



TUGAS AKHIR - TF 181801

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH JUMLAH *BLADE* DAN *DUAL-STAGE* TERHADAP PERFORMANSI *RUNNER* TIPE *PROPELLER* PADA *GRAVITATIONAL VORTEX WATER TURBINE***

RIO ADI PRASETYO

NRP. 0231184000034

Dosen Pembimbing:

Ir. Sarwono, M.M.

DEPARTEMEN TEKNIK FISIKA

Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya 2022

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



**FINAL PROJECT - TF 181801**

***EKSPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF BLADE NUMBER  
AND DUAL-STAGE ON PERFORMANCE OF PROPELLER RUNNER  
FOR GRAVITATIONAL VORTEX WATER TURBINE***

RIO ADI PRASETYO

NRP. 02311840000034

Supervisors:

Ir. Sarwono, M.M.

*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 : Rio Adi Prasetyo  
NRP : 02311840000034  
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 JUMLAH *BLADE* DAN *DUAL-STAGE* TERHADAP PERFORMANSI *RUNNER* TIPE *PROPELLER* PADA *GRAVITATIONAL VORTEX WATER TURBINE*” 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 sebenarnya-benarnya.

Surabaya, 13 Juni 2022

Yang membuat pernyataan,



Rio Adi Prasetyo

NRP. 02311840000034

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

LEMBAR PENGESAHAN  
TUGAS AKHIR

STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH JUMLAH *BLADE* DAN *DUAL-STAGE* TERHADAP PERFORMANSI *RUNNER* TIPE *PROPELLER* PADA *GRAVITATIONAL VORTEX WATER TURBINE*

Oleh:

Rio Adi Prasetyo

NRP. 02311840000034

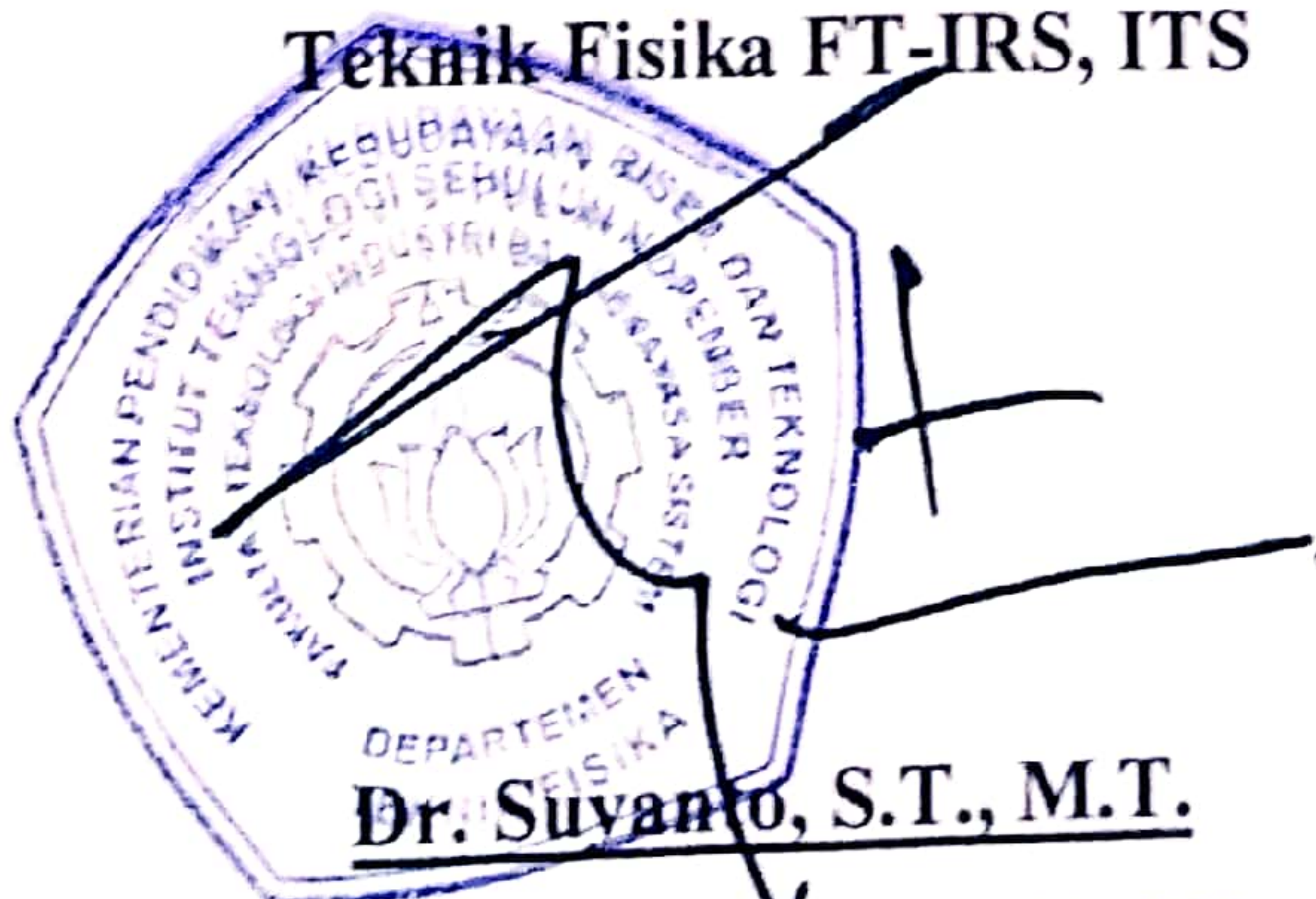
Surabaya,  
Menyetujui,  
Pembimbing



Ir. Sarwono, M. M.

NIP. 19580530 198303 1 002

Mengetahui,  
Kepala Departemen  
Teknik Fisika FT-IRS, ITS



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

NIP. 1971113 199512 1 002

*Halaman ini sengaja dikosongkan*



# LEMBAR PENGESAHAN

## STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH JUMLAH *BLADE* DAN *DUAL-STAGE* TERHADAP PERFORMANSI *RUNNER* TIPE *PROPELLER* PADA *GRAVITATIONAL VORTEX WATER TURBINE*

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

pada

Progam Studi S-1 Departemen Teknik Fisika

Fakultas Teknologi Industri & Rekayasa Sistem (FTIRS)

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

**RIO ADI PRASETYO**

**NRP. 02311840000034**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Ir. Sarwono, M.M.



..... (Pembimbing)

2. Dr. Ridho Hantoro, ST, MT.



..... (Ketua Penguji)

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

..... (Penguji I)

4. Prof. Dr. Ir. Sekartedjo., MSc

..... (Penguji II)

**SURABAYA**

**2022**

**STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH JUMLAH *BLADE*  
DAN *DUAL-STAGE* TERHADAP PERFORMANSI *RUNNER*  
TIPE *PROPELLER* PADA *GRAVITATIONAL VORTEX WATER*  
*TURBINE***

**Nama** : Rio Adi Prasetyo  
**NRP** : 0231184000034  
**Departemen** : Teknik Fisika FTIRS - ITS  
**Dosen Pembimbing** : Ir. Sarwono, M.M.

**ABSTRAK**

*Gravitational Water Vortex Turbine* (GWVT) merupakan salah satu jenis teknologi energi terbarukan yang menggunakan sumber air dan tergolong mikro-hidro karena pembangkitan listrik yang tercatat tidak melebihi 100 kW. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh jumlah *blade* dan pengaruh konfigurasi *dual-stage* terhadap performansi *runner propeller* pada sistem GVWT. Dalam menganalisa pengaruh variasi tersebut terdapat parameter-parameter yang diteliti yaitu RPM, torsi, daya, dan efisiensi. Diketahui bahwa pada konfigurasi *single-stage*, variasi terbaik yaitu variasi jumlah *blade* 4 dengan daya keluaran 3.636 W dan efisiensi sebesar 45.83%. Sedangkan pada konfigurasi *dual-stage*, variasi terbaik juga ditunjukkan oleh variasi 4 *blade* yaitu dengan daya keluaran sebesar 4.462 W dan efisiensi sebesar 48.62%. Jika dibandingkan antara *single-stage* dan *dual-stage* di setiap variasi *blade*, konfigurasi *dual-stage* memberikan performansi yang lebih baik dan juga daya keluaran yang jauh lebih tinggi daripada *single-stage*

**Kata Kunci:** *Vortex*, Torsi, Jumlah *blade*, *Dual-stage*, Daya

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

***EKSPERIMENTAL STUDY OF THE EFFECT OF BLADE  
NUMBER AND DUAL-STAGE ON PERFORMANCE OF  
PROPELLER RUNNER FOR GRAVITATIONAL VORTEX  
WATER TURBINE***

***Name*** : Rio Adi Prasetyo  
***NRP*** : 02311840000034  
***Department*** : Engineering Physics FTIRS - ITS  
***Supervisors*** : Ir. Sarwono, M.M.

***ABSTRACT***

*Gravitational Water Vortex Turbine (GWVT) is a type of renewable energy technology that classified as micro-hydro because the electricity generation does not exceed 100 kW. This study is intended to analyze the effect of the number of blades and dual-stage configuration on propeller runner performance. The angular velocities, torque, power, and efficiency were used to compare the various settings responses. It was found that for a single-stage configuration, the best number of blades configuration is 4 blades with an output power of 3.636 W and an efficiency of 45.83%. For a dual-stage configuration, the best number of blades is also the 4 blades runner with an output power of 4.462 W and an efficiency of 48.62%. The dual-stage GWVT configuration provides higher performance than single-stage.*

***Keywords: Vortex, Torque, Number of blades, Dual-stage, Power***

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah *Blade* Dan *Dual-Stage Runner Tipe Propeller* Untuk Turbin Air Studi Kasus Sistem *Gravitational Vortex Water Turbine*”**. Dalam pelaksanaan Tugas Akhir dan penyusunan laporan Tugas Akhir ini, tentunya tidak lepas dari adanya doa, dukungan, dan segala bentuk bantuan yang telah diberikan kepada penulis. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu dan Almarhum Ayah, yang telah memberikan segenap kasih sayang, dukungan moril, serta dukungan materiil dengan tulus dan sepenuh hati kepada penulis.
2. Bapak Ir. Sarwono, M. M. sebagai dosen pembimbing Tugas Akhir yang memberikan bimbingan dan arahan dalam menyelesaikan Tugas Akhir.
3. Ibu Erna Septyaningrum S.T., M.T. serta Bapak Ridho Hantoro, S.T., M.T. yang telah banyak memberikan saran, arahan, dan motivasi yang luar biasa berharga dalam keseluruhan pelaksanaan Tugas Akhir.
4. Bapak Dr. Gunawan Nugroho, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengondisian Lingkungan Teknik Fisika ITS yang telah memfasilitasi penulis dalam melakukan eksperimental dan penyusunan laporan Tugas Akhir.
5. Seluruh Bapak dan Ibu dosen pengajar Teknik Fisika yang telah memberikan banyak pandangan dan ilmu selama masa perkuliahan.
6. Achmad Rijal Firdausi, sebagai *partner* dalam menjalankan penelitian eksperimental GVWT yang telah banyak membantu dan memberikan bantuan selama penelitian berlangsung.
7. Teman – teman Trident Firmus sebagai teman penyemangat dan teman berdiskusi dan pihak lain yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini masih terdapat kekurangan dan banyak hal yang dapat dikembangkan. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka

akan kritik dan saran yang membangun. Besar harapan laporan tugas akhir ini dapat bermanfaat dan memberikan informasi bagi semua pihak

Surabaya, 14 Juni 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
<i>COVER PAGE</i> .....	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI .....	v
LEMBAR PENGESAHAN .....	vii
LEMBAR PENGESAHAN .....	ix
ABSTRAK.....	xi
<i>ABSTRACT</i> .....	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.....	3
1.3 Tujuan.....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Sistematika Laporan .....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....	7
2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro.....	7
2.2 Persamaan Energi Aliran Kanal Terbuka .....	8
2.3 <i>Gravitational Vortex Water Turbine</i> .....	9
BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....	19
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	19
3.2 Identifikasi Perumusan Parameter .....	21



3.3	Perancangan Desain Penelitian .....	22
3.4	Uji Eksperimental.....	24
3.5	Sensor dan Konfigurasi Pengambilan Data.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		37
4.1	Data Pengukuran .....	37
4.2	Analisa dan Pengolahan Data.....	41
4.3	Diskusi.....	52
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....		59
5.1	Kesimpulan.....	59
5.2	Saran.....	59
DAFTAR PUSTAKA .....		61
LAMPIRAN.....		65
BIODATA PENULIS .....		71

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 2.1</b> Peta sebaran potensi tenaga air di Indonesia (Dewan Energi Nasional, 2020) .....	8
<b>Gambar 2.2</b> Grafik dari <i>range</i> operasi kerja pada GVWT (Timilsina dkk., 2018) .....	10
<b>Gambar 2.3</b> Skema alat eksperimental GVWT (P. Sritram & Suntivarakorn, 2019) .....	10
<b>Gambar 2.4</b> Contoh konfigurasi GVWT dalam aliran kanal terbuka (Ersoy, 2014). .....	11
<b>Gambar 2.5</b> Partikel yang berputar pada (a) <i>irrotational flow</i> , dan (b) <i>rotational flow</i> (Childs, 2011).....	13
<b>Gambar 2.6</b> <i>Runner Propeller</i> .....	15
<b>Gambar 2.7</b> Skema penelitian <i>dual-stage runner</i> pada sistem GVWT .....	16
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	20
<b>Gambar 3.2</b> (a) DED konfigurasi GWVPP, (b) DED <i>basin</i> , (c) DED kanal .....	22
<b>Gambar 3.3</b> Bentuk <i>Runner Propeller</i> .....	22
<b>Gambar 3.4</b> Konfigurasi <i>runner dualstage</i> .....	23
<b>Gambar 3.5</b> Skema <i>Flume Tank</i> .....	24
<b>Gambar 3.6</b> (a) <i>Gate</i> di dekat <i>inlet</i> dan (b) <i>Gate</i> di dekat <i>outlet</i> ditutup untuk mengarahkan aliran pada satu sisi <i>flume tank</i> .....	24
<b>Gambar 3.7</b> <i>Gate</i> yang menutup outlet dibuka agar air mengalir ke <i>basin</i> .....	25
<b>Gambar 3.8</b> Pompa pada <i>flume tank</i> .....	25
<b>Gambar 3.9</b> (a) Kanal tambahan pada <i>outlet</i> dengan lebar yang lebih kecil, dan (b) <i>basin</i> untuk membentuk pusaran air dan memutar <i>runner propeller</i> .....	26
<b>Gambar 3.10</b> Titik pengukuran debit pada kanal akrilik .....	26
<b>Gambar 3.11</b> <i>Loadcell</i> untuk mengukur torsi.....	27
<b>Gambar 3.12</b> <i>Proximity Sensor</i> untuk mendapatkan data RPM.....	28
<b>Gambar 3.13</b> Konfigurasi pengambilan data pada <i>runner</i> .....	29
<b>Gambar 3.14</b> Detail konfigurasi pengambilan data torsi menggunakan pembebanan .....	29
<b>Gambar 3.15</b> Konfigurasi pengukuran RPM menggunakan <i>proximity sensor</i> ....	30

<b>Gambar 3.16</b> Peletakan sensor box di atas gawangan .....	30
<b>Gambar 3.17</b> Diagram alir prosedur kalibrasi <i>loadcell</i> .....	31
<b>Gambar 3.18</b> Diagram alir prosedur kalibrasi <i>proximity sensor</i> .....	33
<b>Gambar 3.19</b> Diagram alir prosedur pengambilan data eksperimental.....	35
<b>Gambar 4.1</b> Grafik hubungan antara beban dan RPM untuk variasi jumlah <i>blade</i> .....	38
<b>Gambar 4.2</b> Grafik hubungan antara RPM dan Torsi untuk variasi jumlah <i>blade</i> .....	38
<b>Gambar 4.3</b> Grafik hubungan antara beban dan RPM untuk variasi <i>dualstage</i> ....	40
<b>Gambar 4.4</b> Grafik hubungan antara RPM dan Torsi untuk variasi <i>dualstage</i> ....	41
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Perbandingan antara RPM dengan Efisiensi untuk variasi jumlah <i>blade</i> .....	43
<b>Gambar 4.6</b> Grafik perbandingan antara RPM dan Efisiensi untuk variasi <i>dualstage</i> .....	45
<b>Gambar 4.7</b> Perbandingan antara <i>single-stage</i> dan <i>dual-stage</i> untuk variasi 3 <i>blade</i> (a) RPM terhadap daya dan (b) RPM terhadap efisiensi .....	45
<b>Gambar 4.8</b> Perbandingan antara <i>single-stage</i> dan <i>dual-stage</i> untuk variasi 4 <i>blade</i> (a) RPM terhadap daya dan (b) RPM terhadap efisiensi .....	46
<b>Gambar 4.9</b> Perbandingan antara <i>single-stage</i> dan <i>dual-stage</i> untuk variasi 5 <i>blade</i> (a) RPM terhadap daya dan (b) RPM terhadap efisiensi .....	46
<b>Gambar 4.10</b> Perbandingan antara <i>single-stage</i> dan <i>dual-stage</i> untuk variasi 6 <i>blade</i> (a) RPM terhadap daya dan (b) RPM terhadap efisiensi .....	46
<b>Gambar 4.11</b> Struktur aliran <i>vortex</i> berdasarkan variasi pembebanan (a) tanpa beban dengan RPM 521, (b) beban 0.1 kg dengan RPM 314, (c) beban 0.2 kg dengan RPM 272 dan (d) beban 0.3 kg dengan RPM 223. ....	48
<b>Gambar 4.12</b> Grafik data pengaruh RPM terhadap <i>vortex height</i> pada variasi <i>single-stage</i> .....	49
<b>Gambar 4.13</b> Grafik data pengaruh RPM terhadap <i>vortex height</i> pada variasi <i>dual-</i> <i>stage</i> .....	51

