban (gram)	Kedalaman (cm)		V (m/s)	
		(+)1d	(-)1d	(+)1d	(-)1d
0,17	0	39,54	38,76	0,149	0,126
0,21	0	39,32	38,98	0,200	0,150
0,21	10	39,48	38,82	0,227	0,169
0,29	0	39,58	38,72	0,241	0,163
0,29	10	39,34	38,92	0,253	0,159
0,29	20	39,47	38,98	0,269	0,197
0,29	30	39,26	39,04	0,275	0,226
0,29	40	39,85	39,10	0,288	0,243

Tabel 4.12 menunjukkan bahwa seluruh nilai kedalaman pada titik 1d di depan turbin selalu lebih tinggi daripada kedalaman 1d di belakang turbin. Hal ini dapat terjadi karena turbin memiliki *Blockage ratio*. Kemudian pada kecepatan aliran sebelum mengenai turbin juga memiliki nilai yang lebih besar daripada kecepatan aliran setelah mengenai turbin. Hal ini disebabkan karena ketika aliran mengenai turbin ada energi yang diekstraksi ketika melewati turbin sehingga kecepatan (energi kinetik) akan berkurang pada kondisi 1d di belakang turbin.

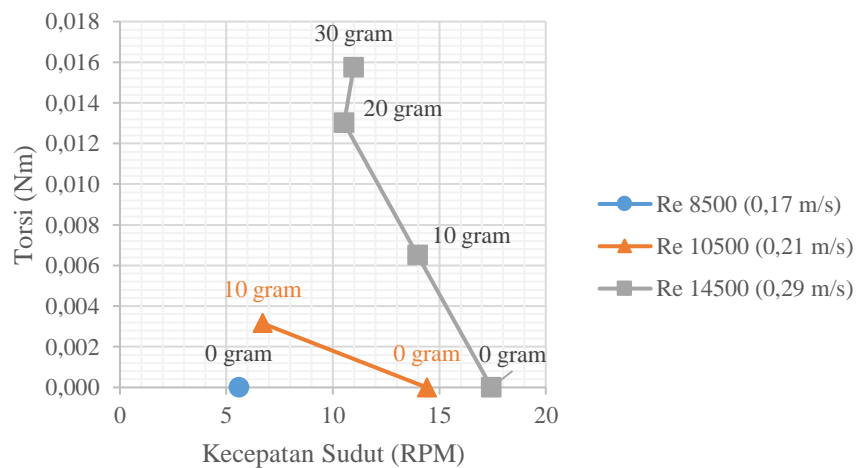
4.3.2 Konfigurasi OUT dengan Sudut Buka 90°

Dari pengujian yang telah dilakukan didapat nilai kecepatan sudut dan torsi terhadap pembebanan yang diberikan pada 3 kecepatan aliran. Kemudian dilakukan perhitungan Reynold Number dengan menggunakan persamaan (2.5). Adapun nilai kecepatan sudut dan torsi yang didapat sebagai berikut.

Tabel 4.13 Nilai Kecepatan Sudut dan Torsi terhadap Beban pada Konfigurasi OUT 90°

Beban (gram)	Konfigurasi OUT90					
	Kecepatan Sudut			Torsi		
	Re 8500	Re 10500	Re 14500	Re 8500	Re 10500	Re 14500
0	5,58	14,41	17,45	0,000	0,000	0,000
10		6,69	13,99		0,003	0,006
20			10,53			0,013
30			10,97			0,016

Pada **Tabel 4.13** terlihat bahwa nilai kecepatan sudut dan torsi yang tidak terdapat pada tabel menunjukkan bahwa turbin tidak berputar. Turbin dengan Re 8500 hanya mampu berputar dengan kondisi turbin tidak diberikan beban. Sedangkan pada Re 10500 turbin dapat berputar sampai pembebanan 10 gram dan 30 gram pada Re 14500. Dari tabel tersebut didapatkan bahwa ketika turbin diberikan beban melebihi batas pembebanan maka turbin akan berhenti berputar sehingga nilai torsi dan kecepatan sudut tidak memiliki nilai pada tabel.



Gambar 4.17 Nilai Torsi terhadap Kecepatan Sudut pada Variasi Konfigurasi OUT dengan Sudut Buka 90°

Pada **Gambar 4.17** dapat dilihat bahwa Bilangan Reynold yang besar akan menghasilkan nilai kecepatan sudut dan torsi yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan

persamaan (2.5) dimana nilai Re dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Semakin tinggi kecepatan aliran maka nilai Re juga akan semakin tinggi begitu juga pada nilai kecepatan sudut, karena kecepatan aliran berbanding lurus dengan nilai kecepatan sudut.

Kemudian terdapat hubungan antara nilai torsi dengan kecepatan sudut yang berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan persamaan daya pada (2.8) dimana ketika nilai kecepatan sudut meningkat maka nilai torsi akan menurun, begitu juga sebaliknya. Ketika turbin diberikan beban maka nilai kecepatan sudut akan menurun karena beban terhubung dengan turbin, semakin berat beban yang diberikan maka putaran dari turbin akan semakin kecil. Sebaliknya, jika turbin diberikan beban maka nilai torsi akan muncul karena *load cell* dapat terbaca jika diberikan beban namun ketika *load cell* tidak diberikan beban maka nilai torsi tidak dapat terbaca. Nilai torsi akan semakin tinggi jika beban yang diberikan pada turbin semakin berat akan tetapi jika beban melebihi batasnya maka turbin akan berhenti dan nilai torsi menjadi nol.

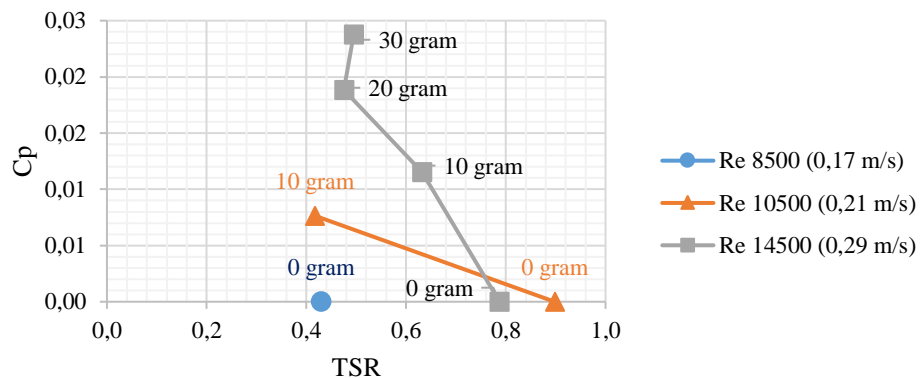
Data tersebut kemudian dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai TSR dan koefisien daya. Perhitungan dilakukan setiap nilai yang didapat dari beban 0 gram sampai pembebanan hingga turbin berhenti sehingga didapat nilai pada **Tabel 4.14**

Tabel 4.14 Hasil Perhitungan TSR, C_τ dan C_p pada Konfigurasi OUT Sudut Buka 90°

Reynold Number	Konfigurasi OUT90		
	TSR	C_τ	C_p
Re 8500	0,429	0.000	0,000
Re 10500	0,898	0.000	0,000
	0,417	0.018	0,008
Re 14500	0,788	0.000	0,000
	0,631	0.018	0,012
	0,475	0.040	0,019
	0,495	0.048	0,024

Gambar 4.18 menunjukkan grafik koefisien daya terhadap TSR. Nilai koefisien daya didapat dari koefisien torsi dikalikan dengan TSR. Pada grafik tersebut terlihat bahwa nilai koefisien daya cenderung meningkat setiap Reynold number meningkat, hal ini dikarenakan ketika Reynold number meningkat maka kecepatan aliran meningkat sehingga energi kinetik yang dihasilkan juga semakin besar maka kedua parameter ini (TSR dan koefisien torsi) akan memiliki koefisien yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan aliran dibawahnya. Nilai koefisien daya maksimum didapat dari nilai TSR tertentu (seperti pada **Tabel 4.14**),

pada variasi konfigurasi ini nilai koefisien daya maksimum terjadi pada TSR 0,495 yakni pada Re 14500 dengan pembebanan 30 gram.



Gambar 4.18 Nilai C_p terhadap TSR pada Konfigurasi OUT dengan Sudut Buka 90°

Kemudian karakteristik aliran juga ditinjau pada penelitian ini yakni dengan mengambil data kedalaman dan kecepatan aliran pada titik 1d di depan turbin dan 1d di belakang turbin. Data diambil sebanyak lima kali di setiap titik kemudian dirata-rata. Berikut merupakan data yang didapat.

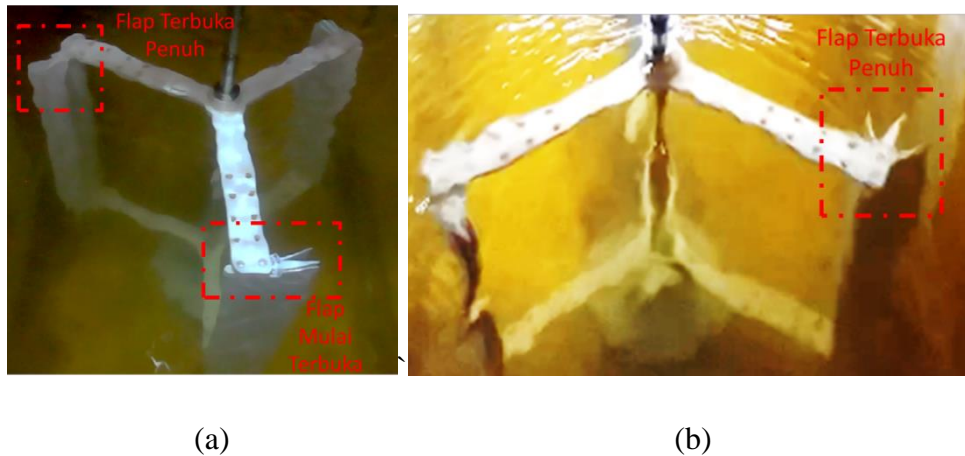
Tabel 4.15 Data Kedalaman dan Kecepatan Turbin pada Titik (+)1d dan (-)1d dengan Variasi Konfigurasi OUT Sudut Buka 90°

Kecepatan Aliran (m/s)	Beban (gram)	Kedalaman (cm)		V (m/s)	
		(+)1d	(-)1d	(+)1d	(-)1d
0,17	0	39,46	38,84	0,131	0,107
0,21	0	39,36	38,94	0,189	0,143
0,21	10	39,36	38,94	0,209	0,178
0,29	0	39,45	38,86	0,235	0,206
0,29	10	39,38	38,92	0,267	0,214
0,29	20	39,52	39,12	0,273	0,244
0,29	30	39,43	38,87	0,281	0,254

Tabel 4.15 dapat dilihat bahwa seluruh nilai kedalaman pada titik 1d di depan turbin selalu lebih tinggi daripada kedalaman 1d di belakang turbin. Hal ini dapat terjadi karena turbin memiliki *blockage ratio*. Kemudian pada kecepatan aliran sebelum mengenai turbin juga memiliki nilai yang lebih besar daripada kecepatan aliran setelah mengenai turbin. Hal ini disebabkan karena ketika aliran mengenai turbin ada energi yang diekstraksi ketika melewati turbin sehingga kecepatan (energi kinetik) akan berkurang pada kondisi 1d di belakang turbin.

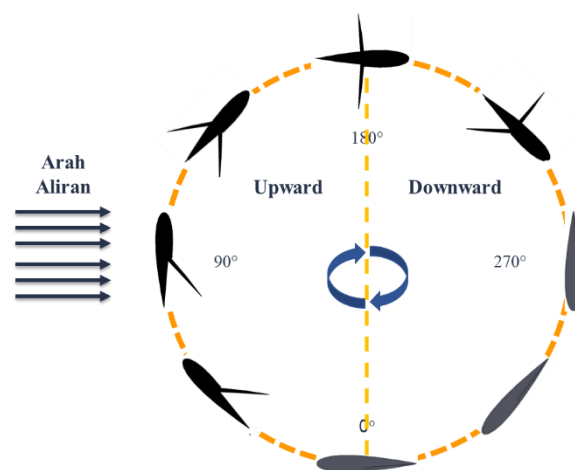
4.4 Pengujian Turbin pada Variasi Konfigurasi BOTH

Pada variasi konfigurasi BOTH terdapat 2 *flap* yang dikombinasikan yakni *flap* IN dan *flap* OUT. Untuk perilaku *flap* tersebut sama dengan *flap* sebelumnya yakni untuk *flap* IN terdapat 2 posisi *flap* terbuka pada azimuth 0° sampai 90° dan 90° sampai 190° . Kemudian untuk *flap* OUT akan mulai terbuka pada azimuth 90° sampai 240° . Berikut merupakan contoh bukaan *flap* pada turbin yang di capture dari video ketika pengambilan data.