<b>Gambar 4.14</b> Struktur aliran vortex yang dihasilkan oleh variasi <i>dual-stage</i> pada pembebanan 0.4 kg dan kecepatan putar 145 RPM (a) variasi 5 <i>blade</i> (b) variasi 6 <i>blade</i> .....	51
<b>Gambar 4.15</b> Ilustrasi resistensi aliran pada <i>runner</i> propeller untuk variasi (a) 3 <i>blade</i> (b) 4 <i>blade</i> (c) 5 <i>blade</i> (d) 6 <i>blade</i> .....	53
<b>Gambar 4.16</b> <i>Velocity contour</i> pada <i>runner</i> dengan sudut kemiringan 90° dengan (a) 8 <i>blade</i> , (b) 12 <i>blade</i> , dan (c) 16 <i>blade</i> .....	55

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Potensi Minihidro dan Mikrohidro per Provinsi tahun 2020 (Dewan Energi Nasional, 2020) .....	7
<b>Tabel 3.1</b> Perumusan Parameter .....	21
<b>Tabel 3.2</b> Data Kalibrasi <i>Loadcell</i> .....	32
<b>Tabel 3.3</b> Data Kalibrasi <i>Proximity Sensor</i> .....	32
<b>Tabel 4.1</b> Data pengukuran untuk variasi jumlah blade.....	37
<b>Tabel 4.2</b> Data pengukuran untuk variasi <i>dualstage</i> .....	39
<b>Tabel 4.5.</b> Hasil perhitungan daya untuk variasi jumlah blade .....	42
<b>Tabel 4.6.</b> Hasil perhitungan efisiensi untuk variasi jumlah blade .....	42
<b>Tabel 4.7</b> Hasil perhitungan daya untuk variasi <i>dualstage</i> .....	44
<b>Tabel 4.8</b> Hasil perhitungan efisiensi untuk variasi <i>dualstage</i> .....	44
<b>Tabel 4.9</b> Data pengaruh RPM terhadap <i>vortex height</i> pada variasi <i>single-stage</i>	49
<b>Tabel 4.10</b> Data pengaruh RPM terhadap <i>vortex height</i> pada variasi <i>dual-stage</i>	50

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR SIMBOL

$C_p$	=	Efisiensi / <i>Coefficient of Power</i>
$CF$	=	<i>Correction Factor</i> untuk <i>Head</i> hidrolik
$E_w$	=	Energi per satuan berat jenis (m)
$g$	=	Gravitasi ( $m/s^2$ )
$H$	=	<i>Static Head</i> (m)
$K.H$	=	<i>Kinetic Head</i> (m)
$\dot{m}$	=	Laju Aliran Massa (kg/s)
$P_h$	=	Daya Hidrolik (W)
$P_{poros}$	=	Daya Poros (W)
$Q$	=	Debit Air yang Mengenai <i>Runner</i> ( $m^3/s$ )
$r$	=	Jari – Jari <i>Runner</i> (m)
$R$	=	Jari – Jari Umum (m)
$R_b$	=	Jari – Jari Basin pada Posisi Tertentu (m)
$V_t$	=	Kecepatan Tangensial Fluida (m/s)
$V_h$	=	<i>Vortex Height</i> (m)
$\rho$	=	Massa Jenis Air pada Temperatur Tertentu ( $kg/m^3$ )
$\tau$	=	Torsi (Nm)
$\omega$	=	Kecepatan angular (RPM atau rad/s)
$\Gamma$	=	Sirkulasi ( $m^2/s$ )



*Halaman ini sengaja dikosongkan*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Energi air merupakan salah satu bentuk energi terbarukan yang murah, ketersediaan yang melimpah dan lebih produktif di antara sumber energi terbarukan lainnya (Hanafi & Riman, 2015). Pemanfaatan potensi energi air di Indonesia masih terfokus pada Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) skala besar. Sedangkan, menurut buku Bauran Energi Nasional 2020, energi dari sumber mini/mikro hidro di Indonesia juga memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan yaitu sebesar 19.835 MW. Jika dibandingkan dengan potensi yang ada, pemanfaatan pembangkit mikro-hidro masih sangat rendah yaitu sekitar 104 MW (Dewan Energi Nasional, 2020). Salah satu teknologi pemanfaatan tenaga air mikro-hidro yang sedang dikembangkan adalah *Gravitational Vortex Water Turbine* (GVWT). Prinsip dari GVWT adalah memanfaatkan energi mekanik dari aliran air berupa sungai dan saluran irigasi dengan perbedaan ketinggian yang sangat rendah (*very low head*). GVWT dinilai dapat menjadi salah satu solusi untuk memenuhi kebutuhan listrik di daerah terpencil yang masih terbatas oleh masalah ekonomi dalam membangun jaringan listrik baru (Erinofiardi dkk., 2017), dan mengurangi dampak negatif oleh pembangunan bendungan (Talukdar dkk., 2018).

Penelitian yang dilakukan pada turbin *free vortex* menunjukkan bahwa turbin *free vortex* mampu menghasilkan efisiensi mekanis maksimum sebesar 35,92%, jauh lebih tinggi dari kincir air tradisional yang hanya menghasilkan efisiensi mekanis maksimum sebesar 13,69% (Nishi & Inagaki, 2017; P. Sritram & Suntivarakorn, 2017). Banyak faktor yang mempengaruhi efisiensi turbin air *free vortex*, seperti desain *basin*, konfigurasi turbin dan material, serta perubahan parameter laju aliran (Power dkk., 2015). Teknologi GVWT tergolong mikro-hidro karena daya pembangkitan listrik yang tercatat tidak melebihi 100 kW (Yaakob dkk., 2014). Pada GVWT, air mengalir melewati kanal buatan kemudian menabrak sisi *basin* yang melingkar sehingga terbentuk pusaran alami atau pusaran bebas. Pembangkit listrik ini membutuhkan head yang rendah (0.5 – 3 m) sehingga proses

konversi energi tidak didasarkan pada variasi tekanan, tetapi pada energi akibat perubahan gaya dinamis yang dihasilkan oleh vortex dan berpindah ke poros mekanik turbin.

Banyak potensi untuk analisis lebih lanjut dalam hal desain dan konfigurasi untuk meningkatkan performansi GVWT, misalnya konfigurasi *basin*, konfigurasi *inlet* dan *outlet*, dan konfigurasi *runner*. Penelitian yang dilakukan (Dhakal dkk., 2015) dengan menggunakan metode CFD menunjukkan bahwa penggunaan tipe *basin* conical mampu menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi daripada *basin* silinder. Penelitian kemudian dilanjutkan dengan studi eksperimental menggunakan tipe *basin conical*, dengan debit  $0,01 \text{ m}^3/\text{s}$  dan ketinggian  $0,85 \text{ m}$ , menunjukkan bahwa posisi *runner* akan menghasilkan efisiensi terbaik yaitu sebesar 36,85% bila ditempatkan pada posisi 65-75% dari total ketinggian jatuh, diukur dari atas *basin*.

Penelitian tentang karakteristik turbin melalui penyesuaian bentuk, profil, jumlah dan ukuran *blade* memiliki peluang yang besar untuk dikembangkan lebih lanjut. Hasil penelitian (Power dkk., 2015) menyatakan bahwa efisiensi generator meningkat dengan bertambahnya jumlah *blade* (dari 2 menjadi 4). Namun, penelitian yang dilakukan oleh (Dhakal dkk., 2014) berbeda, yaitu menyatakan bahwa efisiensi generator menurun ketika jumlah sudu turbin meningkat dan ukuran turbin memiliki pengaruh besar terhadap efisiensi generator.

Fungsi *runner* pada turbin air secara umum adalah sebagai alat untuk mengekstrak energi aliran sehingga terjadi penurunan tekanan setelah aliran keluar dari *runner* melalui mekanisme transfer momentum dari *vortex* menuju ke permukaan *blade* pada *runner* (Cengel & Cimbala, 2014). Penggunaan turbin yang mirip dengan aliran radial tipe cross flow dengan bentuk *20 blade backwards* digunakan oleh (Nishi dan Inagaki, 2017) pada *basin* silinder dan menghasilkan efisiensi hingga 35,4% baik pada simulasi CFD maupun eksperimen. Hasil CFD juga menunjukkan bagaimana karakteristik medan aliran yang terbentuk di sekitar *blade* turbin. Bentuk *blade* turbin tipe aliran radial pada vortex untuk keperluan pembangkitan belum banyak diteliti.

Turbin reaksi menghasilkan tenaga dari kombinasi tekanan dan kecepatan air dimana *runner* ditempatkan pada aliran dengan *head* rendah. Turbin reaksi

umumnya digunakan pada Pembangkit Listrik Tenaga Air atau Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro yang memiliki *head* lebih rendah dan laju aliran yang lebih besar, misal Turbin Francis, Turbin Kaplan, dan Turbin *Propeller*. Turbin *propeller* telah digunakan sebagai objek beberapa penelitian terakhir. Turbin ini mampu bekerja pada *head* rendah, debit aliran tinggi, dan menghasilkan rpm dan efisiensi yang cukup tinggi, sehingga cocok digunakan pada sungai dan perairan kecil. Turbin *propeller* umumnya memiliki *runner* dengan 3 sampai 6 *blade* dimana air mengenai semua *blade* secara konstan (Wardhana dkk., 2019). Pada penelitian yang dilakukan oleh (Biantoro dkk.,2021) , menggunakan variasi jumlah *blade* 3, 4, dan 6 pada turbin *propeller*. Hasil analisis perhitungan manual menunjukkan bahwa laju aliran massa, kecepatan tangensial, dan kecepatan putar tertinggi terdapat pada sudu 6. Kemudian menggunakan metode CFD, *runner* yang menghasilkan performansi terbaik adalah 6 atau 7 sudu. Semakin kuat debit air akan menghasilkan RPM yang tinggi, dan juga semakin kuat arus listrik dan tegangan yang dihasilkan. Debit air 0,04 m<sup>3</sup>/s menghasilkan 215 RPM, arus 0.30 ampere dan tegangan 2,00 volt. Sedangkan debit air 0,08 m<sup>3</sup>/s menghasilkan 695 Rpm, arus 0.70 ampere dan tegangan 4.30 volt.

Peningkatan efisiensi turbin tidak terbatas pada desain geometri dari *runner*-nya saja, melainkan terdapat cara-cara lain seperti penggunaan *dual-stage* pada konfigurasi turbin GVWT. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Ullah et al., 2019) penggunaan turbin *dual-stage* akan menghasilkan daya dan efisiensi lebih besar daripada yang dihasilkan oleh turbin *single-stage*. *Runner* tipe *propeller* dan beberapa konfigurasinya pada sistem turbin GVWT masih belum banyak dikembangkan. Oleh karena itu berdasarkan latar belakang dan tinjauan literatur sebelumnya, penelitian ini akan fokus pada pengaruh jumlah *blade* dan *dual-staging* terhadap performansi *runner propeller* dalam sistem GVWT

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini adalah:

- a) Bagaimana pengaruh variasi jumlah *blade* pada *runner* tipe *propeller* terhadap performansi sistem GVWT?

- b) Bagaimana pengaruh *dual-staging runner* tipe *propeller* terhadap performansi sistem GVWT?

### 1.3 Tujuan

Tujuan dilakukannya penelitian ini adalah:

- a) Mengetahui pengaruh variasi jumlah *blade* pada *runner* tipe *propeller* terhadap performansi sistem GVWT
- b) Mengetahui pengaruh *dual-staging runner* tipe *propeller* terhadap performansi sistem GVWT

### 1.4 Batasan Masalah

Dalam pelaksanaan tugas akhir ini terdapat batasan masalah yang diberikan agar penelitian ini lebih terarah yaitu:

- a) Jenis *runner* turbin yang digunakan adalah *runner* diameter 0.12 m.
- b) Perancangan yang dilakukan hanya sebatas perancangan *blade (runner)*. Komponen - komponen lain yang menjadi sistem eksperimen GVWT (seperti : geometri *flume tank*, pompa dan *basin* conical) tidak menjadi bahasan dalam tugas akhir ini.
- c) Dalam tugas akhir ini parameter yang dianalisis hanya dibatasi pada kecepatan putar turbin (RPM), torsi, daya dan efisiensi turbin sebagai respon terhadap variasi jumlah *blade runner*, pembebanan dan *dual-staging*.
- d) Kecepatan aliran (flow rate) dibuat konstan sebesar  $0.0098 \text{ m}^3/\text{s}$
- e) Variasi jumlah *blade* pada *runner* adalah 3, 4, 5, dan 6
- f) Variasi *dual-staging* dilakukan terhadap setiap variasi jumlah *blade*
- g) Jarak off-set antar stage di tentukan yaitu sebesar 0.14 m (sama dengan 2H)
- h) Posisi *runner* ditentukan yaitu 75 % untuk *single-stage*, dan 30%-75% untuk *dualstage*

### 1.5 Sistematika Laporan

Sistematika pada laporan tugas akhir ini terdiri dari 5 bab yaitu bab pendahuluan, tinjauan pustaka, metodologi penelitian, analisa data dan pembahasan., dan penutup. Bab pertama merupakan bab pendahuluan yang berisi

latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika laporan penelitian tugas akhir. Bab kedua merupakan bab tinjauan pustaka yang berisi mengenai teori dasar dan pendukung dari topik penelitian tugas akhir ini. Bab ketiga merupakan bab metodologi penelitian yang berisi mengenai penjelasan alur penelitian yang dilakukan selama melakukan penelitian. Bab keempat merupakan bab analisa data dan pembahasan membahas mengenai data yang didapat selama penelitian dilakukan, lalu data tersebut diolah dan ditampilkan secara grafik atau tabel serta ditambahkan penjelasan mengenai fenomena yang terjadi pada penelitian ini. Kemudian bab penutup atau bab terakhir merupakan bab yang berisi mengenai kesimpulan dari penelitian dan saran yang diberikan oleh penulis tentang penelitian kedepannya

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro

Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) adalah suatu pembangkitan energi listrik yang mengubah energi kinetik air yang mengalir akibat perbedaan energi potensial, mendesak sudu-sudu turbin dan mengubahnya menjadi energi mekanik. Generator listrik yang terhubung dengan turbin air selanjutnya mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Bergantung pada tinggi terjun dan debit air, dikenal tiga macam turbin, yaitu: Pelton, Francis dan Kaplan. Potensi total tenaga air yang dapat dipergunakan untuk pembangkitan tenaga listrik diperkirakan ada sekitar 75.000 MW dan tersebar di seluruh wilayah Indonesia (Gambar 2.1) dengan komposisi 20,7% di Sumatera (15.579 MW), 5,6% di Jawa (4.199 MW), 28,7% di Kalimantan (21.581 MW), 0,8% di Bali, NTT dan NTB (624 MW), 13,7% di Sulawesi (10.307 MW), 0,6% di Maluku (430 MW) dan 29,8% di Papua (22.371 MW). Sebaran potensi minihidro/mikrohidro untuk listrik per provinsi sebagaimana tertuang dalam Perpres No.22 Tahun 2017 tentang RUEN. Total potensi potensi minihidro/mikrohidro tersebut mencapai 19.385 MW sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.1

**Tabel 2.1** Potensi Minihidro dan Mikrohidro per Provinsi tahun 2020 (Dewan Energi Nasional, 2020)

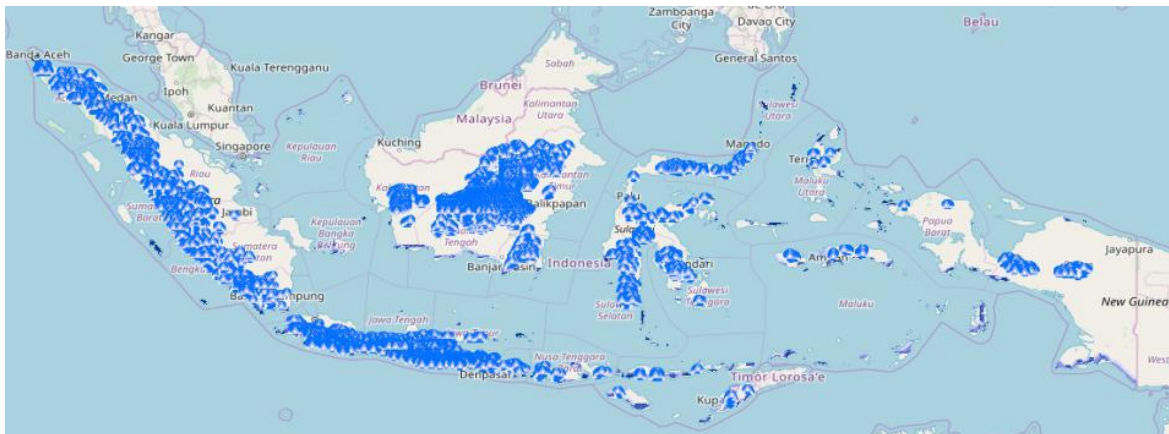
NO.	PROVINSI	POTENSI	NO.	PROVINSI	POTENSI
1	Kalimantan Timur	3.562	17	Riau	284
2	Kalimantan Tengah	3.313	18	Maluku	190
3	Aceh	1.538	19	Kalimantan Selatan	158
4	Sumatera Barat	1.353	20	Kalimantan Barat	124
5	Sumatera Utara	1.204	21	Gorontalo	117
6	Jawa Timur	1.142	22	Sulawesi Utara	111
7	Jawa Tengah	1.044	23	Bengkulu	108
8	Kalimantan Utara	943	24	Nusa Tenggara Timur	95
9	Sulawesi Selatan	762	25	Banten	72
10	Jawa Barat	647	26	Nusa Tenggara Barat	31
11	Papua	615	27	Maluku Utara	24
12	Sumatera Selatan	448	28	Bali	15
13	Jambi	447	29	Sulawesi Barat	7
14	Sulawesi Tengah	370	30	DI. Yogyakarta	5
15	Lampung	352	31	Papua Barat	3
16	Sulawesi Tenggara	301	<b>Total</b>		<b>19.385</b>



Berdasarkan kapasitas pembangkitannya, PLTA dikelompokkan menjadi:

- (a) PLTA, kapasitas pembangkit antara 5 - 5.000 MW
- (b) Pembangkit Listrik Tenaga Minihidro (PLTM), kapasitas antara 0,1 - 5 MW,
- (c) Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro (PLTMH), kapasitas pembangkit < 0,1 MW.