Gambar 4.19 Variasi Konfigurasi BOTH ketika Pengambilan Data pada (a) Aliran *Upstream* ; (b) Aliran *Downstream*

Dari video pengambilan data dapat dirangkum perilaku *flap* ketika terbuka dan tertutup pada gambar berikut.



Gambar 4.20 Perilaku *Flap* pada Variasi Konfigurasi BOTH

Konfigurasi *flap* BOTH merupakan kombinasi dari *flap* IN dan *flap* OUT. Perilaku dari *flap* ini dilakukan dengan meninjau 1 bagian *flap* yakni IN dan OUT. *Flap* IN pada konfigurasi BOTH memiliki perilaku yang sama yakni *flap* pada azimuth 0° sampai 90° akan

terbuka ketika nilai *angle of attack* mampu membuat aliran mengalami separasi seperti pada **Gambar 4.20**. Ketika aliran mengalami separasi maka terdapat aliran balik yang mampu membuat *flap* terbuka. Kemudian ketika *flap* IN berada pada azimuth 90° sampai 190° , *hydrofoil* akan membelakangi aliran sehingga *flap* IN akan terbuka. Selanjutnya pada tinjauan *flap* OUT, yakni *flap* OUT akan mulai terbuka pada azimuth 90° sampai dengan 240° . Hal ini sama seperti konfigurasi OUT sebelumnya yakni memanfaatkan arah aliran untuk membuka *flap* OUT dengan posisi *hydrofoil* membelakangi aliran.

Penggunaan *flap* BOTH pada *hydrofoil* memberikan pengaruh yang tidak jauh berbeda dengan konfigurasi sebelumnya. Pada konfigurasi ini *flap* IN akan menghalangi aliran balik menuju leading sehingga gaya *lift* tidak berkurang dan dapat membantu *hydrofoil* untuk bergerak. Kemudian *flap* IN dan *flap* OUT dapat memanfaatkan gaya *drag* yang dihasilkan *flap* dari dorongan aliran untuk pergerakan *hydrofoil*.

4.4.1 Konfigurasi BOTH dengan Sudut Buka 45°

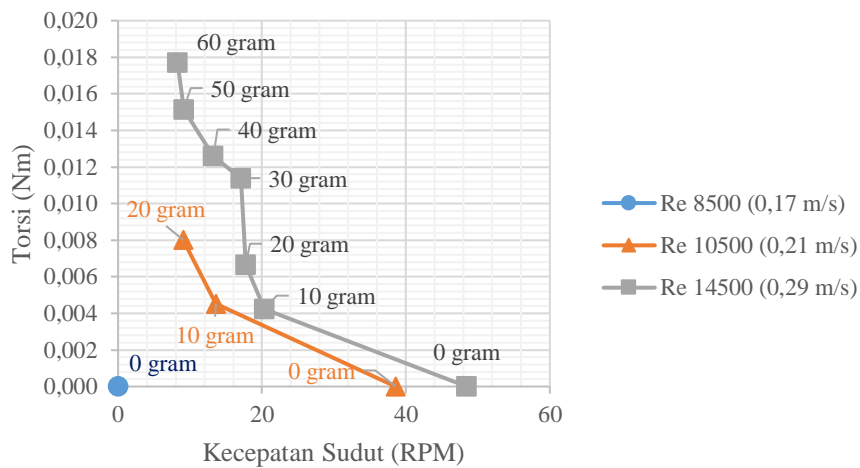
Dari pengujian yang telah dilakukan didapat nilai kecepatan sudut dan torsi terhadap pembebanan yang diberikan pada 3 kecepatan aliran. Kemudian dilakukan perhitungan Reynold Number dengan menggunakan persamaan (2.5). Adapun nilai kecepatan sudut dan torsi yang didapat sebagai berikut.

Tabel 4.16 Nilai Kecepatan Sudut dan Torsi terhadap Beban pada Konfigurasi BOTH 45°

Beban (gram)	Konfigurasi BOTH45					
	Kecepatan Sudut			Torsi		
	Re 8500	Re 10500	Re 14500	Re 8500	Re 10500	Re 14500
0	0,00	38,57	48,46	0,000	0,000	0,000
10		13,60	20,33		0,005	0,004
20		9,72	17,73		0,008	0,007
30			16,54			0,011
40			13,24			0,013
50			9,11			0,015
60			8,272			0,018

Pada **Tabel 4.16** terlihat bahwa nilai kecepatan sudut dan torsi tidak sepenuhnya ada pada setiap penambahan beban. Untuk variasi ini pada Re 8500 turbin tidak dapat berputar dan pada Re 10500 turbin hanya dapat berputar sampai pada pembebanan 20 gram. Kemudian pada Re 14500 turbin dapat berputar sampai pada pembebanan 60 gram. Dari tabel tersebut didapatkan bahwa ketika turbin diberikan beban melebihi batas pembebanan

maka turbin akan berhenti berputar sehingga nilai torsi dan kecepatan sudut tidak memiliki nilai pada tabel.



Gambar 4.21 Nilai Torsi terhadap Kecepatan Sudut pada Variasi Konfigurasi BOTH dengan Sudut Buka 45°

Grafik torsi terhadap kecepatan sudut pada **Gambar 4.21** menunjukkan bahwa Bilangan Reynold yang besar akan menghasilkan nilai kecepatan sudut dan torsi yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan persamaan (2.5) dimana nilai Re dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Semakin tinggi kecepatan aliran maka nilai Re juga akan semakin tinggi begitu juga pada nilai kecepatan sudut, karena kecepatan aliran berbanding lurus dengan nilai kecepatan sudut.

Kemudian terdapat hubungan antara nilai torsi dengan kecepatan sudut yang berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan persamaan daya pada (2.8) dimana ketika nilai kecepatan sudut meningkat maka nilai torsi akan menurun, begitu juga sebaliknya. Ketika turbin diberikan beban maka nilai kecepatan sudut akan menurun karena beban terhubung dengan turbin, semakin berat beban yang diberikan maka putaran dari turbin akan semakin kecil. Sebaliknya, jika turbin diberikan beban maka nilai torsi akan muncul karena *load cell* dapat terbaca jika diberikan beban namun ketika *load cell* tidak diberikan beban maka nilai torsi tidak dapat terbaca. Nilai torsi akan semakin tinggi jika beban yang diberikan pada turbin semakin berat akan tetapi jika beban melebihi batasnya maka turbin akan berhenti dan nilai torsi menjadi nol.

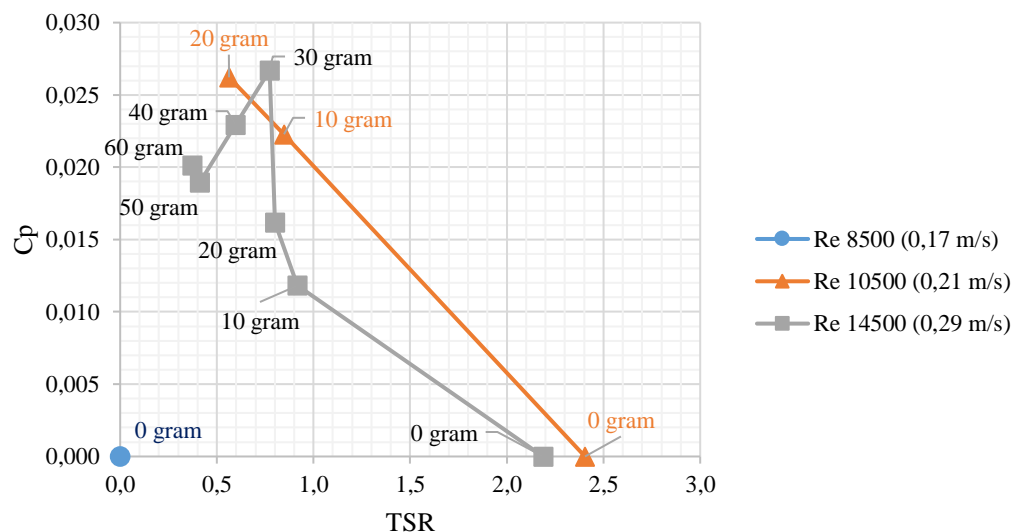
Dari data yang sudah didapatkan dapat dihitung nilai TSR dan koefisien torsi sesuai pada persamaan (2.3) dan persamaan (2.7). Perhitungan dilakukan setiap nilai yang didapat dari beban 0 gram sampai pembebanan hingga turbin berhenti. Kemudian dilakukan

perhitungan koefisien daya dengan menggunakan persamaan (2.8) sehingga didapatkan hasil seperti pada **Tabel 4.17**.

Tabel 4.17 Hasil Perhitungan TSR, C_t dan C_p pada Konfigurasi BOTH Sudut Buka 45°

Reynold Number	Konfigurasi BOTH45		
	TSR	C_t	C_p
Re 8500	0,000	0.000	0,000
Re 10500	2,404	0.000	0,000
	0,847	0.026	0,022
	0,563	0.047	0,026
Re 14500	2,187	0.000	0,000
	0,917	0.013	0,012
	0,800	0.020	0,016
	0,772	0.035	0,027
	0,598	0.038	0,023
	0,411	0.046	0,019
	0,373	0.054	0,020

Data yang telah diperhitungkan tersebut kemudian di plot dalam sebuah grafik. Berikut merupakan plot dari koefisien daya terhadap TSR.



Gambar 4.22 Nilai C_p terhadap TSR pada Konfigurasi BOTH dengan Sudut Buka 45°

Pada **Gambar 4.22** dapat dilihat grafik antara koefisien daya dengan TSR. Parameter yang memengaruhi koefisien daya yakni koefisien torsi dan TSR. Koefisien torsi dipengaruhi oleh nilai torsi dan TSR dipengaruhi oleh kecepatan sudut. Nilai koefisien torsi dan TSR berbanding terbalik seperti nilai torsi dan kecepatan sudut. Pada grafik sebelumnya telah di plot mengenai nilai torsi terhadap kecepatan sudut yakni ketika turbin diberikan

pembebanan maka nilai torsi akan meningkat sedangkan kecepatan sudut akan menurun. Hal ini menunjukkan bahwa pembebanan memengaruhi momen inersia dari turbin. Jadi naik dan turunnya kedua parameter ini akan menyebabkan nilai koefisien daya yang bervariasi.

Ketika koefisien daya mencapai titik maksimum maka nilai selanjutnya akan menurun. Hal ini terjadi karena koefisien daya didapat dari kombinasi dari 2 parameter yakni koefisien torsi dan TSR. Ketika nilai koefisien torsi tinggi maka nilai TSR akan kecil dan begitu sebaliknya (seperti pada **Tabel 4.17**). Hal tersebut yang menyebabkan koefisien daya tidak didapat dari nilai TSR atau koefisien torsi tertinggi karena ketika salah satu parameter memiliki nilai yang tinggi maka parameter lainnya akan memiliki nilai yang rendah sehingga kedua parameter ini harus berada pada satu titik tertentu untuk mendapat koefisien daya terbesar.

Pada grafik tersebut juga terlihat bahwa nilai koefisien daya cenderung meningkat setiap Re meningkat, sedangkan nilai Re dipengaruhi oleh kecepatan aliran seperti pada persamaan (2,5). Ketika nilai Re meningkat maka kecepatan aliran meningkat sehingga energi kinetik yang dihasilkan juga semakin besar yang membuat kedua parameter ini (TSR dan koefisien torsi) akan memiliki koefisien yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan aliran dibawahnya.

Selain menganalisis kinerja dari turbin, karakteristik aliran juga ditinjau pada penelitian ini yakni dengan mengambil data kedalaman dan kecepatan aliran pada titik 1d di depan turbin dan 1d di belakang turbin.

Tabel 4.18 Data Kedalaman dan Kecepatan Turbin pada Titik (+)1d dan (-)1d dengan Varisi Konfigurasi BOTH Sudut Buka 45°

Kecepatan Aliran (m/s)	Beban (gram)	Kedalaman (cm)		V (m/s)	
		(+)1d	(-)1d	(+)1d	(-)1d
0,17	0	39,50	39,02	0,163	0,138
0,21	0	40,32	39,70	0,222	0,122
0,21	10	40,04	39,62	0,200	0,167
0,21	20	40,00	39,74	0,239	0,189
0,29	0	40,32	39,46	0,228	0,161
0,29	10	40,22	39,36	0,239	0,156
0,29	20	40,16	39,42	0,278	0,239
0,29	30	40,22	39,64	0,283	0,228
0,29	40	40,28	39,50	0,294	0,222
0,29	50	40,04	39,56	0,283	0,244
0,29	60	40,18	39,38	0,289	0,183

Pada **Tabel 4.18** dapat dilihat bahwa seluruh nilai kedalaman pada titik 1d di depan turbin selalu lebih tinggi daripada kedalaman 1d di belakang turbin. Hal ini dapat terjadi karena turbin memiliki *Blockage ratio*. Kemudian pada kecepatan aliran sebelum mengenai turbin juga memiliki nilai yang lebih besar daripada kecepatan aliran setelah mengenai turbin. Hal ini disebabkan karena ketika aliran mengenai turbin ada energi yang diekstraksi ketika melewati turbin sehingga kecepatan (energi kinetik) akan berkurang pada kondisi 1d di belakang turbin.