Berdasarkan data kapasitas terpasang ketiga kelompok PLTA ini, capaian pemanfaatan tenaga air Indonesia hingga tahun 2019 hanya 7,9% dari total potensinya. Total Kapasitas Terpasang PLTA, PLTM dan PLTMH hingga tahun 2019 mencapai 5.976 MW. Apabila potensi tenaga air di setiap daerah tersebut dapat dikembangkan sebagai salah satu strategi mitigasi potensi krisis listrik daerah, ketahanan energi regional diperkirakan akan meningkat. Pembangunan PLTA mini/mikro hidro di Indonesia sangat mungkin dilakukan secara masif mengingat potensinya yang cukup besar. Peta persebaran potensi tenaga air di Indonesia ditunjukkan pada Gambar 2.1



**Gambar 2.1** Peta sebaran potensi tenaga air di Indonesia (Dewan Energi Nasional, 2020)

## 2.2 Persamaan Energi Aliran Kanal Terbuka

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran saluran terbuka (open channel flow) maupun aliran pipa (pipe flow). Perbedaannya adalah pada aliran saluran terbuka harus memiliki permukaan bebas (free surface), sedangkan aliran pipa tidak, karena pada aliran pipa air harus mengisi seluruh saluran. Aliran saluran terbuka dengan permukaan bebas dipengaruhi oleh tekanan udara. Aliran pada saluran terbuka dapat diklasifikasikan menjadi beberapa

tipe tergantung kriteria yang digunakan. Berdasarkan perubahan kedalaman atau kecepatan dalam fungsi waktu, maka aliran dapat dibedakan menjadi aliran yang tunak (*steady*) dan tidak tunak (*unsteady*). Berdasarkan fungsi aliran, maka dapat dibedakan menjadi aliran seragam (*uniform flow*) dan aliran berubah-ubah (*varied flow*).

Aliran kanal terbuka memiliki potensi hidrolis yang bergantung pada debit dan ketinggian (*head*) dari kanal. Semakin besar kapasitas aliran maupun ketinggiannya dari instalasi maka semakin besar energi yang bisa dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Pada perairan seperti sungai atau kanal buatan yang memiliki *head* rendah (0.5 m – 2 m) memiliki potensi hidrolis yang dapat dimanfaatkan untuk pembangkit mikro-hidro seperti GVWT. Persamaan energi per satuan berat jenis fluida ( $\rho g$ ) dari sebuah aliran kanal terbuka ditunjukkan oleh persamaan berikut.

$$E_w = \frac{v^2}{2g} + h + \frac{p}{\gamma} \quad (2.1)$$

Dimana:

$E_w$  = Energi per satuan berat jenis fluida (m)

$v$  = kecepatan air (m/s)

$g$  = gravitasi ( $m/s^2$ )

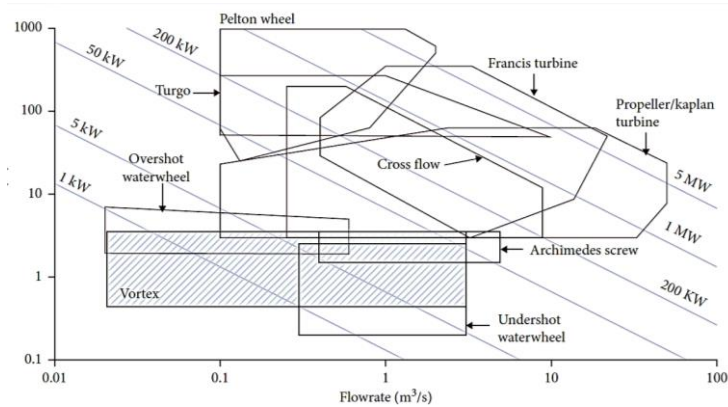
$p$  = Tekanan (Pa)

$\gamma$  = Berat jenis fluida ( $N/m^3$ )

$h$  = *static/potential head* (m)

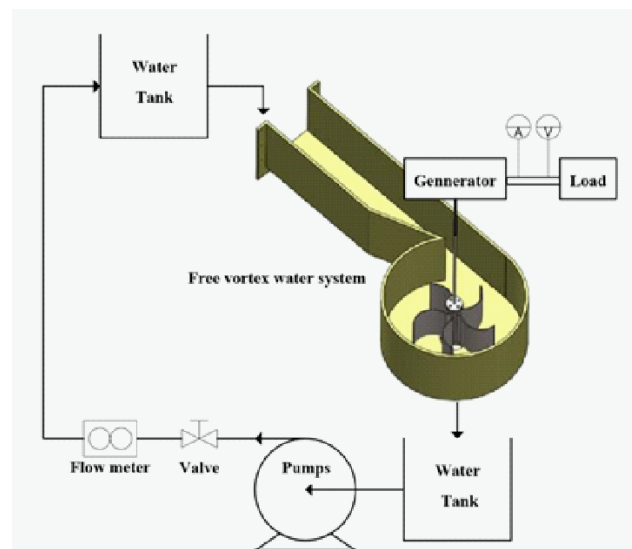
### 2.3 *Gravitational Vortex Water Turbine*

*Gravitational Vortex Water Turbine* atau GVWT adalah teknologi hijau yang menghasilkan listrik dari sumber energi alternatif atau terbarukan. Pada GVWT, air diarahkan menuju ke dalam *basin* melingkar secara tangensial yang menciptakan pusaran bebas dan kemudian energi diekstraksi dari pusaran bebas dengan menggunakan turbin. Keuntungan utama dari pembangkit listrik jenis ini adalah pembangkitan listrik dari tekanan hidrolis sangat rendah dan juga ramah lingkungan. Untuk memperjelas *range* operasi kerja dari GVWT, ditunjukkan grafik operasi kerja turbin pada Gambar 2.2.



**Gambar 2.2** Grafik dari *range* operasi kerja pada GVWT (Timilsina dkk., 2018)

Karena kebutuhan head hidraulik sangat rendah, pembangkit listrik jenis ini dapat dipasang di sungai kecil untuk menghasilkan listrik untuk beberapa rumah. Penelitian oleh (P. Sritram & Suntivarakorn, 2019) dilakukan penelitian eksperimental terhadap sistem GVWT dengan memvariasikan geometri dan jenis *runner* yang digunakan. Skema alat GVWT skala laboratorium yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3** Skema alat eksperimental GVWT (P. Sritram & Suntivarakorn, 2019)

Potensi hidrolis dari GVWT dipengaruhi oleh banyaknya massa fluida yang berinteraksi dengan *runner*. Besarnya potensi ini dapat dijelaskan dengan persamaan berikut ini. (Ullah dkk., 2019)

$$P_h = \rho \cdot g \cdot (H + Kh) \cdot Q \cdot \left( \frac{r^2}{R_b^2} \right) \cdot CF \quad (2.2)$$

$$Kh = \frac{v^2}{2g} \quad (2.3)$$

Dimana :

$P_h$  = Potensi Hidrolik (Watt)

$\rho$  = massa jenis air ( $\text{kg/m}^3$ )

$g$  = gravitasi ( $\text{m/detik}^2$ )

$Q$  = Debit air (liter/detik)

$H$  = *static head* (meter)

$r$  = jari jari runner (meter)

$R$  = jari-jari basin pada posisi tertentu (meter)

$CF$  = *Correction Factor*

$v$  = kecepatan aliran air pada kanal *inlet basin* (meter/detik)

$Kh$  = *Kinetic head* (meter)

Pada konfigurasi GVWT, *static head* atau ketinggian dihitung dari ketinggian jatuhnya air pada basin terhadap posisi runner secara vertikal. Pada praktiknya, GVWT diterapkan di perairan terbuka atau sungai yang tidak terlalu deras. Gambar 2.4 adalah contoh konfigurasi kanal untuk membuat sistem GVWT pada aliran terbuka.



**Gambar 2.4** Contoh konfigurasi GVWT dalam aliran kanal terbuka (Ersoy, 2014).

### 2.3.1 Teori Aliran Vortex

Air yang mengalir mempunyai energi yang dapat digunakan untuk memutar roda turbin, karena itu pusat-pusat tenaga air dibangun di sungai- sungai dan di pegunungan-pegunungan. Pusat tenaga air tersebut dapat dibedakan dalam 2 golongan, yaitu pusat tenaga air tekanan tinggi dan pusat tenaga air tekanan rendah. Kaidah energi menyatakan bahwa suatu energi akan dapat diubah menjadi bentuk energi lain. Arus air yang mengandung energi dan energi tersebut dapat diubah bentuknya, misalnya perubahan dari energi potensial (tekanan) ke dalam energi kinetis (kecepatan), atau sebaliknya. Artinya selanjutnya dari kaidah kekekalan energi adalah apabila arus air dalam alirannya dilewatkan melalui turbin air, maka energi yang ada dalam air akan diubah menjadi bentuk energi yang lain.

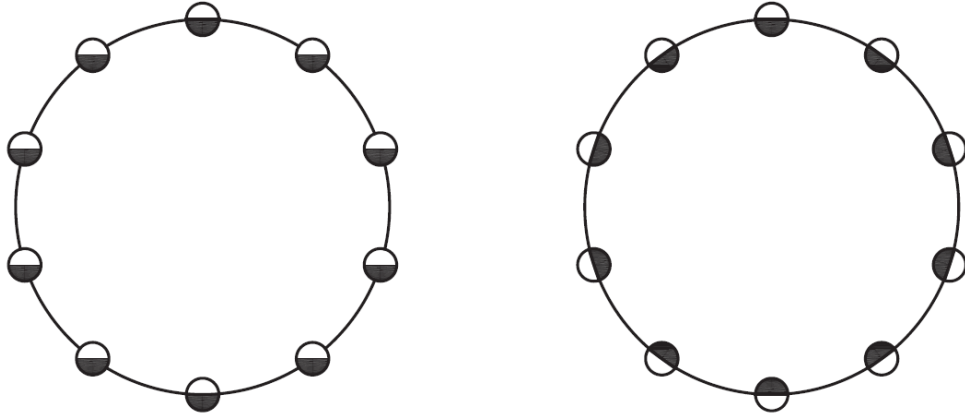
*Vortex* adalah massa fluida yang partikel-partikelnya bergerak berputar dengan garis arus (*streamline*) membentuk lingkaran konsentris. Gerakan *vortex* berputar disebabkan oleh adanya perbedaan kecepatan antara lapisan fluida yang berdekatan. Dapat diartikan juga sebagai gerak alamiah fluida yang diakibatkan oleh parameter kecepatan dan tekanan. (Tarigan, 2014) Pergerakan aliran fluida dapat dibedakan menjadi tiga jenis, yaitu:

- a. Translasi murni atau translasi *irrotasional*
- b. Rotasi murni atau translasi *rotasional*
- c. Distorsi atau deformasi murni, baik angular ataupun linier

Aliran *irrotasional* terjadi apabila elemen fluida di setiap titik tidak mempunyai kecepatan sudut netto terhadap titik tersebut. Sebaliknya aliran *rotasional* terjadi apabila elemen fluida mempunyai kecepatan sudut netto (Bath, 2014)

Ada dua tipe dasar aliran vortex, dan dibedakan berdasarkan alirannya yaitu rotasional atau irrotasional. Jika partikel-partikel fluida yang bergerak dalam suatu lingkaran konsentris tidak berputar pada sumbunya sendiri, maka aliran tersebut bersifat irrotasional dan *vortex* tersebut dikenal sebagai *irrotational flow vortex* atau sebagai *free vortex*. Jika partikel fluida yang bergerak dalam lingkaran konsentris ini berputar pada sumbunya sendiri, alirannya rotasional dan *vortex* tersebut dikenal sebagai *rotational flow vortex* atau sebagai *forced vortex*. Dalam *forced vortex* atau

pusaran paksa, fluida berputar sebagai benda padat dengan kecepatan rotasi konstan. Perbandingan rotasi antara *free vortex* dan *forced vortex* ditunjukkan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.5** Partikel yang berputar pada (a) *irrotational flow*, dan (b) *rotational flow* (Childs, 2011).

Berdasarkan klasifikasi aliran berputar yang terjadi dalam kehidupan sehari-hari maka aliran vortex dapat dibedakan menjadi dua bagian, yaitu:

a. Aliran *vortex* bebas

Ketika massa fluida bergerak secara alami (karena pengaruh gaya-gaya internal) dalam sebuah kurva aliran, gerakan vorteks bebas akan muncul, dalam kasus ini tidak ada torsi ataupun gaya eksternal yang mempengaruhi fluida. Vorteks bebas dikenal juga sebagai potential vortex. Hubungan kecepatan partikel fluida  $v$  terhadap jaraknya dari pusat putaran  $r$  dapat dilihat pada persamaan ini:

$$V_t = \frac{\Gamma}{2\pi R} \quad (2.4)$$

Dengan:

$V$  = kecepatan tangensial fluida (m/s)

$r$  = jari jari putaran partikel fluida dari titik pusat (m)

$\Gamma$  = sirkulasi

Sirkulasi didefinisikan sebagai sebuah integral garis dari komponen tangensial kecepatan yang diambil dari sekeliling kurva tertutup di medan aliran. Konsep sirkulasi sering digunakan untuk mengevaluasi gaya-gaya pada terbentuk pada benda-benda yang terendam dalam fluida yang bergerak

b. Aliran *vortex* paksa

Apabila suatu gaya diberikan pada suatu fluida dengan maksud membuat aliran fluida berputar. Hubungan kecepatan partikel fluida  $v$  terhadap jaraknya dari pusat putaran  $r$  dapat dilihat pada persamaan berikut:

$$V_t = \omega \cdot R \quad (2.5)$$

Dimana:

$\omega$  = kecepatan sudut (rad/s)

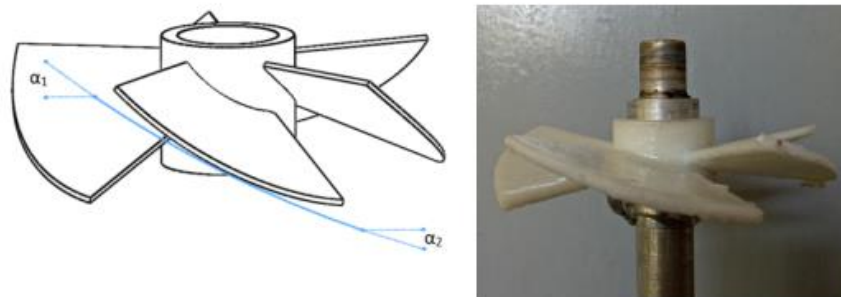
$r$  = jari-jari putaran (m)

### 2.3.2 Basin Conical

Basin adalah sebuah bentuk geometri yang terdapat pada rangkaian GVWT yang menjadi tempat terbentuknya aliran *vortex*. Basin dapat memiliki bentuk silindris maupun *conical* atau kerucut. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Sagar Dhakal dkk., 2015), permasalahan yang diangkat ialah menganalisis dua jenis struktur *basin* yang berbeda yaitu silindris dan conical sebagai media pembentukan aliran *free vortex* dengan ketinggian *head* yang rendah dan aliran air rendah. Kemudian dilakukan penelitian juga mengenai posisi *runner* yang optimal pada *basin* diukur dari ketinggian aliran *vortex*. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan menggunakan *Computational Fluid Dynamics* (CFD). *Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah studi dengan menggunakan perangkat lunak untuk memperoleh asumsi kuantitatif terkait dengan kondisi aliran fluida menurut hukum fisika seperti kekekalan energi tentang aliran fluida. Pertama, geometri dari *basin* dan *runner* dibuat menggunakan *software* CAD yakni Solid Works lalu geometri diimpor pada perangkat lunak CFD yaitu ANSYS Fluent untuk selanjutnya disimulasikan. Simulasi diatur dengan *steady flow, no slip conditions*. Kemudian hasil dari simulasi yang telah dilakukan di validasi menggunakan uji eksperimental yaitu dengan mengukur keluaran daya yang dihasilkan oleh *runner*. Studi numerik dan eksperimental pada plant ini menunjukkan bahwa daya keluaran dan efisiensi maksimum di *basin* berbentuk kerucut (*conical*) dibandingkan dengan *basin* silinder untuk semua kondisi inlet dan outlet yang sama, dengan ekstraksi daya maksimum pada posisi *runner* 65-75% dari total ketinggian cekungan. dari posisi teratas

### 2.3.3 Runner Propeller

*Runner propeller* disebut juga *runner* baling-baling adalah komponen turbin yang bekerja di dalam air yang dapat mengubah aliran air dengan *head* kecil/rendah menjadi power yang besar. *Runner propeller* merupakan turbin yang memiliki kecepatan spesifik ( $nq$ ) yang tinggi, sehingga cocok untuk *head* yang rendah dan debit yang tinggi. Semakin tinggi nilai kecepatan spesifiknya ( $nq$ ) maka akan lebih ekonomis. *Runner* jenis baling-baling ini mempunyai keuntungan di mana harganya relatif lebih murah dan dapat dioperasikan pada kondisi kapasitas air yang relatif konstan. *Runner* ini menjadi objek yang digunakan dalam penelitian ini karena memiliki beberapa keuntungan, yakni cocok untuk *head* rendah, debit tidak terlalu besar, paling efisien untuk *head gross* 0,5 – 1,5 m, dan daya yang dikeluarkan berkisar 200 W – 20 kW sehingga memungkinkan untuk dilakukan pengujian skala laboratorium.



**Gambar 2.6** *Runner Propeller*

Daya keluaran turbin yang dihasilkan (daya poros) dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$P_{poros} = \frac{\tau \times \omega \times 2 \times \pi}{60} \quad (2.6)$$

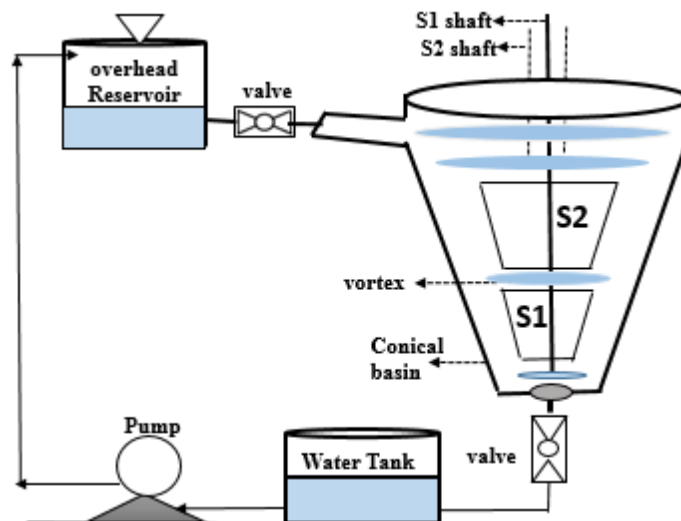
Dengan diketahuinya daya keluaran turbin dan daya hidrolis (input), maka dapat diketahui nilai performa turbin atau yang dikenal dengan *Coefficient of Power* ( $C_p$ ).  $C_p$  adalah perbandingan antara input (daya hidrolis) dengan daya output (daya poros) yang diperoleh dengan persamaan sebagai berikut:

$$C_p = \frac{P_{poros}}{P_{hidrolis}} \quad (2.7)$$



### 2.3.4 Dual stage Runner

*Dualstaging* adalah suatu konfigurasi penyusunan dua *runner* secara bertahap dalam satu poros yang sama. Pada penelitian yang telah dilakukan (Ullah dkk., 2019), evaluasi kinerja GWVT *dual-stage* menunjukkan bahwa distorsi pusaran yang disebabkan oleh *stage* atas hanya mempengaruhi kecepatan rotasi *stage* bawah; dengan demikian, profil sudu dari tingkat atas harus dirancang untuk distorsi vortex yang minimal. Peningkatan jarak *offset* antara *runner stage* atas dan *stage* bawah memicu reoriginasi pusaran, yang meningkatkan kinerja dari *runner stage* bawah. Penelitian yang dilakukan oleh (Cheema dkk., 2019) merupakan uji eksperimental terhadap *dual-stage runner* pada sistem GVWT. Skema dari penelitian tersebut ditunjukkan pada



**Gambar 2.7** Skema penelitian *dual-stage runner* pada sistem GVWT

Teknologi *dual-staging* di GWVT meningkatkan output daya keseluruhan GWVT dan meningkatkan kinerja *runner* individu. Namun, faktor optimasi harus dipertimbangkan. Pengamatan dekat terhadap hasil menunjukkan bahwa *dual-staging* GWVT memberikan output daya lebih banyak daripada GWVT *single-stage* untuk laju aliran dan head air yang sama. Namun, sistem dinamis yang kompleks, seperti susunan poros teleskopik, mungkin hanya dapat diterapkan dalam aplikasi skala kecil seperti pembangkit listrik tenaga mini dan mikro hidro. *Dual-staging* layak secara ekonomi karena memungkinkan kemudahan dalam pembuatan, pemasangan, dan *commissioning*.

Pada konfigurasi *dualstage*, perhitungan efisiensi sedikit berbeda karena terdapat lebih dari 1 *runner* maka daya hidrolik merupakan penjumlahan dari masing-masing daya hidrolik tiap *runner*. Sedangkan karena seluruh *runner* terhubung pada *shaft* yang sama, maka daya poros yang dihasilkan hanya ada satu nilai

$$Cp = \frac{P_{poros}}{\sum_{i=0}^n P_{hidrolik}} \quad (2.8)$$

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

#### **3.1 Diagram Alir Penelitian**

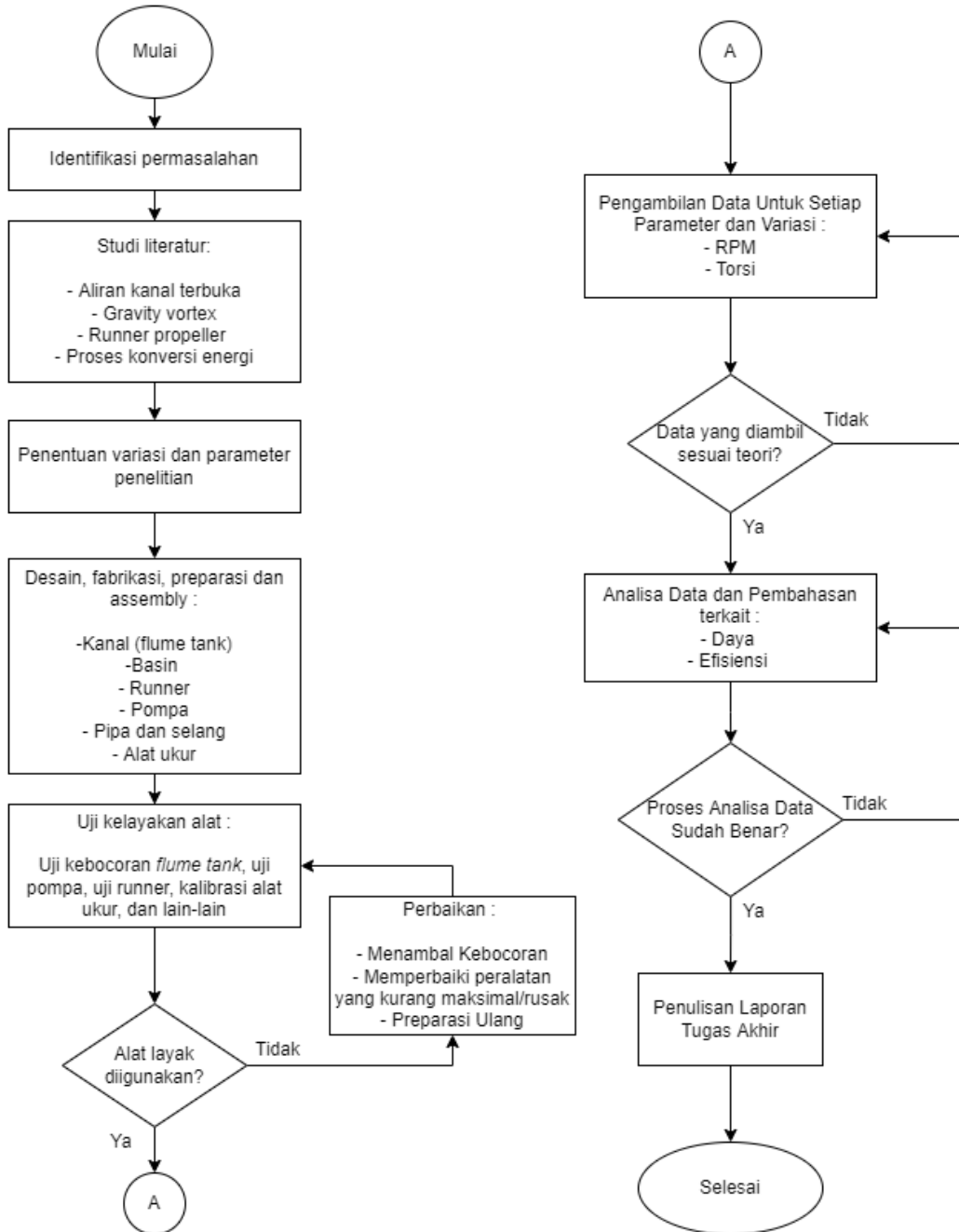
Pelaksanaan penelitian ini diawali dengan mengkaji beberapa studi literatur yang dilakukan dengan mengumpulkan berbagai teori yang dapat menunjang pengerjaan tugas akhir. Studi literatur ini dilakukan untuk memahami tentang parameter dan variasi yang akan digunakan, variabel kontrol penelitian, dan hal-hal lain yang berkenaan dengan *runner* turbin *propeller* melalui jurnal, penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya, dan buku penunjang

Referensi yang digunakan berkaitan dengan penelitian mengenai pengaruh desain turbin *GVWT* yaitu jumlah sudu turbin dan *dual-staging* sebagai dasar untuk penentuan desain yang akan diterapkan pada penelitian. Selain itu mencakup juga mengenai pemahaman aliran *vortex* dan persamaan efisiensi dari *runner* tipe *propeller*. Selain itu dilakukan pengumpulan data dari penelitian-penelitian sebelumnya terkait desain *runner* dan desain *basin* yang dinilai cukup optimal untuk mampu dijadikan sebagai variabel kontrol penelitian. Selain itu, juga dilakukan pengumpulan data terkait variasi jumlah *blade* dan *dual-staging* yang telah dilakukan sebelumnya untuk dapat menjadi acuan dalam menentukan variasi. Literatur yang digunakan berasal dari jurnal-jurnal, buku, dan laporan tugas akhir yang telah dilakukan sebelumnya.

Jenis *basin* yang digunakan adalah *basin* conical. Kemudian ditentukan variabel penelitian yang akan dibahas yaitu mencakup pengaruh dari jumlah *blade runner*, dan *dual-staging runner* terhadap kinerja turbin *open flume* aliran *vortex* ini. Pada penelitian ini dilakukan pengujian secara eksperimen untuk memperoleh data kecepatan putaran poros dan torsi. Parameter parameter yang tidak dapat diperoleh pada saat eksperimen seperti tekanan, distribusi kecepatan, *velocity vector* aliran, dan proses terbentuknya *vortex* pada *basin* tidak menjadi bahasan dalam penelitian ini.

Data parameter yang didapatkan kemudian diolah untuk mendapatkan performansi berupa daya dan efisiensi. Data tersebut kemudian dianalisis untuk

mengetahui fenomena yang terjadi dan untuk mendapatkan konfigurasi terbaik pada *runner propeller*. Analisis dan pembahasan kemudian ditulis dalam bentuk laporan penelitian Tugas Akhir.



**Gambar 3.1** Diagram Alir Metodologi Penelitian

### 3.2 Identifikasi Perumusan Parameter

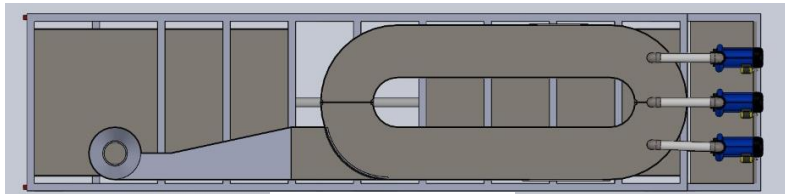
Sebelum penelitian ini dapat dilakukan, dilakukan identifikasi perumusan parameter-parameter yang terlibat dalam penelitian ini untuk memperjelas parameter *input* dan *output* dari penelitian yang akan dilakukan agar jalannya penelitian dapat lebih terarah. Parameter-parameter tersebut terdiri dari variabel bebas dan variabel kontrol yang menjadi *input* dan juga hasil pengukuran dan analisis sebagai *output*. Parameter-parameter tersebut ditunjukkan oleh Tabel 3.1 berikut ini.

**Tabel 3.1** Perumusan Parameter

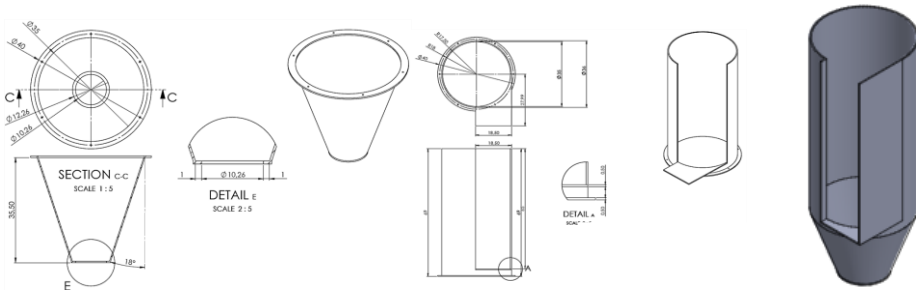
Parameter Input		Parameter Output
Variabel Kontrol	Variabel Bebas	Hasil Pengukuran dan Analisis
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sudut inlet tip 65° dan outlet tip 74°. Kemudian sudut inlet hub 30° dan outlet hub 50°. Diameter runner: 12 cm</li> <li>• Diameter inlet basin: 35.5 cm</li> <li>• Diameter outlet basin: 10 cm</li> <li>• Tinggi basin: 37 cm</li> <li>• Jarak antar stage: 14 cm</li> <li>• Debit aliran: 0,0098 m<sup>3</sup>/s</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Variasi jumlah <i>blade</i>: 3, 4, 5, 6</li> <li>• Variasi pembebanan: 1, 2, 3, 4</li> <li>• <i>Dualstaging</i>: pada setiap variasi jumlah blade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kecepatan putaran (RPM)</li> <li>• Torsi (Nm)</li> <li>• Daya poros (W)</li> <li>• <i>Coefficient of Power</i> (Cp)</li> </ul>

### 3.3 Perancangan Desain Penelitian

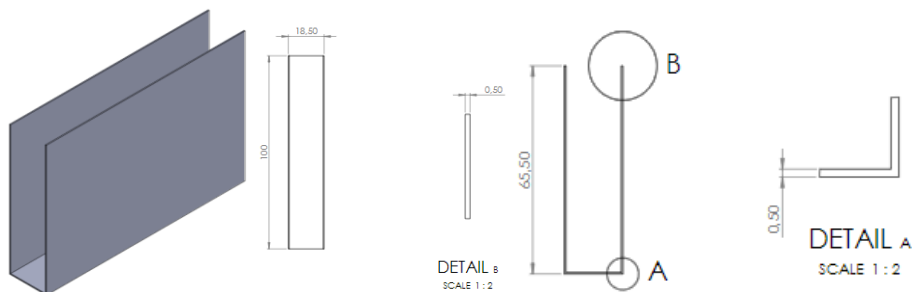
Perancangan penelitian dilakukan dengan bantuan aplikasi, yakni Solid Works 2020 untuk membuat geometri. Geometri yang dibuat terdiri dari GWVPP dengan tipe *basin conical* yang di dalamnya terdapat *runner propeller*. Berikut adalah skema GWVT beserta *runner propeller* yang akan digunakan:



(a)

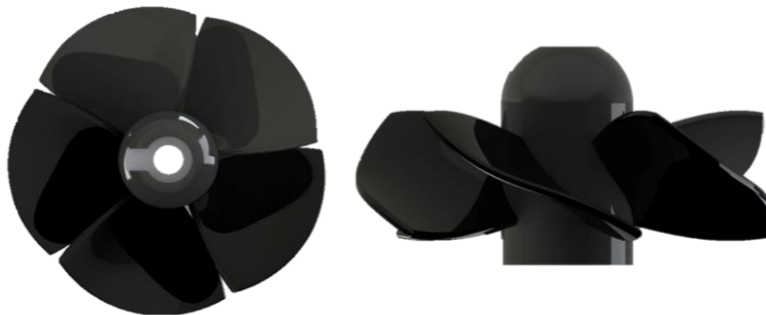


(b)



(c)

**Gambar 3.2** (a) DED konfigurasi GWVPP, (b) DED *basin*, (c) DED



**Gambar 3.3** Bentuk *Runner Propeller*

Perancangan desain GWVT yang akan dibuat menggunakan *basin tipe conical*, penempatan *runner* 75% dari ketinggian *basin*. Selain itu, bentuk *runner* yang digunakan adalah *runner propeller* dengan diameter terluar (tip) 12 cm dengan sudut inlet tip  $65^\circ$  dan outlet tip  $74^\circ$ , dan inlet hub  $30^\circ$  dan outlet hub  $50^\circ$ . Kemudian untuk konfigurasi *dualstage* ditunjukkan pada Gambar 3.4, dengan jarak *offset* antar *stage* sebesar 14 cm dilakukan pada seluruh variasi jumlah blade.