4.4.2 Konfigurasi BOTH dengan Sudut Buka 90°

Dari pengujian yang telah dilakukan didapat nilai kecepatan sudut dan torsi terhadap pembebanan yang diberikan pada 3 kecepatan aliran. Kemudian dilakukan perhitungan Reynold Number dengan menggunakan persamaan (2.5). Adapun nilai kecepatan sudut dan torsi yang didapat sebagai berikut.

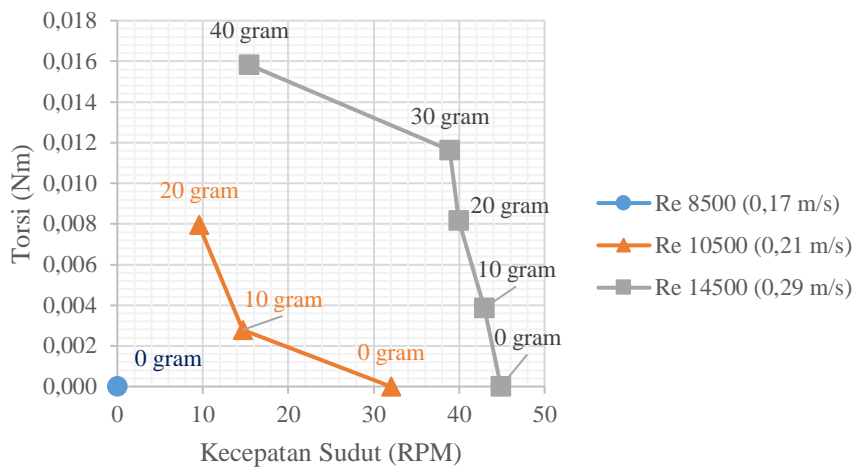
Tabel 4.19 Nilai Kecepatan Sudut dan Torsi terhadap Beban pada Konfigurasi BOTH 90°

Beban (gram)	Konfigurasi BOTH90					
	Kecepatan Sudut			Torsi		
	Re 8500	Re 10500	Re 14500	Re 8500	Re 10500	Re 14500
0	0,00	32,00	44,88	0,000	0,000	0,000
10		14,69	42,95		0,003	0,004
20		9,54	39,97		0,008	0,008
30			38,89			0,012
40			15,41			0,016

Pada **Tabel 4.19** terlihat bahwa nilai kecepatan sudut dan torsi tidak sepenuhnya ada pada setiap penambahan beban. Untuk variasi ini pada Re 8500 turbin tidak dapat berputar dan pada Re 10500 turbin hanya dapat berputar sampai pada pembebanan 20 gram. Kemudian pada Re 14500 turbin dapat berputar sampai pada pembebanan 40 gram.

Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 4.23** bahwa hubungan antara nilai torsi dengan kecepatan sudut yang berbanding terbalik. Hal ini sesuai dengan persamaan daya pada (2. 6) dimana ketika nilai kecepatan sudut meningkat maka nilai torsi akan menurun, begitu juga sebaliknya. Ketika turbin diberikan beban maka nilai kecepatan sudut akan menurun karena beban terhubung dengan turbin, semakin berat beban yang diberikan maka putaran dari turbin akan semakin kecil. Sebaliknya, jika turbin diberikan beban maka nilai torsi akan muncul karena *load cell* dapat terbaca jika diberikan beban namun ketika *load cell* tidak diberikan beban maka nilai torsi tidak dapat terbaca. Nilai torsi akan semakin tinggi jika

beban yang diberikan pada turbin semakin berat akan tetapi jika beban melebihi batasnya maka turbin akan berhenti dan nilai torsi menjadi nol.



Gambar 4.23 Nilai Torsi terhadap Kecepatan Sudut pada Variasi Konfigurasi BOTH dengan Sudut Bukan 90°

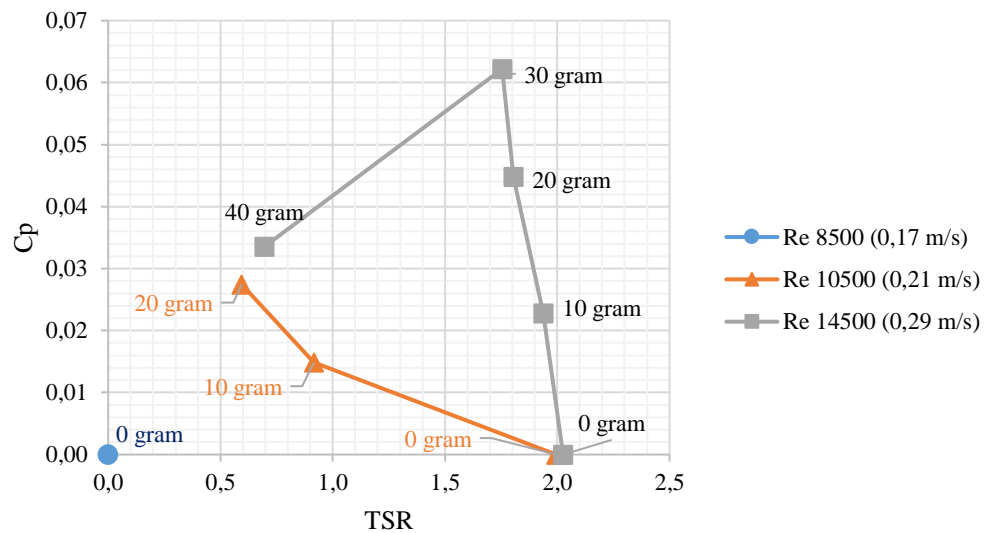
Gambar 4.23 juga menunjukkan bahwa Bilangan Reynold yang besar akan menghasilkan nilai kecepatan sudut dan torsi yang lebih besar. Hal ini sesuai dengan persamaan (2.5) dimana nilai Re dipengaruhi oleh kecepatan aliran. Semakin tinggi kecepatan aliran maka nilai Re juga akan semakin tinggi begitu juga pada nilai kecepatan sudut, karena kecepatan aliran berbanding lurus dengan nilai kecepatan sudut.

Dari data yang sudah didapatkan dapat dihitung nilai TSR koefisien torsi dan koefisien daya dengan persamaan (2.3), (2.7) dan (2.8). Perhitungan dilakukan setiap nilai yang didapat dari beban 0 gram sampai pembebanan hingga turbin berhenti sehingga didapatkan nilai seperti pada **Tabel 4.20**.

Tabel 4.20 Hasil Perhitungan TSR C_p & C_τ pada Konfigurasi BOTH Sudut Bukan 90°

Reynold Number	Konfigurasi BOTH90		
	TSR	C_τ	C_p
Re 8500	0,000	0.000	0,000
Re 10500	1,995	0.000	0,000
	0,915	0.016	0,015
	0,594	0.046	0,028
Re 14500	2,026	0.000	0,000
	1,939	0.012	0,023
	1,804	0.025	0,045
	1,755	0.036	0,062
	0,696	0.048	0,034

Data yang telah diperhitungkan tersebut kemudian di plot dalam grafik antara koefisien daya terhadap TSR.



Gambar 4.24 Nilai C_p terhadap TSR pada Konfigurasi BOTH dengan Sudut Buka 90°

Pada **Gambar 4.24** dapat dilihat grafik antara koefisien daya dengan TSR. Parameter yang memengaruhi koefisien daya yakni koefisien torsi dan TSR. Koefisien torsi dipengaruhi oleh nilai torsi dan TSR dipengaruhi oleh kecepatan sudut. Nilai koefisien torsi dan TSR berbanding terbalik seperti nilai torsi dan kecepatan sudut. Pada grafik sebelumnya telah di plot mengenai nilai torsi terhadap kecepatan sudut yakni ketika turbin diberikan pembebanan maka nilai torsi akan meningkat sedangkan kecepatan sudut akan menurun. Hal ini menunjukkan bahwa pembebanan memengaruhi momen inersia dari turbin. Jadi naik dan turunnya kedua parameter ini akan menyebabkan nilai koefisien daya yang bervariasi.

Ketika koefisien daya mencapai titik maksimum maka nilai selanjutnya akan menurun. Hal ini terjadi karena koefisien daya didapat dari kombinasi dari 2 parameter yakni koefisien torsi dan TSR. Ketika nilai koefisien torsi tinggi maka nilai TSR akan kecil dan begitu sebaliknya (seperti pada **Tabel 4.20**). Hal tersebut yang menyebabkan koefisien daya tidak didapat dari nilai TSR atau koefisien torsi tertinggi karena ketika salah satu parameter memiliki nilai yang tinggi maka parameter lainnya akan memiliki nilai yang rendah sehingga kedua parameter ini harus berada pada satu titik tertentu untuk mendapat koefisien daya terbesar.

Pada grafik tersebut juga terlihat bahwa nilai koefisien daya cenderung meningkat setiap Re meningkat, sedangkan nilai Re dipengaruhi oleh kecepatan aliran seperti pada

persamaan (2,5). Ketika nilai Re meningkat maka kecepatan aliran meningkat sehingga energi kinetik yang dihasilkan juga semakin besar yang membuat kedua parameter ini (TSR dan koefisien torsi) akan memiliki koefisien yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan aliran dibawahnya.

Kemudian setelah kinerja dari turbin dianalisis maka karakteristik aliran juga ditinjau pada penelitian ini yakni dengan mengambil data kedalaman dan kecepatan aliran pada titik 1d di depan turbin dan 1d di belakang turbin. Data diambil sebanyak lima kali di setiap titik kemudian dirata-rata. Berikut merupakan data yang didapat.

Tabel 4.21 Data Kedalaman dan Kecepatan Turbin pada Titik (+)1d dan (-)1d dengan Varisi Konfigurasi BOTH Sudut Bukaannya 90°

Kecepatan Aliran (m/s)	Beban (gram)	Kedalaman (cm)		V (m/s)	
		(+)1d	(-)1d	(+)1d	(-)1d
0,17	0	39,88	39,62	0,169	0,150
0,21	0	39,86	39,38	0,189	0,172
0,21	10	39,88	39,56	0,217	0,200
0,21	20	39,82	39,60	0,194	0,211
0,29	0	39,86	38,98	0,233	0,189
0,29	10	40,04	39,20	0,233	0,211
0,29	20	39,86	39,32	0,239	0,156
0,29	30	39,94	38,96	0,250	0,178
0,29	40	39,90	39,16	0,261	0,194

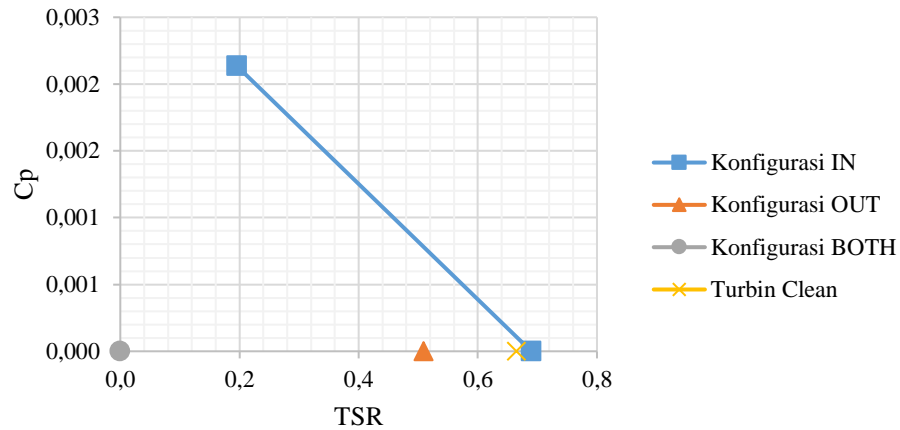
Pada **Tabel 4.21** dapat dilihat bahwa seluruh nilai kedalaman pada titik 1d di depan turbin selalu lebih tinggi daripada kedalaman 1d di belakang turbin. Hal ini dapat terjadi karena turbin memiliki *Blockage ratio*. Kemudian pada kecepatan aliran sebelum mengenai turbin juga memiliki nilai yang lebih besar daripada kecepatan aliran setelah mengenai turbin. Hal ini disebabkan karena ketika aliran mengenai turbin ada energi yang diekstraksi ketika melewati turbin sehingga kecepatan (energi kinetik) akan berkurang pada kondisi 1d di belakang turbin.