**Gambar 3.4** Konfigurasi *runner dualstage*

*Runner* tersebut akan divariasikan dengan jumlah sudu dan *dual-staging* yang dapat dilihat pada LAMPIRAN. Pembuatan desain 3D dan DED (*Detailed Engineering Drawing*) yang akan digunakan pada penelitian ini beserta mekanisme instalasinya pada *basin* dengan menggunakan software DS Solidwork. Desain 3D dan DED yang telah dibuat nantinya akan menjadi acuan dalam proses fabrikasi *runner* turbin *propeller*.

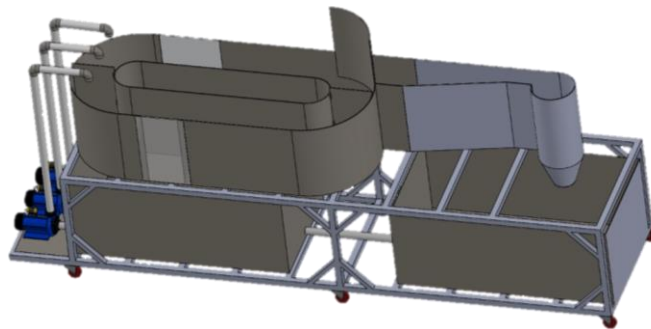
Selanjutnya dilakukan pembuatan *runner* dan juga konfigurasi pengukuran yang akan digunakan dalam penelitian ini dengan mengacu pada desain 3D dan DED yang telah disusun sebelumnya pada software DS Solidworks. Metode yang digunakan dalam fabrikasi *runner* adalah 3D printing menggunakan material PLA (polylactid acid) karena merupakan bahan yang cukup padat dan memiliki tingkat



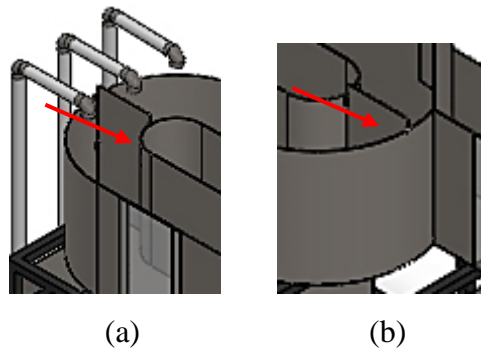
kegetasan yang tinggi. Metode 3D printing digunakan karena memiliki tingkat ketelitian yang tinggi, selain itu juga agar mempermudah proses fabrikasi karena runner yang digunakan memiliki skala yang tidak terlalu besar. Untuk kerangka konfigurasi pengambilan data akan menggunakan besi agar lebih kokoh dalam menyangga shaft dan *runner*

### 3.4 Uji Eksperimental

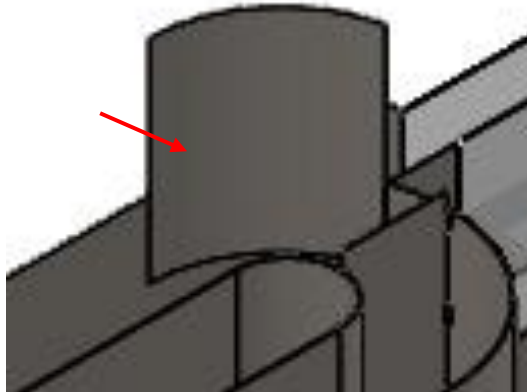
Dalam tahap ini, akan dilakukan uji eksperimen pada desain *runner* turbin *propeller* yang telah difabrikasi. Penelitian ini akan dilakukan dengan melakukan pengujian *runner* turbin *propeller* pada *basin* conical yang dinilai merupakan desain *basin* yang optimal apabila mengacu pada penelitian-penelitian yang telah dilakukan. Skema *flume tank* yang akan digunakan pada uji eksperimental ditunjukkan pada Gambar 3.5. Pada konfigurasi *vortex*, hanya menggunakan satu sisi dari flume tank yang kemudian dialirkan langsung menuju *basin*. Maka dari itu digunakan beberapa *gate* atau pintu air agar aliran air bisa berjalan di satu sisi *flume tank* saja. *Gate* atau pintu air ditunjukkan oleh Gambar 3.6 dan Gambar 3.7.



**Gambar 3.5** Skema *Flume Tank*

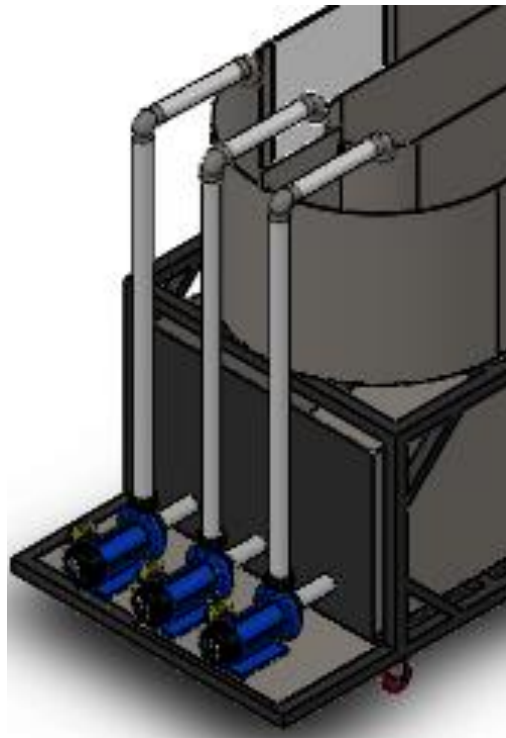


**Gambar 3.6** (a) *Gate* di dekat *inlet* dan (b) *Gate* di dekat *outlet* ditutup untuk mengarahkan aliran pada satu sisi *flume tank*



**Gambar 3.7** Gate yang menutup outlet dibuka agar air mengalir ke *basin*

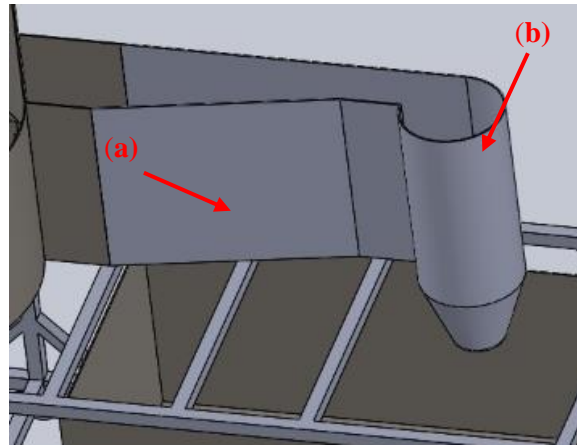
Pada sisi samping *flume tank* terdapat pompa yang digunakan untuk memompa air dari tangka air bawah, mengalir menuju kanal *flume tank*. Konfigurasi pompa diilustrasikan seperti pada Gambar 3.8



**Gambar 3.8** Pompa pada *flume tank*

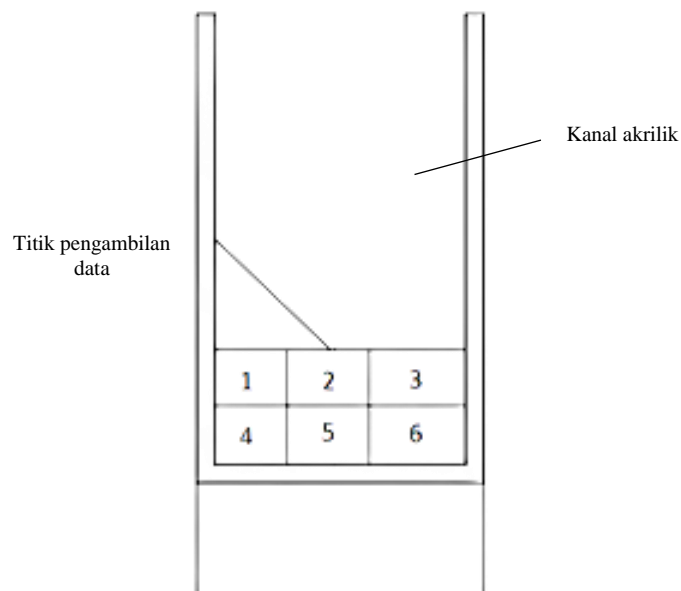
Kemudian pada sisi *outlet* terdapat kanal tambahan yang lebih kecil yang bertujuan untuk mempercepat aliran air sebelum masuk ke *basin* dan membentuk vortex. *Basin* yang digunakan berbentuk *conical* dengan dimensi yang paling

optimal berdasarkan penelitian sebelumnya. *Vortex* yang terbentuk dalam basin selanjutnya digunakan untuk memutar *runner propeller*. Konfigurasi kanal tambahan dan basin ditunjukkan pada Gambar 3.9



**Gambar 3.9** (a) Kanal tambahan pada *outlet* dengan lebar yang lebih kecil, dan (b) basin untuk membentuk pusaran air dan memutar *runner propeller*

Sebelum dilakukan pengujian *runner*, dilakukan pengukuran *flowrate* untuk mengetahui debit keluaran aktual dari 4 pompa yang digunakan. Pengukuran dilakukan pada kanal akrilik sebelum memasuki basin pada 6 titik yang berbeda. Titik-titik pengukuran tersebut ditunjukkan oleh Gambar 3.10



**Gambar 3.10** Titik pengukuran debit pada kanal akrilik

### 3.5 Sensor dan Konfigurasi Pengambilan Data

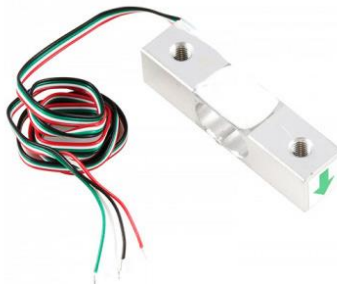
Dalam pengambilan data pada penelitian ini digunakan dua macam sensor yaitu *loadcell* untuk mengukur torsi dan juga *proximity sensor* untuk mengukur RPM yang dihasilkan oleh rotor pada turbin.

#### 3.5.1 Spesifikasi Sensor

##### a. *Loadcell*

Alat ukur pertama yang digunakan adalah *loadcell* yang berfungsi untuk mendeteksi gaya dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Kapasitas : 20 kg
- Dimensi : 80 x 13 x 12 mm
- Tegangan Output : 5-10 Volt DC
- Material : Alumunium Alloy



**Gambar 3.11** *Loadcell* untuk mengukur torsi

##### b. *Proximity Sensor*

Alat ukur kedua yang digunakan adalah *proximity sensor* yang berfungsi untuk mendeteksi komponen metal pada *pulley* yang selanjutnya digunakan untuk mendapatkan data RPM dengan menghitung waktu antara 2 kali deteksi komponen metal. *Proximity sensor* memiliki spesifikasi sebagai berikut:

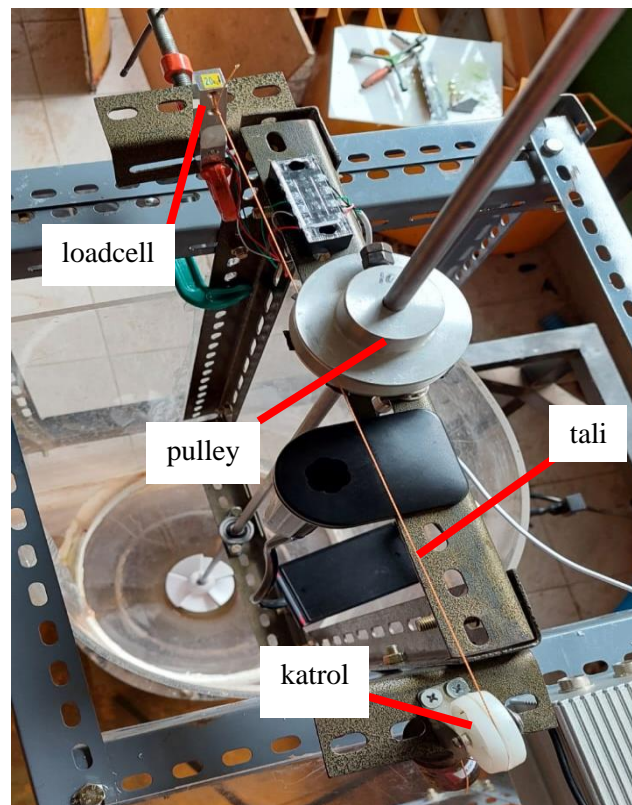
- Tipe : Inductive Proximity Sensor Detection  
Switch NPN DC6-36V LJ12A3-4-Z/AX
- Jarak Deteksi : 4 mm
- Objek Deteksi : Metal, Konduktor
- Dimensi : 12 x 10 x 55 mm
- Tegangan Output : 6-36 Volt DC
- Polaritas : NPN



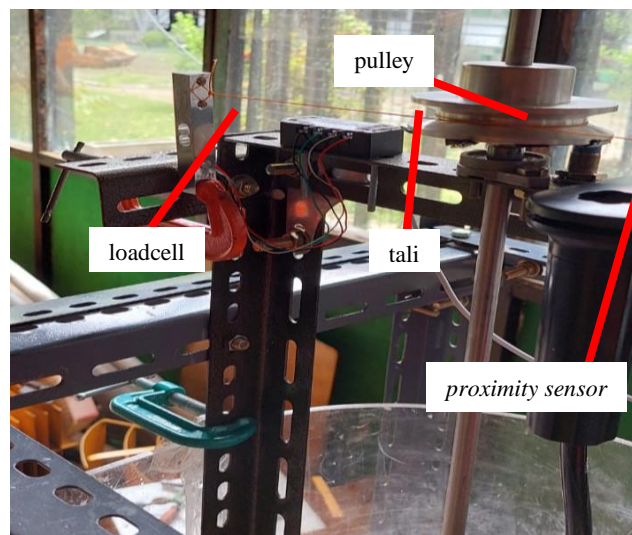
**Gambar 3.12** *Proximity Sensor* untuk mendapatkan data RPM

### 3.5.2 Konfigurasi

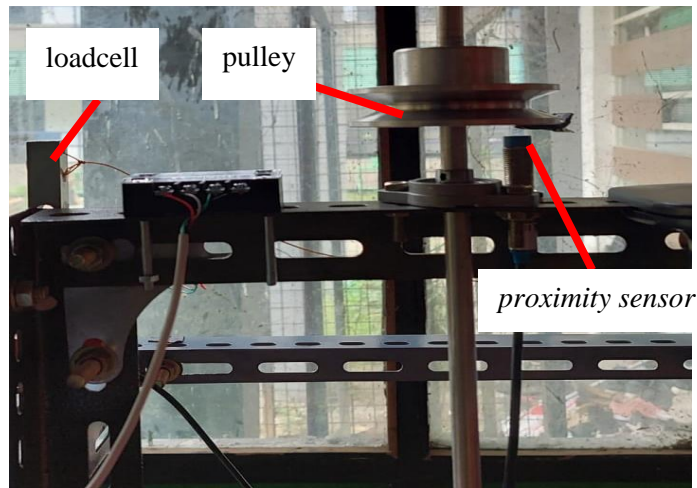
Pengujian dilakukan dengan beberapa variasi, yaitu pembebanan, jumlah *blade runner*, dan perlakuan *dual-staging*. Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan, variasi jumlah *blade runner propeller* berkisar antara 2-6 *blade*, maka dari itu diambil variasi jumlah *blade* yaitu 3 *blade*, 4 *blade*, 5 *blade*, dan 6 *blade*, dan selanjutnya dilakukan *dual-staging* terhadap setiap variasi *blade* yang digunakan. Dalam menganalisa pengaruh dari variasi-variasi tersebut, maka dilakukan variasi parameter pembebanan pada rotor. Konfigurasi pengambilan data ditunjukkan pada **Gambar 3.10** Pada pinggiran *basin* silinder dipasang penegar untuk memasang *runner* dan *shaft* serta alat-alat ukur seperti *load cell* dan sensor rpm atau alat ukur kecepatan putar. Untuk mekanisme pengambilan data torsi dilakukan dengan menggunakan *load cell*, sedangkan untuk mengukur rpm menggunakan sensor rpm. Detail mekanisme pengambilan data sesuai konfigurasi pada **Gambar 3.13**, **Gambar 3.14**, dan **Gambar 3.15**. Sensor-sensor yang ada terintegrasi menggunakan sensor box yang berisi *microcontroller* untuk memonitoring secara *wireless*. Sensor box diletakkan di atas gawangan Peletakan sensor box ditunjukkan pada **Gambar 3.16**.



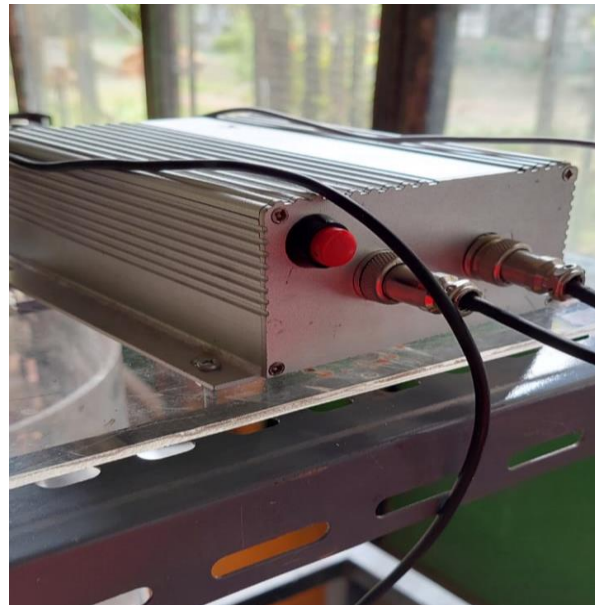
**Gambar 3.13** Konfigurasi pengambilan data pada *runner*



**Gambar 3.14** Detail konfigurasi pengambilan data torsi menggunakan pembebanan



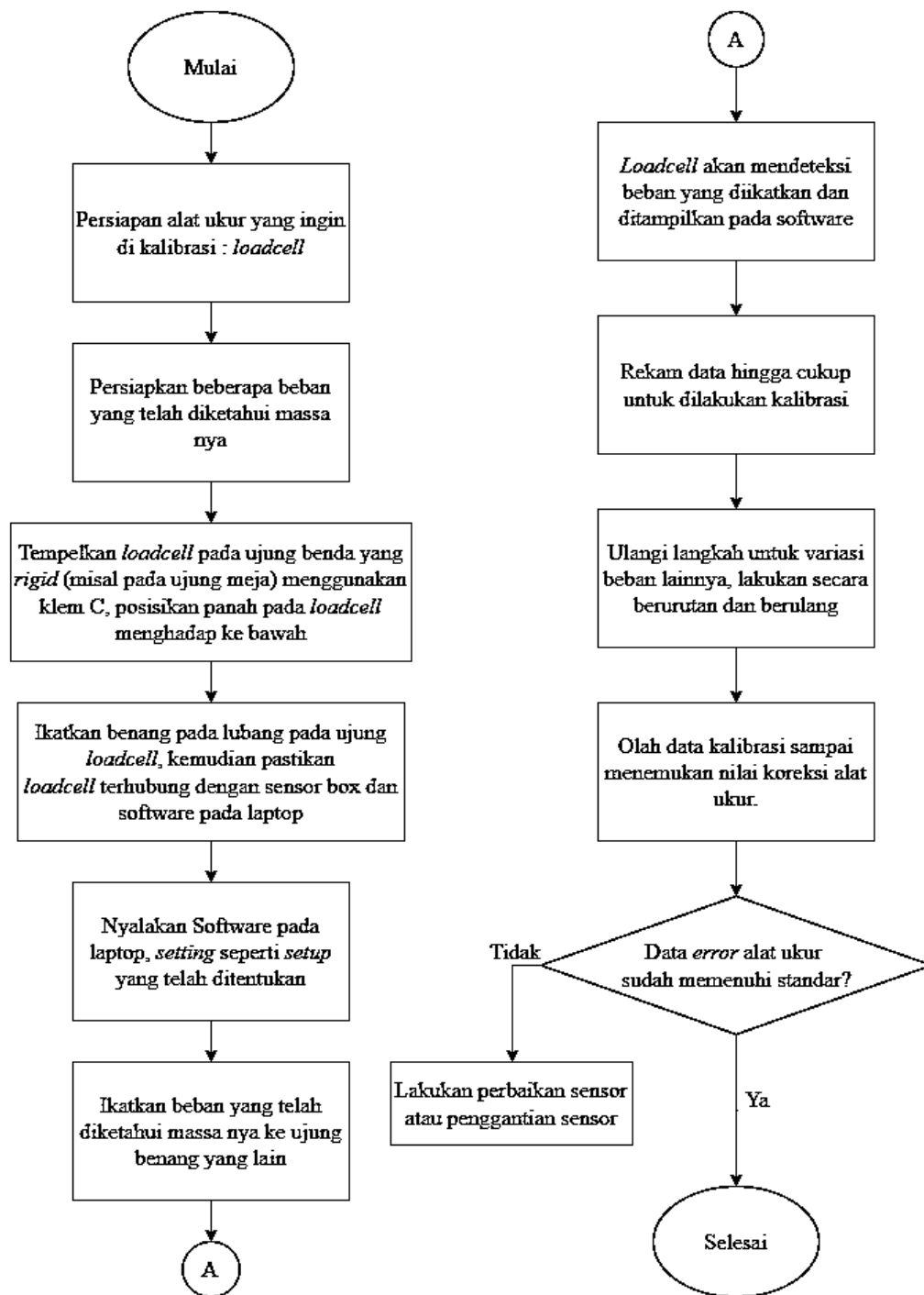
**Gambar 3.15** Konfigurasi pengukuran RPM menggunakan *proximity sensor*



**Gambar 3.16** Peletakan sensor box di atas gawangan

### 3.5.3 Kalibrasi Sensor

Untuk mengetahui tingkat akurasi dari alat-alat ukur yang digunakan seperti *loadcell* dan *proximity sensor*, maka dilakukan kalibrasi alat ukur terlebih dahulu. Kalibrasi *loadcell* dilakukan dengan cara menggantungkan beban yang sudah diketahui massanya, yang kemudian *loadcell* akan membaca massa dari beban yang digantungkan. Untuk memperjelas prosedur kalibrasi maka dibuatlah diagram alir kalibrasi *loadcell* yang ditunjukkan oleh Gambar 3.17.



**Gambar 3.17** Diagram alir prosedur kalibrasi *loadcell*

Data hasil kalibrasi *loadcell* yang telah dilakukan ditunjukkan pada Tabel 3.2. Dari data yang didapatkan, *error* dari sensor sudah dibawah dari standar yang diizinkan dan sensor siap digunakan.



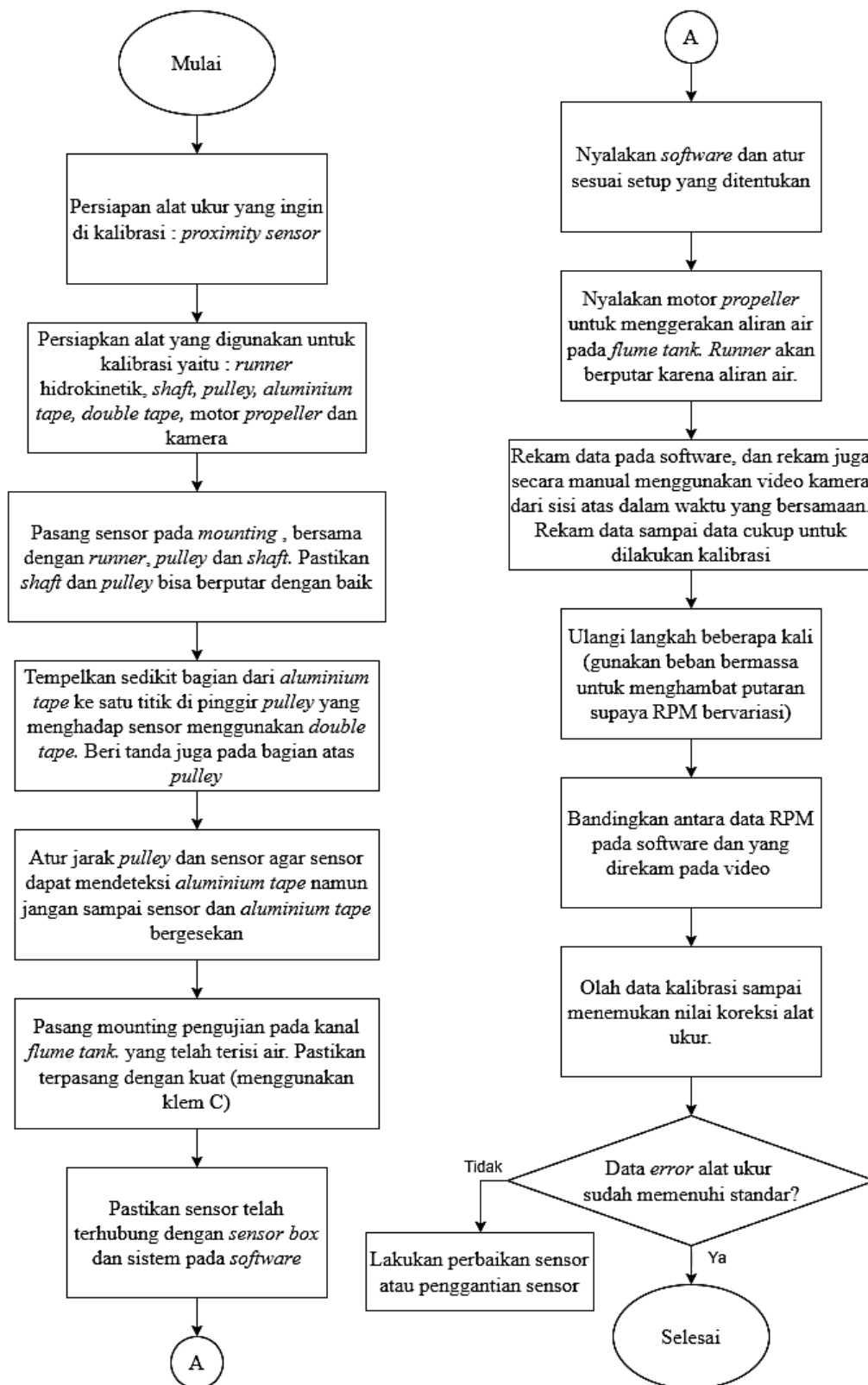
**Tabel 3.2** Data Kalibrasi *Loadcell*

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	100	101	103.4	103.6	103	103.6	104	102.67	103.533	103.1	-3.1	-3.10%	
2	200	204	205.2	206.2	205	206	206	205.13	205.667	205.4	-5.4	-2.70%	
3	300	306.6	308	308.2	308	308	308.2	307.6	308.067	307.833	-7.8333	-2.61%	
4	400	409	410.4	411	409.6	410.4	411	410.13	410.333	410.233	-10.233	-2.56%	
5	500	512.2	513	513.2	512.2	513	513	512.8	512.733	512.767	-12.767	-2.55%	
Rata- Rata											-7.8667	-2.70%	

Kemudian kalibrasi *proximity sensor* dilakukan dengan cara mencocokkan antara pembacaan sensor dengan hasil perhitungan dari rekaman video. Berikut ini adalah data kalibrasi *proximity sensor* yang telah dilakukan Untuk memperjelas prosedur kalibrasi maka dibuatlah diagram alir kalibrasi *loadcell* yang ditunjukkan oleh Gambar 3.18. Data hasil kalibrasi *proximity sensor* yang telah dilakukan ditunjukkan pada Tabel 3.3. Dari data yang didapatkan, *error* dari sensor sudah dibawah dari standar yang diizinkan dan sensor siap digunakan

**Tabel 3.3** Data Kalibrasi *Proximity Sensor*

No	RPM video		RPM video (average)	Pembacaan Alat								Rata2 Pembacaan	Koreksi	Koreksi persen
	Naik	Turun		Naik			Turun			Rata – rata				
				1	2	3	1	2	3	Naik	Turun			
1	34.18	30	32.0897	35.5	34.3	36.8	24	25	26	35.57	25	30.285	1.804	5.62%
2	34.66	33.51	34.0897	38	40	39	30	31	32	39	31	35	-0.910	-2.67%
3	37.94	36.74	37.3447	37	36	38	39	40	41	37	40	38.5	-1.155	-3.09%
4	40.67	41.10	40.8882	39.5	39	38.5	37	38	39	39	38	38.5	2.388	5.84%
5	41.61	41.24	41.4293	42.5	42	41.5	46	46	45	42	46	44	-2.570	-6.20%
Rata-rata												-0.088	-0.10%	

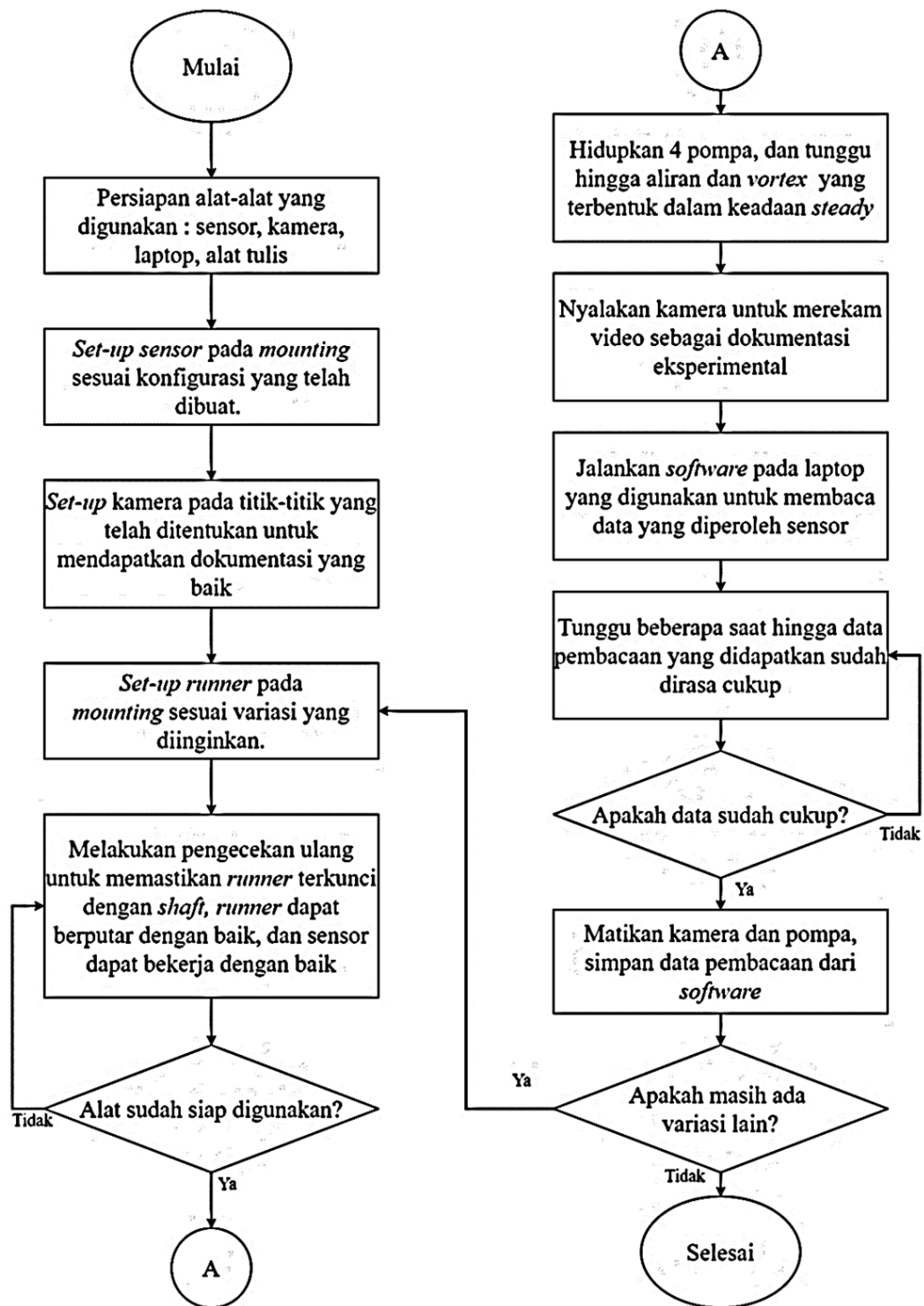


Gambar 3.18 Diagram alir prosedur kalibrasi *proximity sensor*

### 3.5.4 Metode Pengambilan Data

Dalam melakukan pengujian eksperimental, terdapat prosedur atau langkah-langkah dalam melakukan pengambilan data. Prosedur tersebut dijelaskan melalui diagram alir yang telah ditunjukkan pada Gambar 3.19. Pengambilan data dilakukan dengan cara menyalakan seluruh pompa terlebih dahulu yang kemudian akan mengalirkan air ke dalam kanal. Air dalam kanal kemudian akan bergerak menuju basin dengan kecepatan aliran tertentu yang sebelumnya telah diukur. Air yang telah jatuh ke basin kemudian akan membentuk aliran *vortex* dan memutar *runner propeller*. Ketika *runner propeller* yang telah terkunci dengan shaft berputar dengan kecepatan putar tertentu, maka kecepatan putar inilah yang kemudian akan terdeteksi oleh *proximity sensor* berupa rotasi per menit (RPM). Kemudian pada pulley akan dililitkan seutas tali yang telah terhubung dengan *loadcell* pada salah satu ujungnya dan juga sebuah beban pada ujung lainnya. *Loadcell* kemudian akan membaca gaya yang dihasilkan oleh beban sekaligus gaya tangensial dari putaran *pulley*. Hasil pembacaan seluruh sensor akan terintegrasi secara langsung secara langsung melalui *sensor box* menuju *software* pada laptop secara *wireless* yaitu melalui *bluetooth*