4.5 Diskusi

Data setiap Variasi konfigurasi IN, OUT dan BOTH dilakukan komparasi dengan *hydrofoil clean NACA 0018*. Komparasi dilakukan dengan membandingkan variasi konfigurasi posisi di setiap sudut bukaan untuk menemukan konfigurasi posisi terbaik. Setelah mendapatkan variasi konfigurasi posisi terbaik maka dilakukan komparasi sudut bukaan di setiap variasi konfigurasi posisi untuk mendapatkan sudut bukaan terbaik.

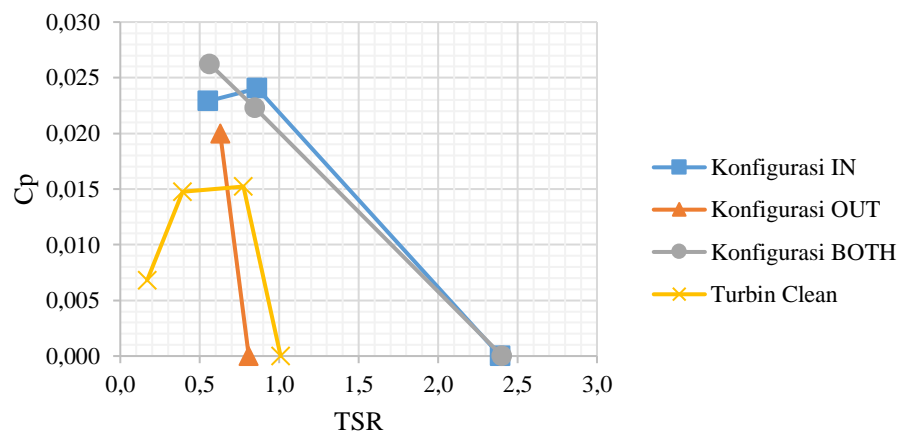
Variasi Konfigurasi Posisi Terbaik

Konfigurasi posisi dianalisis dengan mengkomparasikan seluruh variasi konfigurasi terhadap salah satu sudut bukaan pada 3 Reynold Number. Berikut merupakan komparasi nilai C_p terhadap TSR pada variasi IN, OUT dan BOTH dengan *hydrofoil clean* NACA 0018.



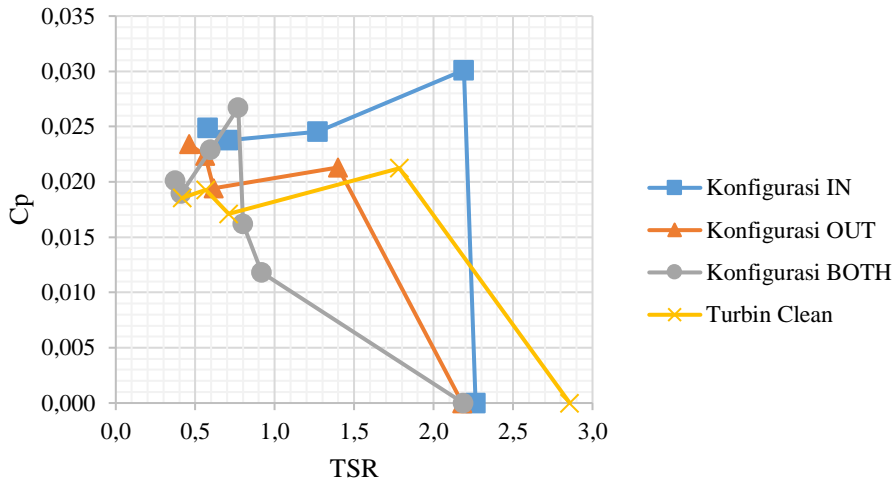
Gambar 4.25 Komparasi Konfigurasi Posisi pada Sudut Bukaan 45° dengan Re 8500

Dari **Gambar 4.25** dapat dilihat bahwa turbin dapat berputar pada rentang TSR 0.2 sampai 0.7 dengan Re 8500. Nilai koefisien daya terbesar pada sudut bukaan 45° dengan Re 8500 yakni pada variasi konfigurasi IN dengan nilai 0,002. Kemudian untuk variasi konfigurasi lainnya tidak memiliki nilai karena turbin hanya berputar pada kondisi ketika tidak diberikan beban sehingga nilai torsi tidak bisa didapatkan dari sensor *load cell*.



Gambar 4.26 Komparasi Konfigurasi Posisi pada Sudut Bukaan 45° dengan Re 10500

Gambar 4.26 menunjukkan bahwa nilai koefisien daya tertinggi yakni pada konfigurasi BOTH di TSR 0.5 dengan Re 10500. Namun jika ditinjau untuk TSR 0.8 sampai TSR 2.4 pada Re yang sama maka konfigurasi yang memiliki nilai koefisien daya tertinggi yakni pada konfigurasi IN.

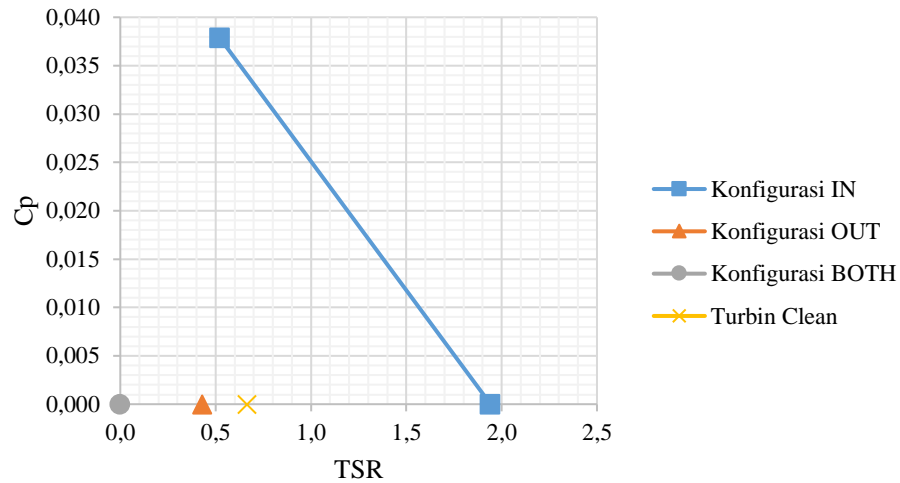


Gambar 4.27 Komparasi Konfigurasi Posisi pada Sudut Bukaannya 45° dengan Re 14500

Pada **Gambar 4.27** dapat dilihat bahwa koefisien daya tertinggi didominasi oleh konfigurasi IN yakni dari TSR 0.5 sampai 2.3 pada Re 14500. Kemudian pada TSR yang lebih tinggi nilai koefisien daya didominasi oleh *hydrofoil clean* karena hanya *hydrofoil clean* yang memiliki nilai koefisien daya pada TSR 2.3 sampai 2.8 pada Re yang sama.

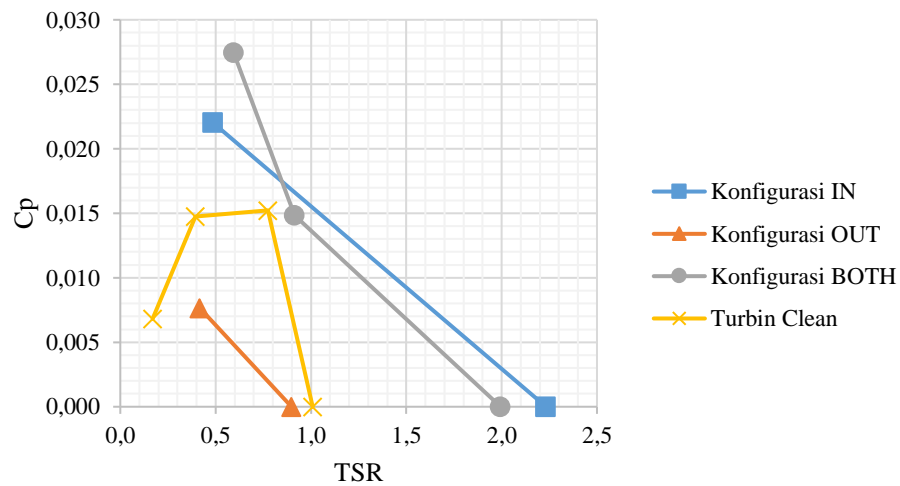
Nilai koefisien daya terbesar pada sudut bukaan 45° dengan Re 14500 yakni pada variasi konfigurasi IN dengan nilai 0,030. Kemudian nilai terbesar kedua yakni pada konfigurasi BOTH dengan nilai 0,027 dan pada konfigurasi OUT memiliki nilai terbesar yakni 0,023.

Dari **Gambar 4.25** sampai **Gambar 4.27** menunjukkan bahwa nilai koefisien daya pada turbin dengan pemasangan *flap* IN lebih tinggi daripada turbin tanpa *flap* pada TSR dibawah 2.5. Pada sudut bukaan 45° nilai koefisien daya cenderung lebih tinggi pada konfigurasi IN. Nilai koefisien daya maksimum pada sudut bukaan ini terjadi pada Re 14500 dengan konfigurasi IN pada pembebanan 10 gram. Pada kondisi tersebut nilai koefisien torsi yang dihasilkan sebesar 0,014.



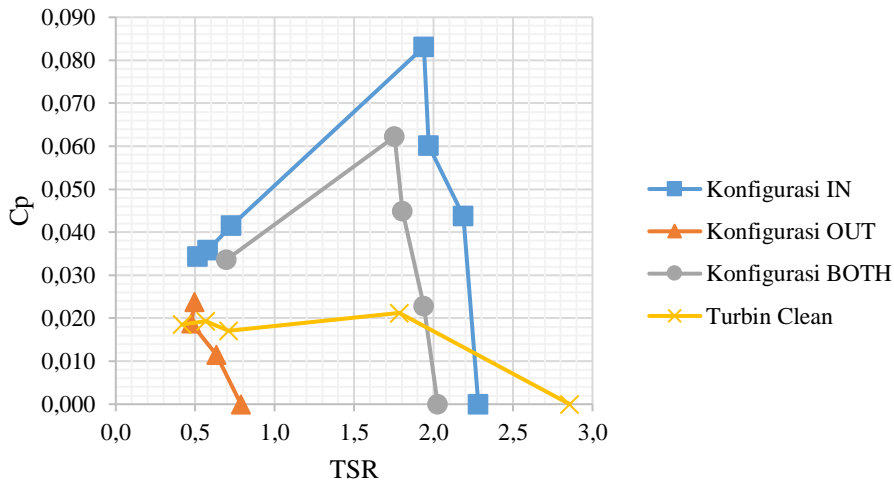
Gambar 4.28 Komparasi Konfigurasi Posisi pada Sudut Bukaan 90° dengan Re 8500

Dari **Gambar 4.28** dapat dilihat nilai koefisien daya terbesar pada sudut bukaan 90° dengan Re 8500 yakni pada variasi konfigurasi IN dengan nilai 0,038. Kemudian variasi konfigurasi lainnya juga tidak memiliki nilai karena turbin hanya berputar pada kondisi ketika tidak diberikan beban sehingga nilai torsi tidak bisa didapatkan dari sensor *load cell*.



Gambar 4.29 Komparasi Konfigurasi Posisi pada Sudut Bukaan 90° dengan Re 10500

Gambar 4.29 menunjukkan bahwa nilai koefisien daya tertinggi yakni pada konfigurasi BOTH di TSR 0.6 dengan Re 10500. Namun jika ditinjau untuk TSR 0.8 sampai TSR 2.3 pada Re yang sama maka konfigurasi yang memiliki nilai koefisien daya tertinggi yakni pada konfigurasi IN.



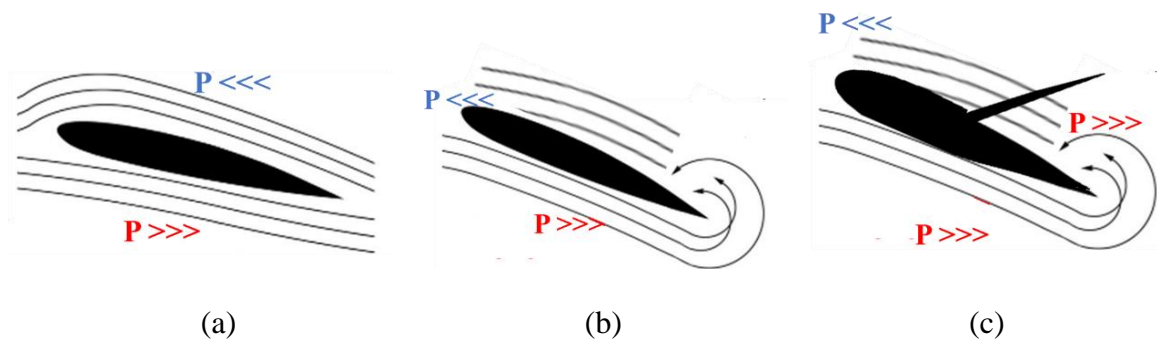
Gambar 4.30 Komparasi Konfigurasi Posisi pada Sudut Bukaannya 90° dengan Re 14500

Pada **Gambar 4.30** dapat dilihat bahwa koefisien daya tertinggi didominasi oleh konfigurasi IN yakni dari TSR 0.5 sampai 2.3 pada Re 14500. Kemudian pada TSR yang lebih tinggi nilai koefisien daya didominasi oleh *hydrofoil clean* karena hanya *hydrofoil clean* yang memiliki nilai koefisien daya pada TSR 2.3 sampai 2.8 pada Re yang sama.