Dari data yang diperoleh pada uji eksperimen yang telah dilakukan, akan dilakukan analisa untuk mengetahui pengaruh variasi jumlah *blade* dan *dual-staging* dari *runner turbin propeller* terhadap performansi *Gravitational Vortex Water Turbine* (GVWT). Dari analisa data yang telah dilakukan, akan dilakukan penyusunan kesimpulan untuk menjawab tujuan dari penelitian ini. Setelah seluruh rangkaian penelitian ini telah dilakukan adalah dilakukan penyusunan terhadap laporan berdasarkan hasil penelitian dan referensi yang diperoleh



Gambar 3.19 Diagram alir prosedur pengambilan data eksperimental

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Pengukuran

##### 4.1.1 Data Pengukuran Variasi Jumlah *Blade*

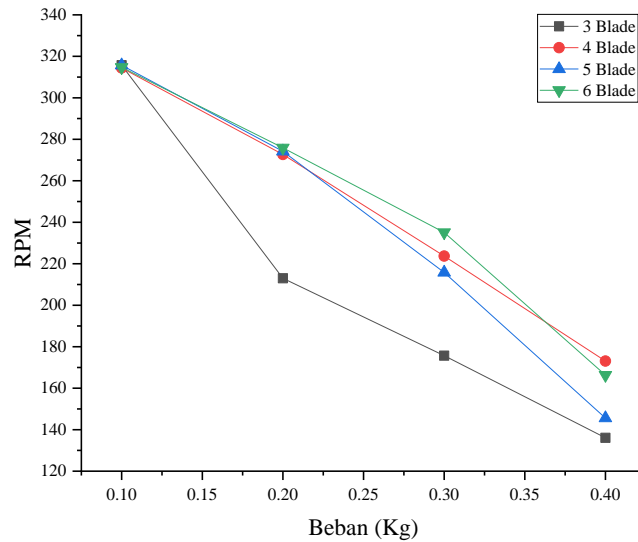
Telah dilakukan pengambilan data terhadap performansi *runner propeller* untuk setiap variasi jumlah blade. Didapatkan hasil pengukuran sensor seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.1 dan dibawah ini.

**Tabel 4.1** Data pengukuran untuk variasi jumlah blade

Beban (Kg)	3 Blade		4 Blade		5 Blade		6 Blade	
	RPM	Torsi (N)	RPM	Torsi (N)	RPM	Torsi (N)	RPM	Torsi (N)
0.1	315.7	0.066	314.4	0.0834	315.7	0.0815	314.7	0.08315
0.2	213	0.126	272.7	0.1198	274.2	0.1235	275.9	0.11594
0.3	175.7	0.142	223.7	0.1552	215.8	0.1466	235.1	0.14301
0.4	136.1	0.153	173.1	0.1728	145.6	0.1819	166.3	0.18428

Data yang didapatkan menunjukkan bahwa besarnya beban mempengaruhi nilai torsi dan RPM. nilai torsi tertinggi terdapat pada variasi 6 *blade* dengan nilai 0.1842 N dan nilai torsi terendah terdapat pada variasi 3 *blade* dengan nilai 0.066 N. Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa masing-masing *runner* memiliki respon RPM yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan setiap *runner* yang berbeda memiliki *range* operasi yang berbeda juga pada meskipun diberikan pembebanan yang sama.

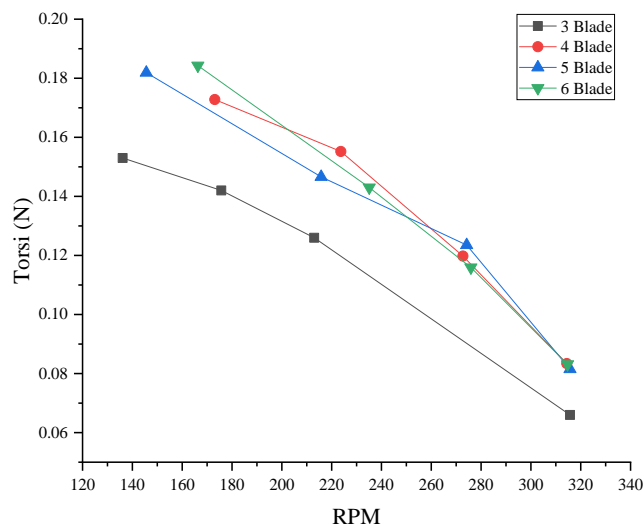
Untuk mengetahui efek pembebanan terhadap kecepatan putar atau RPM pada setiap jumlah *blade* maka dibuatlah grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.1. Sedangkan nilai torsi berdasarkan persamaan (2.6) sangat bergantung pada RPM yang dihasilkan, maka dari itu akan tidak valid jika dibandingkan dengan efek pembebanan. Karena RPM dan torsi saling terkait, maka dibuatlah grafik hubungan antara kedua parameter tersebut yang ditunjukkan pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.1** Grafik hubungan antara beban dan RPM untuk variasi jumlah *blade*

Grafik di atas menunjukkan bahwa semua *runner* memberikan respon RPM yang berbeda-beda saat diberi beban yang sama, namun efeknya tetap sama. Nilai RPM akan menurun seiring bertambahnya pembebanan yang diberikan. Hal ini disebabkan karena semakin bertambahnya beban, maka semakin besar gaya yang menahan rotor untuk berputar sehingga kecepatan putarnya menurun.

Sedangkan nilai torsi berdasarkan persamaan (2.6) sangat bergantung pada RPM yang dihasilkan, maka dari itu akan tidak valid jika dibandingkan dengan efek pembebanan. Karena RPM dan torsi saling terkait, maka dibuatlah grafik hubungan antara kedua parameter tersebut yang ditunjukkan pada **Gambar 4.2**



**Gambar 4.2** Grafik hubungan antara RPM dan Torsi untuk variasi jumlah *blade*

Jika ditinjau dari pola grafik diatas, data pengukuran sudah sesuai teori yaitu persamaan daya yang ditunjukkan oleh persamaan (2.6) bahwa torsi dan RPM berbanding terbalik secara linear. Semakin rendah RPM maka akan semakin tinggi gaya tangensial dan sebaliknya. Grafik data yang telah didapatkan menunjukkan bahwa tren yang dihasilkan dari hubungan RPM dan Torsi sudah mendekati linear secara menurun. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan data yang didapatkan tidak linear sempurna yaitu antara lain deviasi error oleh alat ukur, kondisi hambatan gesekan *bearing* yang bisa saja berbeda-beda saat pengambilan data dikarenakan bearing yang lebih lama terkena air akan lebih berkarat, kemudian juga dapat dipengaruhi *flowrate* yang nilainya dapat sedikit berubah-ubah selama masa pengujian, dan juga faktor-faktor lainnya

#### 4.1.2 Data Pengukuran Variasi *Dualstage*

Telah dilakukan pengambilan data terhadap performansi *runner propeller* untuk setiap variasi *dualstage*. Konfigurasi *dualstage* ini dilakukan dengan cara menyusun 2 *runner* dengan jumlah *blade* yang sama dengan jarak *offset* yang telah ditentukan Didapatkan hasil pengukuran sensor seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 dibawah ini

**Tabel 4.2** Data pengukuran untuk variasi *dualstage*

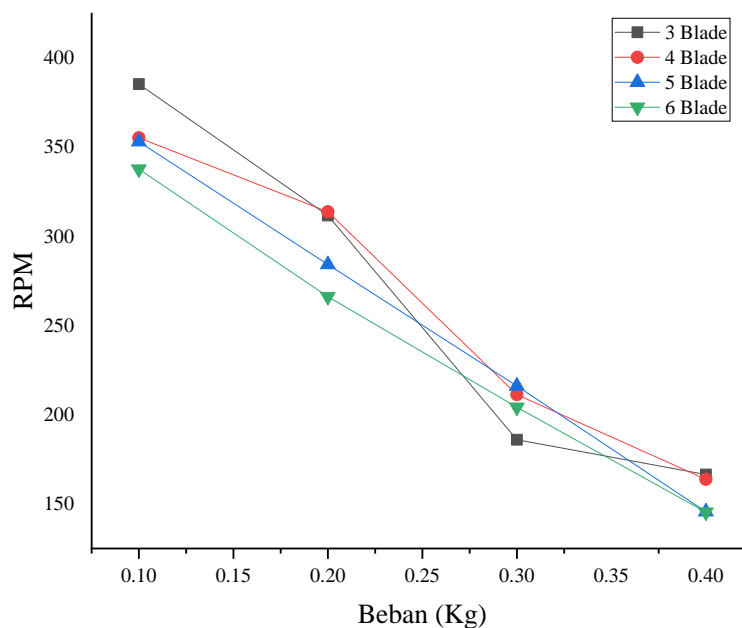
Beban (Kg)	3 Blade		4 Blade		5 Blade		6 Blade	
	RPM	Torsi (N)	RPM	Torsi (N)	RPM	Torsi (N)	RPM	Torsi (N)
0.1	385.5	0.038	355.4	0.071	353.2	0.075	337.8	0.08
0.2	311.8	0.095	313.9	0.136	284.3	0.117	266.28	0.12
0.3	186	0.150	211.3	0.179	216.2	0.193	204.24	0.206
0.4	166.5	0.157	163.8	0.187	145.6	0.244	145.38	0.244

Data yang didapatkan menunjukkan bahwa besarnya beban mempengaruhi nilai torsi dan RPM. nilai torsi tertinggi terdapat pada variasi 6 *blade* dengan nilai 0.24417 N dan nilai torsi terendah terdapat pada varriasi 3 *blade* dengan nilai 0.038 N. Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa masing-masing *runner* memiliki respon RPM yang berbeda-beda. Hal ini dikarenakan setiap *runner* yang berbeda



memiliki *range* operasi yang berbeda juga pada meskipun diberikan pembebanan yang sama.

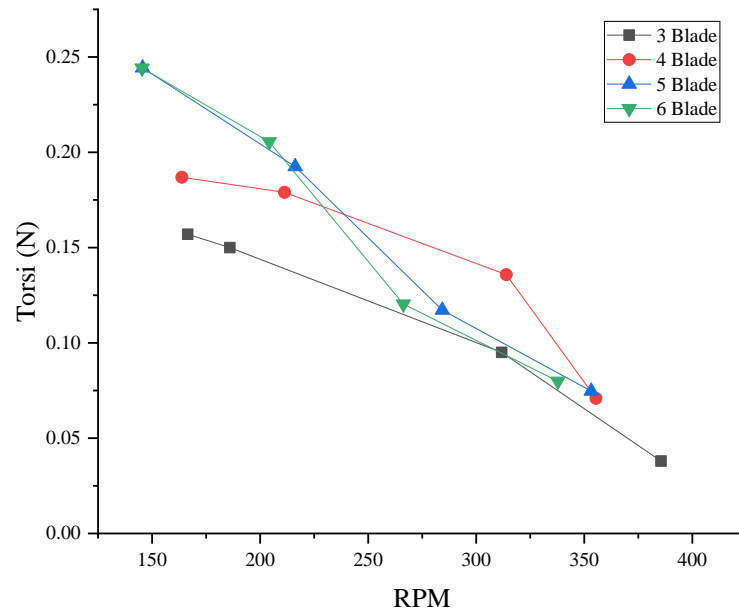
Untuk mengetahui efek pembebanan terhadap kecepatan putar atau RPM pada setiap jumlah *blade* maka dibuatlah grafik yang ditunjukkan pada **Gambar 4.1**. Sedangkan nilai torsi berdasarkan persamaan (2.6) sangat bergantung pada RPM yang dihasilkan, maka dari itu akan tidak valid jika dibandingkan dengan efek pembebanan. Karena RPM dan torsi saling terkait, maka dibuatlah grafik hubungan antara kedua parameter tersebut yang ditunjukkan pada Gambar 4.3



**Gambar 4.3** Grafik hubungan antara beban dan RPM untuk variasi *dualstage*

Grafik di atas menunjukkan bahwa semua *runner* memberikan respon RPM yang berbeda-beda saat diberi beban yang sama, namun efeknya tetap sama. Nilai RPM akan menurun seiring bertambahnya pembebanan yang diberikan. Hal ini disebabkan karena semakin bertambahnya beban, maka semakin besar gaya yang menahan rotor untuk berputar sehingga kecepatan putar nya menurun.

Sedangkan nilai torsi berdasarkan persamaan (2.6) sangat bergantung pada RPM yang dihasilkan, maka dari itu akan tidak valid jika dibandingkan dengan efek pembebanan. Karena RPM dan torsi saling terkait, maka dibuatlah grafik hubungan antara kedua parameter tersebut yang ditunjukkan pada



**Gambar 4.4** Grafik hubungan antara RPM dan Torsi untuk variasi *dualstage*

Jika ditinjau dari pola grafik diatas, data pengukuran sudah sesuai teori yaitu persamaan daya yang ditunjukkan oleh persamaan (2.6) bahwa torsi dan RPM berbanding terbalik secara linear. Semakin rendah RPM maka akan semakin tinggi gaya tangensial dan sebaliknya. Grafik data yang telah didapatkan menunjukkan bahwa tren yang dihasilkan dari hubungan RPM dan Torsi sudah mendekati linear secara menurun. Terdapat beberapa faktor yang menyebabkan data yang didapatkan tidak linear sempurna yaitu antara lain deviasi error oleh alat ukur, kondisi hambatan gesekan *bearing* yang bisa saja berbeda-beda saat pengambilan data dikarenakan bearing yang lebih lama terkena air akan lebih berkarat, dan faktor-faktor lainnya.

## 4.2 Analisa dan Pengolahan Data

### 4.2.1 Analisa Data Variasi Jumlah Blade

Berdasarkan data RPM dan Torsi yang telah didapatkan, kemudian diolah untuk mendapatkan daya poros dari masing-masing variasi jumlah blade *runner* menggunakan persamaan (2.6) yang ada diatas. Kemudian untuk mendapatkan nilai efisiensi dari setiap variasi, terlebih dahulu menghitung daya hidrolis pada *runner* menggunakan persamaan (2.2). Setelah didapatkan nilai daya poros dan daya hidrolis, maka nilai efisiensi dapat diketahui melalui persamaan (2.7).

Didapatkan data hasil perhitungan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 di bawah ini.