Dari **Gambar 4.28** sampai **Gambar 4.30** menunjukkan bahwa nilai koefisien daya pada turbin dengan pemasangan *flap* IN juga lebih tinggi daripada turbin tanpa *flap*. Pada sudut bukaan 90° nilai koefisien daya cenderung lebih tinggi pada konfigurasi IN. Nilai koefisien daya maksimum pada sudut bukaan ini terjadi pada Re 14500 dengan konfigurasi IN pada pembebanan 30 gram. Pada kondisi tersebut nilai koefisien torsi yang dihasilkan sebesar 0,043.

Pada komparasi dengan menggunakan sudut bukaan 45° ditemukan bahwa konfigurasi dengan nilai koefisien daya tertinggi dimiliki oleh variasi konfigurasi IN. Kemudian pada komparasi dengan sudut bukaan 90° ditemukan juga bahwa konfigurasi dengan nilai koefisien daya tertinggi didominasi oleh variasi konfigurasi IN. Jadi, dapat disimpulkan bahwa variasi konfigurasi yang memiliki nilai koefisien daya tertinggi yakni pada konfigurasi IN dengan Reynold Number 14500.

Turbin dengan menggunakan *flap* IN lebih baik karena terdapat perbedaan tekanan yang berbeda dengan *hydrofoil clean* untuk mengekstraksi gaya pada *hydrofoil*. Pada konfigurasi IN *flap* terbuka di 2 posisi yakni pada azimuth 0° sampai 90° dan pada azimuth 90° sampai 190°. Berikut merupakan perbedaan tekanan *hydrofoil* dengan *flap* IN pada posisi pertama yakni azimuth 0° sampai 90°

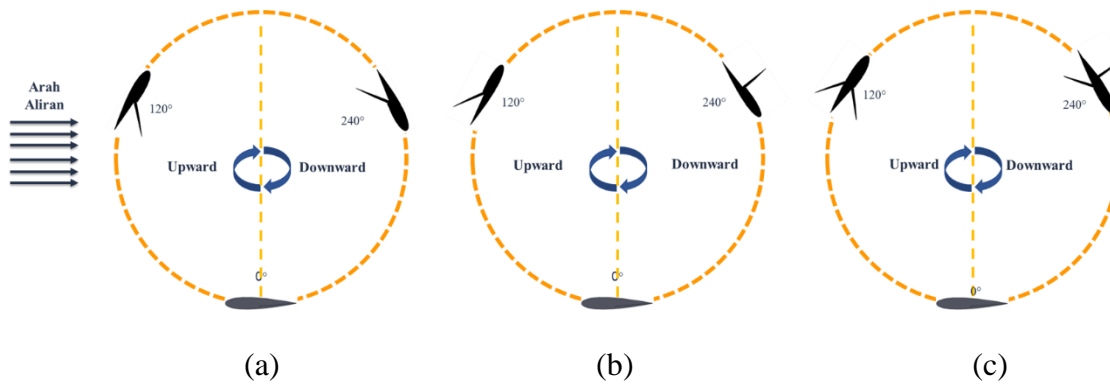


Gambar 4.31 Perbedaan Tekanan *Flap* IN pada Azimuth $0^\circ - 90^\circ$ (a) Kondisi awal sebelum *adverse Pressure Gradient* ; (b) Kondisi ketika *adverse Pressure Gradient* ; (c) Kondisi ketika *flap* mulai terbuka

Pada **Gambar 4.31**(a) dapat dilihat bahwa kondisi ketika turbin tanpa *flap* atau turbin dengan *flap* IN menutup, kemudian terjadi *adverse Pressure Gradient* yang menyebabkan tekanan mengalami peningkatan sehingga terdapat aliran balik pada ujung *trailing edge* yang menyebabkan *flap* IN terbuka. *Flap* IN yang terbuka tersebut memiliki tekanan yang tinggi. Dampak dari *flap* IN yang terbuka yakni aliran balik tidak bisa sampai pada *leading edge* sehingga tidak terjadi separasi. Hal ini yang membuat konfigurasi IN lebih unggul daripada konfigurasi OUT dan *hydrofoil clean*.

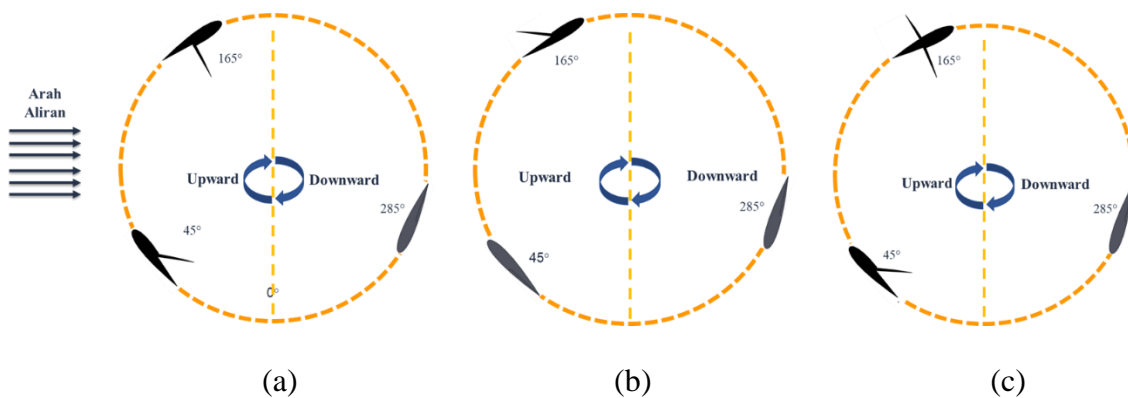
Dari **Gambar 4.25** sampai **Gambar 4.30** dapat dilihat bahwa grafik dengan konfigurasi IN cenderung memiliki nilai yang lebih tinggi daripada yang lainnya. Kemudian nilai koefisien daya terbesar kedua yakni pada konfigurasi BOTH dan *hydrofoil clean* memiliki urutan ketiga diatas konfigurasi OUT. Jika dilihat disetiap grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai koefisien daya pada *hydrofoil clean* mendominasi dibandingkan dengan konfigurasi OUT. Hal tersebut terjadi karena perilaku *flap* yang berbeda pada setiap posisi. Perbedaan perilaku *flap* dapat dilihat pada 3 sudut azimuth yakni sudut azimuth 0° , 45° dan 90° .

Pada **Gambar 4.32** menunjukkan perilaku *flap* di setiap konfigurasi pada turbin dengan azimuth 0° . Dapat dilihat bahwa setiap konfigurasi memiliki 2 *flap* yang terbuka pada azimuth 120° dan 240° . Pada posisi ini semua konfigurasi memanfaatkan aliran untuk membuka *flap* karena posisi *hydrofoil* membelakangi aliran sehingga *hydrofoil* mendapatkan gaya tambahan untuk bergerak. Hal tersebut membuat *flap* yang terbuka pada kondisi ini memiliki dampak yang positif.



Gambar 4.32 Perilaku *Flap* pada Azimuth 0° (a) Konfigurasi IN ; (b) Konfigurasi OUT ; (c) Konfigurasi BOTH

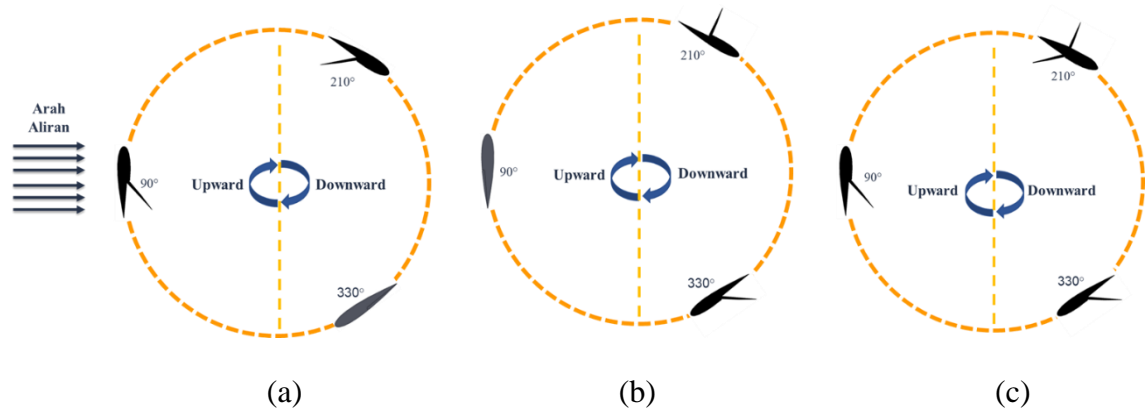
Kemudian pada **Gambar 4.33** menunjukkan perilaku *flap* pada turbin dengan azimuth 45° di setiap konfigurasi. Pada posisi ini dapat dilihat bahwa pada konfigurasi IN dan BOTH terdapat 2 *flap* yang terbuka sedangkan pada konfigurasi BOTH hanya 1 *flap* yang terbuka. Hal tersebut yang membuat konfigurasi IN dan BOTH memiliki nilai koefisien daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan konfigurasi OUT karena *flap* yang terbuka pada 2 titik tersebut memiliki dampak positif pada pergerakan *hydrofoil* yakni menunda separasi aliran pada azimuth 45° dan mendorong *hydrofoil* ketika *flap* terbuka pada azimuth 165° .



Gambar 4.33 Perilaku *Flap* pada Azimuth 45° (a) Konfigurasi IN ; (b) Konfigurasi OUT ; (c) Konfigurasi BOTH

Pada **Gambar 4.34** menunjukkan perilaku *flap* di setiap konfigurasi pada azimuth 90° . Dapat dilihat bahwa pada konfigurasi IN dan OUT terdapat 2 *flap* yang terbuka kemudian pada konfigurasi BOTH terdapat 3 *flap* yang terbuka. Konfigurasi IN dan OUT memiliki kesamaan dan perbedaan titik ketika *flap* terbuka, pada azimuth 210° *flap* akan terbuka pada konfigurasi IN dan OUT yang disebabkan oleh dorongan aliran ketika *hydrofoil* membelakangi aliran. Kemudian terdapat *flap* IN dan OUT yang terbuka pada titik yang

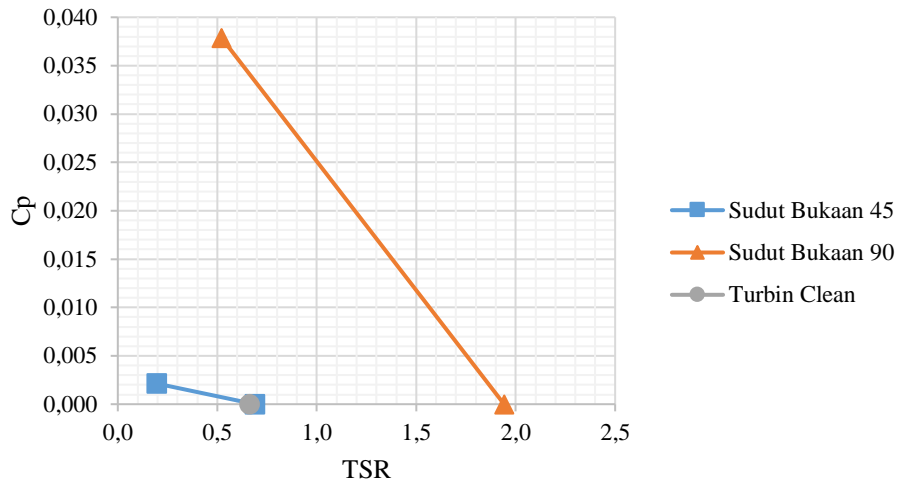
berbeda yakni pada *flap* IN terbuka pada azimuth 90° disebabkan karena telah melewati aliran balik yang terjadi sebelumnya dan *flap* tetap terbuka karena terjadi perbedaan tekanan. Sedangkan *flap* OUT yang terbuka pada azimuth 330° disebabkan karena terdapat aliran balik pada titik tersebut. Kedua *flap* ini terbuka karena terdapat peristiwa yang serupa yakni aliran balik namun dampak dari terbukanya *flap* berbeda di setiap konfigurasi. Pada konfigurasi IN *flap* yang terbuka pada azimuth 90° memiliki dampak positif karena *flap* tersebut telah mampu menahan separasi aliran dan mendapat ekstraksi daya tambahan dari aliran *freestream*. Kemudian pada konfigurasi OUT *flap* yang terbuka pada azimuth 330° memiliki dampak negatif karena *flap* yang terbuka akan mengenai aliran yang sudah terganggu (*wake*). Hal tersebut membuat *hydrofoil* tertahan untuk berputar sehingga pada konfigurasi OUT memiliki nilai koefisien daya lebih kecil dibandingkan dengan *hydrofoil clean*.



Gambar 4.34 Perilaku *Flap* pada Azimuth 90° (a) Konfigurasi IN ; (b) Konfigurasi OUT ; (c) Konfigurasi BOTH

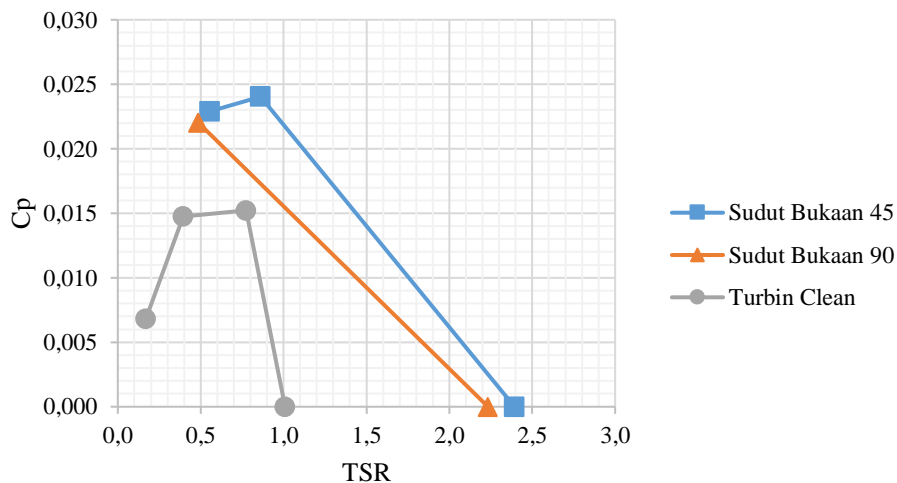
Variasi Sudut Bukaank Terbaik

Selanjutnya setelah didapatkan konfigurasi yang memiliki nilai koefisien daya terbaik dengan menganalisis perilaku *flap* terhadap *hydrofoil* maka dilakukan penentuan sudut bukaan terbaik dengan mengkomparasikan nilai koefisien daya pada variasi sudut bukaan terhadap variasi konfigurasi IN. Selain itu, dampak dari terbukanya *flap* juga akan dianalisis. Berikut merupakan komparasi nilai koefisien daya di setiap sudut bukaan pada konfigurasi IN.



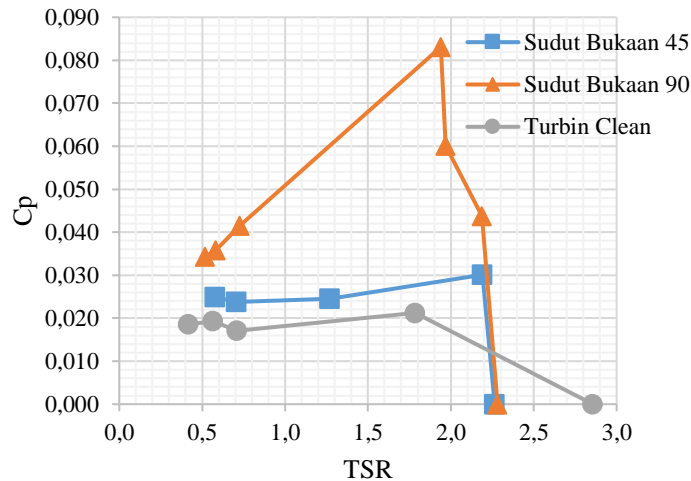
Gambar 4.35 Komparasi Sudut Buka pada Variasi Konfigurasi IN dengan Re 8500

Dari **Gambar 4.35** dapat dilihat nilai koefisien daya terhadap TSR di setiap sudut bukaan dan pada *hydrofoil clean*. Nilai koefisien daya terbesar pada variasi IN dengan Re 8500 yakni pada sudut bukaan 90° dengan nilai 0,038. Kemudian nilai koefisien daya terbesar pada sudut 45° yakni 0,002.



Gambar 4.36 Komparasi Sudut Buka pada Variasi Konfigurasi IN dengan Re 10500

Gambar 4.36 menunjukkan bahwa nilai koefisien daya terbesar yakni pada sudut bukaan 45° dengan nilai 0,024 kemudian nilai terbesar kedua sebesar 0,022 pada sudut bukaan 90° .



Gambar 4.37 Komparasi Sudut Buka pada Variasi Konfigurasi IN dengan Re 14500

Pada **Gambar 4.37** nilai koefisien daya terbesar pada variasi konfigurasi IN dengan Re 14500 yakni pada sudut bukaan 90° dengan nilai 0,083. Kemudian nilai koefisien daya terbesar pada sudut 45° yakni 0,030.

Dari **Gambar 4.35** sampai **Gambar 4.37** menunjukkan bahwa turbin dengan penambahan *flap* memiliki nilai koefisien daya yang lebih tinggi daripada turbin tanpa *flap*. Pada variasi konfigurasi IN nilai koefisien daya cenderung lebih tinggi pada sudut bukaan 90° . Nilai koefisien daya maksimum pada konfigurasi ini terjadi pada Re 14500 dengan sudut bukaan 90° pada pembebanan 30 gram. Pada kondisi tersebut nilai koefisien torsi yang dihasilkan sebesar 0,043.

Pada komparasi antara *flap* dengan sudut bukaan 45° dan 90° didapatkan bahwa nilai koefisien daya lebih besar pada *flap* dengan sudut bukaan 90° . Hal ini dikarenakan ketika aliran mengenai *flap* maka *flap* yang terbuka 90° akan mendapat gaya dorong yang lebih besar akibat luas permukaan yang lebih besar. Ketika aliran mengenai permukaan *flap* maka tekanan pada titik tersebut akan besar. Jadi ketika luas permukaan semakin besar maka gaya yang dihasilkan juga semakin besar.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang telah dilakukan didapat beberapa kesimpulan sebagai berikut :

- a. Modifikasi turbin hidrokinetik vertikal tipe darrieus dengan menggunakan flap memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan hydrofoil clean (tanpa flap). Konfigurasi posisi flap IN memiliki pengaruh terbesar terhadap kinerja turbin hidrokinetik vertikal tipe darrieus khususnya flap dengan sudut bukaan 90° . Flap IN dan Flap BOTH memiliki kinerja yang lebih tinggi daripada hydrofoil clean karena flap terbuka pada aliran upstream sehingga dapat menunda separasi aliran. Kemudian konfigurasi OUT memiliki kinerja yang lebih rendah daripada hydrofoil clean karena terdapat flap yang terbuka pada aliran downstream sehingga memiliki dampak yang negatif dari wake yang terjadi. Selanjutnya sudut bukaan 90° memiliki kinerja yang lebih besar daripada flap dengan sudut bukaan 45° dikarenakan ketika luas permukaan relative flap semakin besar maka akan mendapat gaya dorong yang besar sehingga semakin besar luas permukaan maka gaya yang dihasilkan juga akan semakin besar.
- b. Pada variasi konfigurasi penelitian ini interaksi antara aliran pada *hydrofoil* dengan menggunakan *flap* dibedakan menjadi 2 yakni ketika *flap* IN pada azimuth 0 sampai 90° *flap* IN akan terbuka karena adanya aliran balik akibat dari *adverse pressure gradient*. Kemudian interaksi aliran dengan *flap* yang terbuka yakni pada *flap* IN dan *flap* OUT pada azimuth 180° yang disebabkan oleh dorongan dari aliran.

5.2 Saran

Dari penelitian yang telah dilakukan maka terdapat beberapa saran sebagai berikut :

- a. Penelitian pada TSR yang tinggi perlu dilakukan untuk mendapatkan rentang TSR yang lebih luas yakni dengan melakukan penelitian di kecepatan yang lebih tinggi.
- b. Penelitian dengan menggunakan benda dengan skala yang kecil sebaiknya dilakukan fabrikasi dengan menggunakan teknologi yang memiliki ketelitian yang tinggi seperti CNC.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Bianchini, A., Balduzzi, F., Di Rosa, D., Ferrara, G., 2019. On the use of Gurney Flaps for the aerodynamic performance augmentation of Darrieus wind turbines. *Energy Convers. Manag.* 184, 402–415. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.068>
- Cengel, A.Y., Cimbala, J.M., 2006. *Fluid Mechanics Fundamentals and Applications*.
- Chougule, P.D., Rosendahl, L., Nielsen, S.R.K., 2015. Experimental study of the effect of a slat angle on double-element airfoil and application in vertical axis wind turbine. *Ships Offshore Struct.* 10, 176–182.
- Du, L., Ingram, G., Dominy, R.G., 2019. Experimental study of the effects of turbine solidity, blade profile, pitch angle, surface roughness, and aspect ratio on the H-Darrieus wind turbine self-starting and overall performance. *Energy Sci. Eng.* 7, 2421–2436. <https://doi.org/10.1002/ese3.430>
- Gerakopulos, R., Boutilier, M., Yarusevych, S., 2010. Aerodynamic Characterization of a NACA 0018 Airfoil at Low Reynolds Numbers, in: 40th Fluid Dynamics Conference and Exhibit. American Institute of Aeronautics and Astronautics, Reston, Virginia. <https://doi.org/10.2514/6.2010-4629>
- Gopel, W., J. Hesse, J.N.Z., 1991. *Sensors: A Comprehensive Survey: Magnetic Sensor*. VCH Publisher, New York.
- Goude, A., Ågren, O., 2014. Simulations of a vertical axis turbine in a channel. *Renew. Energy* 63, 477–485. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2013.09.038>
- Graham, M., Muradian, A., Traub, L.W., 2018. Experimental study on the effect of gurney flap thickness on airfoil performance. *J. Aircr.* 55, 897–902. <https://doi.org/10.2514/1.C034547>
- HANNA, S., 2003. *Introduction to Micrometeorology* (2nd edition). By S. P. ARYA. Academic Press, 2001. 420 pp. ISBN 0 12 059354 8. £ 53.95. *J. Fluid Mech.* <https://doi.org/10.1017/s0022112003227063>
- Hantoro, R., Septyaningrum, E., 2018. Novel design of a vertical axis hydrokinetic turbine-straight-blade cascaded (VAHT-SBC): Experimental and numerical

- simulation. *J. Eng. Technol. Sci.* 50, 73–86.
<https://doi.org/10.5614/j.eng.technol.sci.2018.50.1.5>
- Hantoro, R., Utama, I.K.A.P., Arief, I.S., Ismail, A., Manggala, S.W., 2018. Innovation in Vertical Axis Hydrokinetic Turbine - Straight Blade Cascaded (VAHT-SBC) design and testing for low current speed power generation. *J. Phys. Conf. Ser.* 1022. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1022/1/012023>
- Hao, W., Bashir, M., Li, C., Sun, C., 2021. Flow control for high-solidity vertical axis wind turbine based on adaptive flap. *Energy Convers. Manag.* 249. <https://doi.org/10.1016/J.ENCONMAN.2021.114845>
- Hao, W., Ding, Q., Li, C., 2019. Optimal performance of adaptive flap on flow separation control. *Comput. Fluids* 179, 437–448. <https://doi.org/10.1016/j.compfluid.2018.11.010>
- Hao, W., Li, C., 2020. Performance improvement of adaptive flap on flow separation control and its effect on VAWT. *Energy* 213, 118809. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.118809>
- Havaldar, S.N., Pawar, S., Lele, A., Pradhan, R., Rishi, A., 2015. Experimental Investigation of Lift for NACA 2412 Airfoil without Internal Passage with NACA 2412 Airfoil with Internal Passage in a Subsonic Wind Tunnel.
- 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. *Appl. Energy* 86, 1823–1835. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.02.017>
- Knez, S., 2005. Airfoil *boundary layer*.
- Kurniawan, Y., Kurniawati, D.M., Danardono, D., Tjahjana, D.P., 2018. Studi Eksperimental Pengaruh Aspek Rasio Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Crossflow. *Pros. Snitt Poltekba* 3, 339–343.
- Liu, Q., Miao, W., Li, C., Hao, W., Zhu, H., Deng, Y., 2019. Effects of trailing-edge movable flap on aerodynamic performance and noise characteristics of VAWT. *Energy*. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116271>
- Lopulalan, R.M., 2016. Desain Blade Turbin Pembangkit Listrik Tenaga Arus Laut Di Banyuwangi Berbasis Cfd. *J. Tek. ITS* 5, 424–430. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v5i2.19413>

- Mishra, A., De, A., n.d. Investigation of passive flow control over an airfoil using leading edge tubercles 1–35.
- Mohamed, O.S., Ibrahim, A.A., Etman, A.K., Abdelfatah, A.A., Elbaz, A.M.R., 2020. Numerical investigation of Darrieus wind turbine with slotted airfoil blades. *Energy Convers. Manag.* X 5, 100026. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2019.100026>
- Munson, B.R., Young, D.F., Okiishu, T.H., 2003. *Mekanika Fluida*, 4 ed. John Wiley & Sons.
- Nur Fridayana, E., Wisnu Wardhana, I., Eko Budi Djatmiko, I., 2018. Final Project-Mo.141326 Aerodynamic Performance Analysis of Vertical Axis Wind Turbine (Vawt) Darrieus Type H-Rotor Using Computational Fluid Dynamics (Cfd) Approach.
- Roy, S., Saha, U.K., 2015. Wind tunnel experiments of a newly developed two-bladed Savonius-style wind turbine. *Appl. Energy* 137, 117–125. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.10.022>
- Zhu, H., Hao, W., Li, C., Ding, Q., 2019a. Numerical study of effect of solidity on vertical axis wind turbine with Gurney flap. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 186, 17–31. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.12.016>
- Zhu, H., Hao, W., Li, C., Ding, Q., 2019b. Numerical study of effect of solidity on vertical axis wind turbine with Gurney flap. *J. Wind Eng. Ind. Aerodyn.* 186, 17–31. <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2018.12.016>
- Zhu, H., Hao, W., Li, C., Ding, Q., Wu, B., 2018. A critical study on passive flow control techniques for straight-bladed vertical axis wind turbine. *Energy* 165, 12–25. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.09.072>

Halaman ini sengaja dikosongkan

LAMPIRAN

A. Data Percobaan

Tabel A. 1 Pengambilan dan Pengolahan Data

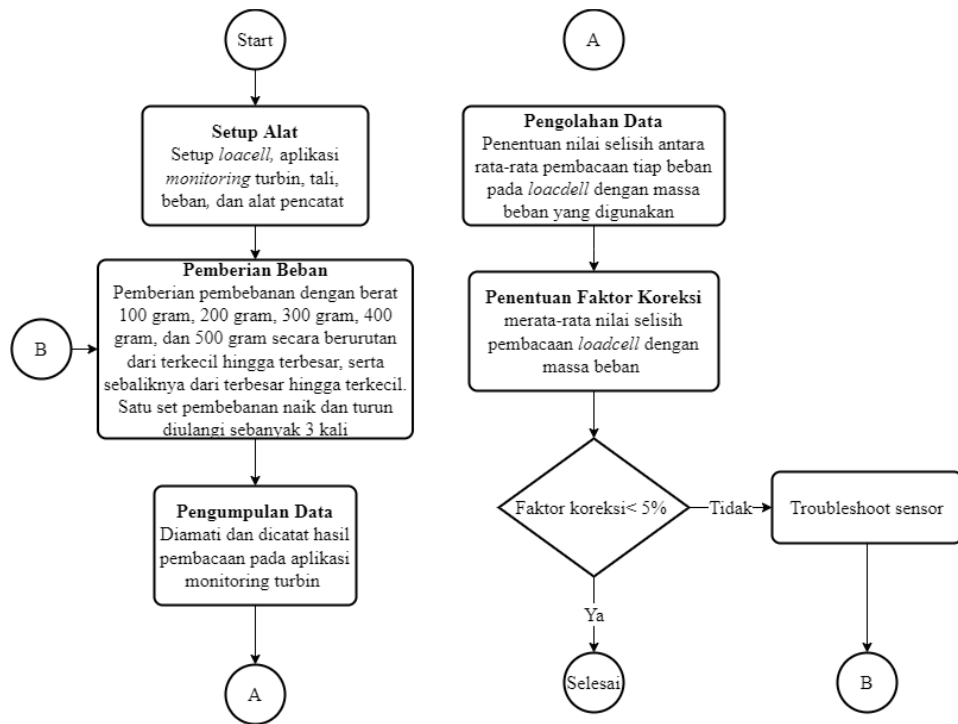
Konfigurasi	Sudut Buka (deg)	Kecepatan Aliran (m/s)	Beban (gram)	Kecepatan Sudut (RPM)	Torsi (Nm)	Kedalaman		Vin (m/s)		TSR	Cp	Ct
						1d	(-)1d	In	(-)1d			
IN	45	V1	0	8.958	0.000	40	39.8	0.161	0.128	0.690	0.000	0.000
IN	45	V1	10	2.548	0.001	39.94	39.62	0.167	0.150	0.196	0.002	0.011
IN	45	V2	0	38.392	0.000	39.92	39.2	0.183	0.128	2.393	0.000	0.000
IN	45	V2	10	13.808	0.005	39.78	39.36	0.200	0.150	0.861	0.024	0.028
IN	45	V2	20	8.885	0.007	39.76	39.46	0.217	0.172	0.554	0.023	0.041
IN	45	V3	0	50.166	0.000	39.76	38.9	0.222	0.189	2.264	0.000	0.000
IN	45	V3	10	48.556	0.005	39.66	38.9	0.211	0.100	2.192	0.030	0.014
IN	45	V3	20	28.160	0.006	39.7	38.7	0.228	0.111	1.271	0.025	0.019
IN	45	V3	30	15.694	0.011	39.64	39.12	0.250	0.211	0.708	0.024	0.034
IN	45	V3	40	12.801	0.014	39.76	39.02	0.289	0.256	0.578	0.025	0.043
IN	90	V1	0	25.218	0.000	39.96	39.8	0.156	0.094	1.942	0.000	0.000
IN	90	V1	10	6.781	0.008	39.9	39.8	0.167	0.161	0.522	0.038	0.073
IN	90	V2	0	35.824	0.000	39.880	39.820	0.211	0.139	2.233	0.000	0.000
IN	90	V2	10	7.780	0.008	39.94	39.82	0.211	0.217	0.485	0.022	0.046
IN	90	V3	0	50.548	0.000	40.700	39.600	0.239	0.156	2.282	0.000	0.000
IN	90	V3	10	48.498	0.007	40.700	39.500	0.250	0.133	2.189	0.044	0.020
IN	90	V3	20	43.610	0.010	40.700	39.760	0.211	0.150	1.968	0.060	0.031

Konfigurasi	Sudut Buka (deg)	Kecepatan Aliran (m/s)	Beban (gram)	Kecepatan Sudut (RPM)	Torsi (Nm)	Kedalaman		Vin (m/s)		TSR	Cp	Ct
						1d	(-1d)	In	(-1d)			
IN	90	V3	30	42.985	0.014	40.500	39.700	0.244	0.156	1.940	0.083	0.043
IN	90	V3	40	16.122	0.019	40.700	39.920	0.339	0.250	0.728	0.042	0.057
IN	90	V3	50	12.857	0.020	40.360	39.500	0.278	0.239	0.580	0.036	0.062
IN	90	V3	60	11.447	0.022	40.700	39.700	0.289	0.228	0.517	0.034	0.067
OUT	45	V1	0	6.619	0.000	39.540	38.760	0.149	0.126	0.510	0.000	0.000
OUT	45	V2	0	12.970	0.000	39.320	38.980	0.200	0.150	0.808	0.000	0.000
OUT	45	V2	10	10.091	0.005	39.480	38.820	0.227	0.169	0.629	0.020	0.032
OUT	45	V3	0	48.309	0.000	39.580	38.720	0.241	0.163	2.181	0.000	0.000
OUT	45	V3	10	30.970	-1.145	39.340	38.920	0.253	0.159	1.398	-4.882	-3.492
OUT	45	V3	20	13.624	0.010	39.470	38.980	0.269	0.197	0.615	0.019	0.032
OUT	45	V3	30	12.489	-1.151	39.260	39.040	0.275	0.226	0.564	-1.978	-3.509
OUT	45	V3	40	10.246	0.017	39.850	39.100	0.288	0.243	0.462	0.023	0.051
OUT	90	V1	0	5.578	0.000	39.460	38.840	0.131	0.107	0.429	0.000	0.000
OUT	90	V2	0	14.406	0.000	39.36	38.94	0.189	0.143	0.898	0.000	0.000
OUT	90	V2	10	6.689	0.003	39.36	38.94	0.209	0.178	0.417	0.008	0.018
OUT	90	V3	0	17.447	0.000	39.445	38.855	0.235	0.206	0.788	0.000	0.000
OUT	90	V3	10	13.990	-1.142	39.380	38.920	0.267	0.214	0.631	-2.199	-3.482
OUT	90	V3	20	10.528	0.013	39.520	39.120	0.273	0.244	0.475	0.019	0.040
OUT	90	V3	30	10.974	0.016	39.430	38.870	0.281	0.254	0.495	0.024	0.048
BOTH	45	V1	0	0.000	0.000	39.500	39.020	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
BOTH	45	V2	0	38.570	0.000	40.320	39.700	0.222	0.122	2.404	0.000	0.000

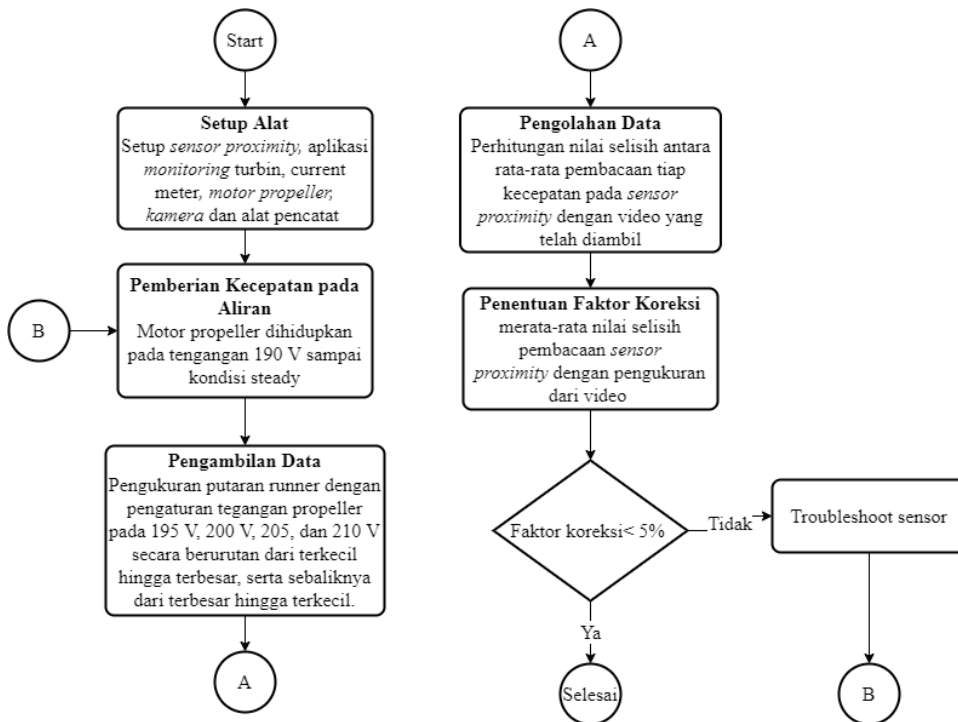
Konfigurasi	Sudut Buka (deg)	Kecepatan Aliran (m/s)	Beban (gram)	Kecepatan Sudut (RPM)	Torsi (Nm)	Kedalaman		Vin (m/s)		TSR	Cp	Ct
						1d	(-1d)	In	(-1d)			
BOTH	45	V2	10	13.595	0.005	40.040	39.620	0.200	0.167	0.847	0.022	0.026
BOTH	45	V2	20	9.034	0.008	40.000	39.740	0.239	0.189	0.563	0.026	0.047
BOTH	45	V3	0	48.459	0.000	40.320	39.460	0.228	0.161	2.187	0.000	0.000
BOTH	45	V3	10	20.327	0.004	40.220	39.360	0.239	0.156	0.917	0.012	0.013
BOTH	45	V3	20	17.729	0.007	40.160	39.420	0.278	0.239	0.800	0.016	0.020
BOTH	45	V3	30	17.097	0.011	40.220	39.640	0.283	0.228	0.772	0.027	0.035
BOTH	45	V3	40	13.242	0.013	40.280	39.500	0.294	0.222	0.598	0.023	0.038
BOTH	45	V3	50	9.105	0.015	40.040	39.560	0.283	0.244	0.411	0.019	0.046
BOTH	45	V3	60	8.272	0.018	40.180	39.380	0.289	0.183	0.373	0.020	0.054
BOTH	90	V1	0	0.000	0.000	39.880	39.620	0.133	0.150	0.000	0.000	0.000
BOTH	90	V2	0	32.000	0.000	39.860	39.380	0.189	0.172	1.995	0.000	0.000
BOTH	90	V2	10	14.685	0.003	39.880	39.560	0.217	0.200	0.915	0.015	0.016
BOTH	90	V2	20	9.535	0.008	39.820	39.600	0.194	0.211	0.594	0.028	0.046
BOTH	90	V3	0	44.884	0.000	39.860	38.980	0.233	0.189	2.026	0.000	0.000
BOTH	90	V3	10	42.951	0.004	40.040	39.200	0.233	0.211	1.939	0.023	0.012
BOTH	90	V3	20	39.971	0.008	39.860	39.320	0.239	0.156	1.804	0.045	0.025
BOTH	90	V3	30	38.890	0.012	39.940	38.960	0.250	0.178	1.755	0.062	0.036
BOTH	90	V3	40	15.414	0.016	39.900	39.160	0.261	0.194	0.696	0.034	0.048
NACA 0018		V1	0	8.633	0.000	40.9	40.56	0.167	0.128	0.665	0.000	0.000
NACA 0018		V2	0	16.186	0.000	40.92	40.48	0.189	0.122	1.009	0.000	0.000
NACA 0018		V2	10	12.425	0.003	40.88	40.44	0.233	0.183	0.774	0.015	0.020

Konfigurasi	Sudut Buka (deg)	Kecepatan Aliran (m/s)	Beban (gram)	Kecepatan Sudut (RPM)	Torsi (Nm)	Kedalaman		Vin (m/s)		TSR	Cp	Ct
						1d	(-1d)	In	(-1d)			
NACA 0018		V2	20	6.304	0.006	40.88	40.525	0.239	0.200	0.393	0.015	0.038
NACA 0018		V2	30	2.713	0.007	40.66	40.24	0.228	0.167	0.169	0.007	0.040
NACA 0018		V3	0	63.294	0.000	41	39.88	0.239	0.150	2.857	0.000	0.000
NACA 0018		V3	10	39.519	0.004	40.32	39.95	0.247	0.184	1.784	0.021	0.012
NACA 0018		V3	20	15.743	0.008	40.5	40.12	0.233	0.228	0.711	0.017	0.024
NACA 0018		V3	30	12.509	0.011	40	39.65	0.264	0.214	0.565	0.019	0.034
NACA 0018		V3	40	9.275	0.015	40.78	40.36	0.261	0.261	0.419	0.019	0.044

B. Kalibrasi



Gambar A. 1 Diagram Alir Kalibrasi Load cell



Gambar A. 2 Diagram Alir Sensor Proximity

Tabel B. 1 Kalibrasi *Load cell*

No	Beban Acuan (gram)	Pembacaan Alat Gram)								Rata2 Pembacaan	Koreksi	Koreksi persen
		Naik			Turun			Rata – rata				
		1	2	3	1	2	3	Naik	Turun			
1	50	50,34	51,16	51,40	55,33	54,59	56,11	50,97	55,34	53,16	-3,16	-6,31%
2	100	102,81	105,11	103,18	103,26	107,50	111,01	103,70	107,26	105,48	-5,48	-5,48%
3	150	152,41	159,39	155,03	158,83	160,56	164,01	155,61	161,14	158,37	-8,37	-5,58%
4	200	204,16	209,51	206,11	203,12	200,94	208,66	206,59	204,24	205,42	-5,42	-2,71%
5	250	254,04	255,52	249,86	251,41	252,39	256,86	253,14	253,55	253,35	-3,35	-1,34%
										Rata-rata	-5,15	-4,28%

Average Xi	150	SSR	17,79359938	Ua1	0,943504392
Average Yi	-5,154266667	a	-5,057466667	Ua2	2,435405468
Standart Deviasi	2,109739958	b	-0,000645333	Ub1	0,002886751
Sigma Xi^2	137500	Resolusi	0,01	Ub2	0,005
Sigma Xi	750	k	2,01	Uc	2,611787446
Sigma Yi	-25,77133333	ting.kepercayaan	95%	Uexp	5,249692767
Sigma Xi*Yi	-3881,833333			Error	-1,018514001
Banyak Data (n)	5				101,85%

Tabel B. 2 Kalibrasi Kecepatan Sudut

No	Tegangan (V)	Kecepatan Sudut Video		Kecepatan Sudut Video (average)	Pembacaan Alat								Rata2 Pembacaan	koreksi	Koreksi persen
		Naik	Turun		Naik			Turun			Rata – rata				
					1	2	3	1	2	3	Naik	Turun			
1	190	34,18	30	32,09	35,5	34,2	36,8	24	25	26	35,57	25	30,29	1,80	5,62%
2	195	34,66	33	34,09	38	40	39	30	31	32	39	31	35,00	-0,91	-2,67%
3	200	37,94	36	37,34	37	36	38	39	40	41	37	40	38,50	-1,16	-3,09%
4	205	40,67	41	40,89	39,5	39	38,5	37	38	39	39	38	38,50	2,39	5,84%
5	210	41,61	41	41,43	42,5	42	41,5	46	46,5	45	42	46	44,00	-2,57	-6,20%
													Rata-rata	-0,09	-0,10%

Average Xi	37,168346	SSR	16,58426199	Ua1	0,940552672
Average Yi	-0,088653	a	4,681769794	Ua2	2,351188493
Standart Deviasi	2,1031397	b	-0,128346404	Ub1	0,002886751
Sigma Xi^2	6974,7240	Resolusi	0,01	Ub2	0,005
Sigma Xi	185,841731	k	2,01	Uc	2,532342788
Sigma Yi	-0,4432689	ting.kepercayaan	95%	Uexp	5,090009003
Sigma Xi*Yi	-25,112547			Error	-57,41445678
Banyak Data (n)	5				5741,45%

Tabel B. 2 Kalibrasi Beban

Uraian	Berat (gram)	Timbangan I (gram)	Timbangan II (gram)	Rata-Rata Timbangan	Selisih	Selisih Tiap Beban	Beban Rata-Rata
Beban 1-1	10	11.03	11	11.015	10%	9%	10.88
Beban 1-2	10	10.97	11	10.985	10%		
Beban 1-3	10	10.94	11	10.97	10%		
Beban 1-4	10	10.1	11	10.55	6%		
Beban 2-1	50	50.1	51	50.55	1%	1%	50.533
Beban 2-2	50	50.05	51	50.525	1%		
Beban 2-3	50	50.1	51	50.55	1%		
Beban 2-4	50	50.01	51	50.505	1%		
Rata - Rata						4.93%	

C. Validasi Nilai Torsi

Tabel C. 1 Validasi Nilai Torsi

Konfigurasi	Sudut Buka (deg)	Kecepatan Aliran	Pembacaan Loadcell (gram)	Beban Ideal (gram)	Torsi dengan Beban Ideal	Beban Aktual (gram)	Torsi dengan Beban Aktual	Selisih Torsi
IN	45	V1	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V1	14.53	10	0.001	10.88	0.001	19.44%
		V2	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V2	27.74	10	0.005	10.88	0.005	4.96%
		V2	46.25	20	0.007	21.76	0.007	6.70%
		V3	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V3	26.64	10	0.005	10.88	0.004	5.29%
		V3	43.39	20	0.006	21.76	0.006	7.52%
		V3	70.62	30	0.011	32.64	0.010	6.50%
		V3	92.10	40	0.014	43.52	0.013	6.76%
	90	V1	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V1	40.17	10	0.008	10.88	0.008	2.92%
		V2	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V2	38.86	10	0.008	10.88	0.008	3.05%
		V3	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V3	34.18	10	0.007	10.88	0.006	3.64%
		V3	57.03	20	0.010	21.76	0.010	4.75%
		V3	81.87	30	0.014	32.64	0.013	5.09%
		V3	109.04	40	0.019	43.52	0.018	5.10%
		V3	124.77	50	0.020	54.4	0.019	5.88%
Out	45	V1	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V2	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V2	30.13	10	0.005	10.88	0.005	4.37%
		V3	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V3	29.11	10	0.005	10.88	0.005	4.61%
		V3	58.21	20	0.010	21.76	0.010	4.61%
		V3	79.71	30	0.013	32.64	0.013	5.31%
		V3	101.20	40	0.017	43.52	0.016	5.75%
	90	V1	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V2	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V2	21.63	10	0.003	10.88	0.003	7.57%
		V3	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V3	33.95	10	0.006	10.88	0.006	3.67%
		V3	67.90	20	0.013	21.76	0.013	3.67%

Konfigurasi	Sudut Bukaan (deg)	Kecepatan Aliran	Pembacaan Loadcell (gram)	Beban Ideal (gram)	Torsi dengan Beban Ideal	Beban Aktual (gram)	Torsi dengan Beban Aktual	Selisih Torsi
		V3	88.04	30	0.016	32.64	0.015	4.55%
Both	45	V1	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V2	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V2	26.70	10	0.005	10.88	0.004	5.27%
		V2	49.57	20	0.008	21.76	0.008	5.95%
		V3	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V3	25.60	10	0.004	10.88	0.004	5.64%
		V3	44.49	20	0.007	21.76	0.006	7.19%
		V3	71.91	30	0.011	32.64	0.011	6.30%
		V3	86.45	40	0.013	43.52	0.012	7.58%
		V3	105.85	50	0.015	54.4	0.014	7.88%
	V3	125.26	60	0.018	65.28	0.016	8.09%	
	90	V1	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V2	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V2	20.29	10	0.003	10.88	0.003	8.56%
		V2	49.34	20	0.008	21.76	0.007	6.00%
		V3	0.00	0	0.000	0	0.000	0.00%
		V3	24.23	10	0.004	10.88	0.004	6.18%
		V3	50.10	20	0.008	21.76	0.008	5.85%
		V3	72.92	30	0.012	32.64	0.011	6.15%
	V3	98.36	40	0.016	43.52	0.015	6.03%	
Rata – Rata Selisih Torsi								4.12%

D. Spesifikasi Alat Ukur

Tabel D. 2 Spesifikasi Sensor *Load cell*

<i>Rated load</i>	20 kg
<i>Rated output</i>	1,0 ± 0,15 mV/V
<i>Zero output</i>	±0,1 mV/V
<i>Cree</i>	0,03%F.S./30min
<i>Input end</i>	Red+, Black-
<i>Output end</i>	Green+, White-
<i>Input impedance</i>	1115±10% Ω
<i>Output impedance</i>	1000±10% Ω
<i>Maximum working voltage</i>	15 V DC
<i>Operating temperature range</i>	-20 ~ 60°C
<i>Total size</i>	80 x 13 x 13 mm/3,14 x 0,51 x 0,51 (L x W x H)

Tabel D. 3 Spesifikasi Sensor Proximity

<i>Cable length</i>	120cm
<i>Output</i>	NPN-NO (<i>Normal open</i>)
<i>Detection distance</i>	4 mm (<i>effective 0-4mm</i>)
<i>Detection object</i>	<i>Metal material</i>
<i>Voltage</i>	DC 6-36V Max 200mA
<i>Size</i>	58 x 12mm (L x Diameter), <i>thread lenght 40mm</i>
<i>Head diameter</i>	10,5mm
<i>Response frequency</i>	0,5KHz
<i>Operating temperature</i>	-25°C to +55°C (<i>Non-freezing condition</i>)
<i>Material</i>	<i>Plastic & metal</i>
<i>Protection class</i>	IP65
<i>Implementation standards</i>	GBT14048.102008
<i>Certificates</i>	CE

Tabel D. 4 Spesifikasi *Flowatch FL-03 Current Meter*

<i>Diameter</i>	0,6mm
<i>Minimum sensitivity</i>	0,3km/h (0,1m/s)
Precision	+/-2%
“off-axis’ error	+/-20° / +/-3%

E. Contoh Perhitungan

Perhitungan Reynold Number

$$Re = \frac{Uc}{\nu} \quad (2.5)$$

Dengan,

U = Kecepatan *inlet* (m/s)

c = Chord (m)

ν = Viskositas Kinematik (10^{-6} kg/ms)

Pada $V1 = 0,17$ m/s

$$Re = \frac{0,17 * 0,05}{10^{-6}} = \mathbf{8500}$$

Pada $V2 = 0,21$ m/s

$$Re = \frac{0,21 * 0,05}{10^{-6}} = \mathbf{10500}$$

Pada $V3 = 0,29$ m/s

$$Re = \frac{0,29 * 0,05}{10^{-6}} = \mathbf{14500}$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Kota Bekasi pada tanggal 7 November tahun 1999. Penulis menempuh jenjang pendidikan di SDIT At-Taqwa Kota Bekasi, SMPIT Thariq bin Ziyad Kota Bekasi dan SMAIT Thariq bin Ziyad Kota Bekasi. Kemudian menjadi mahasiswa di Departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama proses perkuliahan penulis aktif dalam berbagai kegiatan seperti Asisten Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengondisian Lingkungan, Pengurus Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika di bidang minat bakat dan Tim Futsal ITS. Penulis dapat dihubungi melalui email : irfanalfarizi07@gmail.com.