**Tabel 4.3.** Hasil perhitungan daya untuk variasi jumlah blade

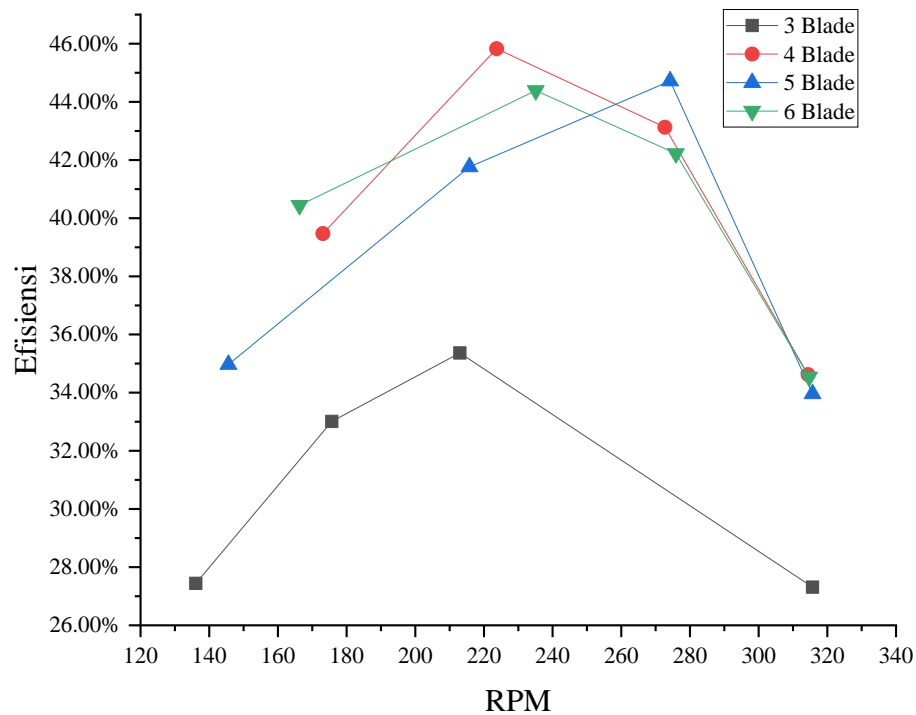
Beban (Kg)	3 Blade		4 Blade		5 Blade		6 Blade	
	RPM	Daya (W)	RPM	Daya (W)	RPM	Daya (W)	RPM	Daya (W)
0.1	315.7	2.167	314.4	2.747	315.7	2.694	314.7	2.740
0.2	213	2.806	272.7	3.421	274.2	3.547	275.9	3.350
0.3	175.7	2.619	223.7	3.636	215.8	3.313	235.1	3.522
0.4	136.1	2.177	173.1	3.131	145.6	2.774	166.3	3.209

Setelah didapatkan nilai daya, maka selanjutnya dapat diketahui efisiensi melalui persamaan (2.7). Hasil perhitungan nilai efisiensi ditunjukkan pada Tabel 4.4.

**Tabel 4.4.** Hasil perhitungan efisiensi untuk variasi jumlah blade

Beban (Kg)	3 Blade		4 Blade		5 Blade		6 Blade	
	RPM	Efisiensi	RPM	Efisiensi	RPM	Efisiensi	RPM	Efisiensi
0.1	315.7	27.31%	314.4	34.62%	315.7	33.96%	314.7	34.54%
0.2	213	35.37%	272.7	43.13%	274.2	44.72%	275.9	42.22%
0.3	175.7	33.01%	223.7	45.83%	215.8	41.76%	235.1	44.39%
0.4	136.1	27.44%	173.1	39.47%	145.6	34.97%	166.3	40.44%

Berdasarkan data hasil pengolahan yang telah dilakukan, ditemukan bahwa daya dan efisiensi paling tinggi dihasilkan oleh variasi 4 *blade* dengan pembebanan 0.3 kg dengan nilai daya 3.636 W dan efisiensi 45.83 %. Sedangkan daya dan efisiensi paling kecil ditunjukkan oleh variasi 3 *blade* pembebanan 0.1 kg dengan daya 2.167 W dan efisiensi 27.31 %. Untuk memperjelas efek RPM terhadap efisiensi, maka dibuatlah grafik hubungan antara kedua parameter tersebut yang ditunjukkan oleh Gambar 4.5.



**Gambar 4.5** Grafik Perbandingan antara RPM dengan Efisiensi untuk variasi jumlah blade

Jika ditinjau berdasarkan jurnal-jurnal penelitian sebelumnya, bentuk grafik yang parabolik ini sudah sesuai dengan teori dan jurnal-jurnal penelitian. Misalnya grafik hasil penelitian yang dilakukan oleh (Byeon & Kim, 2013) menunjukkan hubungan antara kecepatan angular dan daya poros secara parabolik. Karena nilai daya dan efisiensi terhubung secara linear, maka grafik daya dan efisiensi akan membentuk tren yang sama

#### 4.2.2 Analisa Data Variasi *Dualstage*

Berdasarkan data RPM dan Torsi yang telah didapatkan, kemudian diolah untuk mendapatkan daya poros dari masing-masing variasi jumlah blade *runner* menggunakan persamaan (2.6) yang ada diatas. Kemudian untuk mendapatkan nilai efisiensi dari setiap variasi, terlebih dahulu menghitung daya hidrolis pada *runner* menggunakan persamaan (2.2). Setelah didapatkan nilai daya poros dan daya hidrolis, maka nilai efisiensi dapat diketahui melalui persamaan (2.7). Didapatkan data hasil perhitungan seperti yang ditunjukkan pada Tabel 4.5 di bawah ini.

**Tabel 4.5** Hasil perhitungan daya untuk variasi *dualstage*

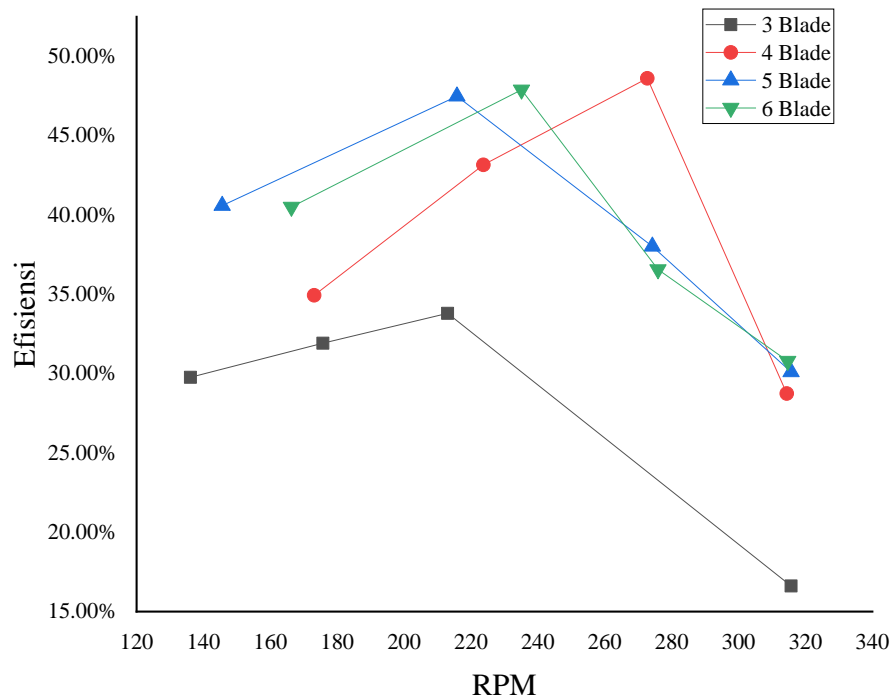
Beban (Kg)	3 Blade		4 Blade		5 Blade		6 Blade	
	RPM	Daya (W)	RPM	Daya (W)	RPM	Daya (W)	RPM	Daya (W)
0.1	315.7	1.525	314.4	2.638	315.7	2.763	314.7	2.740
0.2	213	3.102	272.7	4.462	274.2	3.490	275.9	3.350
0.3	175.7	2.929	223.7	3.961	215.8	4.358	235.1	3.522
0.4	136.1	2.732	173.1	3.206	145.6	3.725	166.3	3.209

Setelah didapatkan nilai daya, maka selanjutnya dapat diketahui efisiensi melalui persamaan (2.7). Nilai efisiensi merupakan hasil perbandingan dari daya poros yang dihasilkan dengan daya hidrolis yang telah dihitung menggunakan persamaan (2.6). Nilai efisiensi ditunjukkan pada Tabel 4.6

**Tabel 4.6** Hasil perhitungan efisiensi untuk variasi *dual-stage*

Beban (Kg)	3 Blade		4 Blade		5 Blade		6 Blade	
	RPM	Efisiensi	RPM	Efisiensi	RPM	Efisiensi	RPM	Efisiensi
0.1	315.7	16.62%	314.4	28.75%	315.7	30.11%	314.7	30.80%
0.2	213	33.81%	272.7	48.62%	274.2	38.02%	275.9	36.57%
0.3	175.7	31.92%	223.7	43.17%	215.8	47.49%	235.1	47.90%
0.4	136.1	29.77%	173.1	34.94%	145.6	40.59%	166.3	40.51%

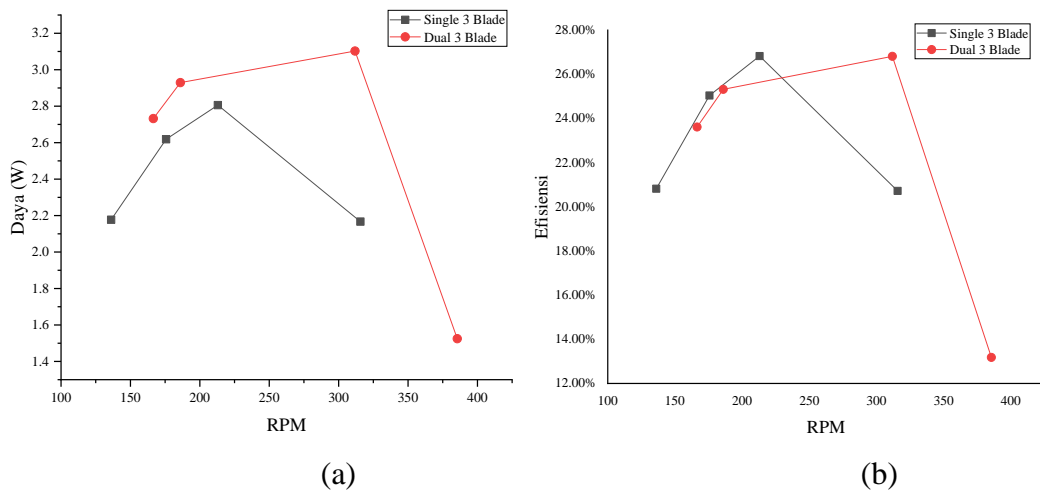
Dari data hasil pengolahan yang telah dilakukan, ditemukan bahwa daya dan efisiensi paling tinggi dihasilkan oleh variasi 4 *blade* dengan pembebanan 0.2 kg dengan nilai daya 4.462 W dan efisiensi 48.62 %. Sedangkan daya dan efisiensi paling kecil ditunjukkan oleh variasi 3 *blade* pembebanan 0.1 kg dengan daya 1.525 W dan efisiensi 16.62 %. Untuk memperjelas efek RPM terhadap efisiensi, maka dibuatlah grafik hubungan antara kedua parameter tersebut yang ditunjukkan oleh Gambar 4.6.



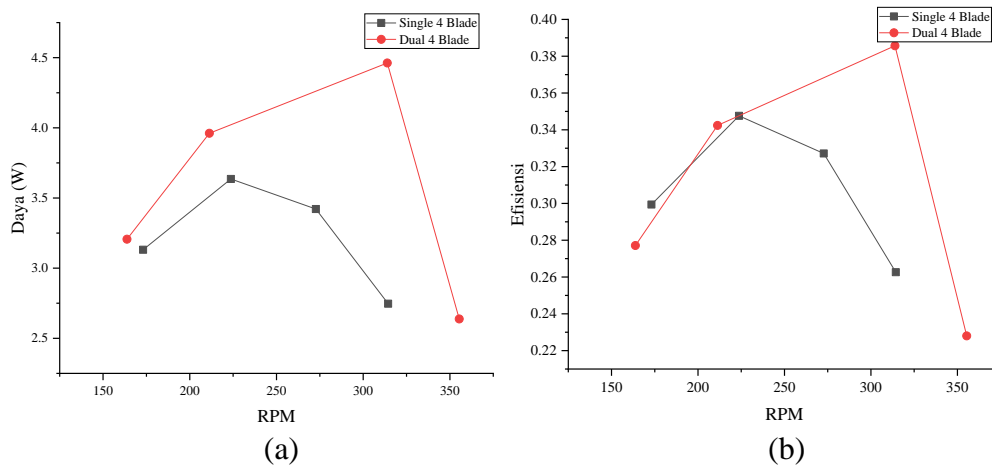
**Gambar 4.6** Grafik perbandingan antara RPM dan Efisiensi untuk variasi *dualstage*

#### 4.2.3 Perbandingan Variasi *Single-stage* dan *Dual-stage*

Setelah dilakukan pengolahan data untuk setiap variasi, kemudian dilakukan perbandingan antara konfigurasi *single-stage* dan *dual stage* untuk masing-masing jumlah blade. Grafik perbandingan performansi tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.7, Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Gambar 4.10

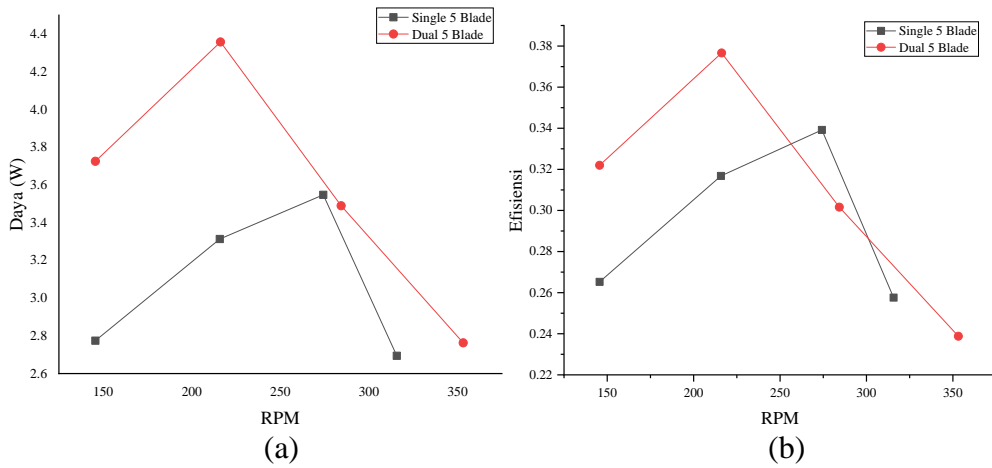


**Gambar 4.7** Perbandingan antara *single-stage* dan *dual-stage* untuk variasi 3 blade  
(a) RPM terhadap daya dan (b) RPM terhadap efisiensi



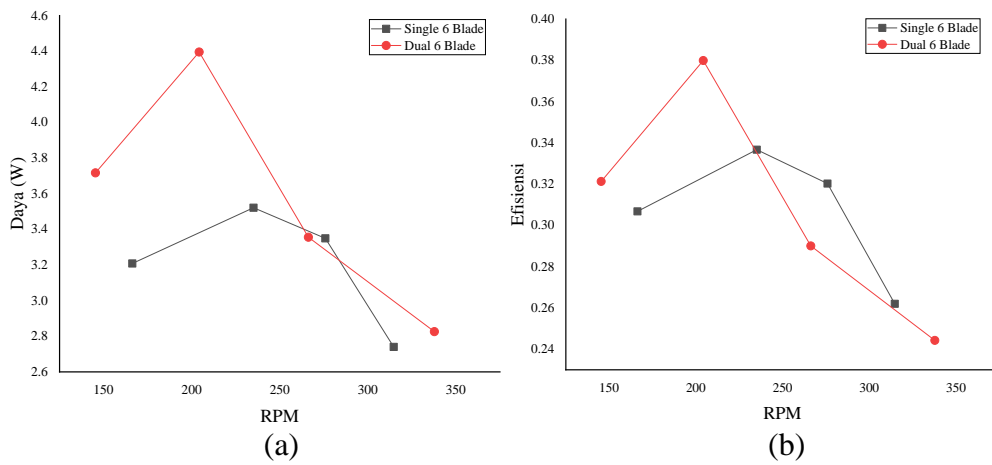
**Gambar 4.8** Perbandingan antara *single-stage* dan *dual-stage* untuk variasi 4 blade

(a) RPM terhadap daya dan (b) RPM terhadap efisiensi



**Gambar 4.9** Perbandingan antara *single-stage* dan *dual-stage* untuk variasi 5 blade

(a) RPM terhadap daya dan (b) RPM terhadap efisiensi



**Gambar 4.10** Perbandingan antara *single-stage* dan *dual-stage* untuk variasi 6 blade

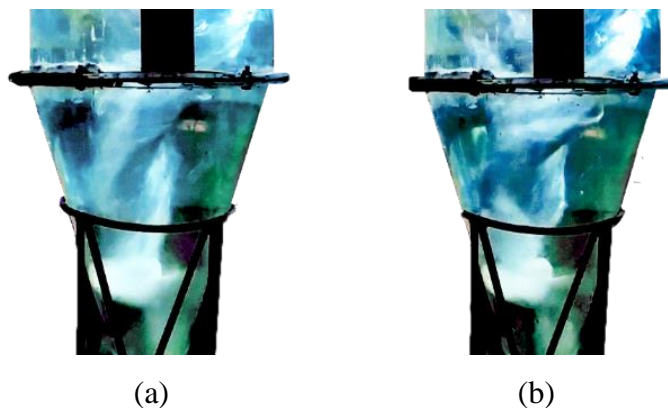
(a) RPM terhadap daya dan (b) RPM terhadap efisiensi

Dari grafik-grafik yang telah ditunjukkan diatas dapat diketahui bahwa baik dari segi efisiensi maupun daya yang dihasilkan, *runner dual-stage* menunjukkan performansi yang lebih baik daripada *runner single-stage*. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Ullah dkk., 2019) yaitu bahwa *runner dualstage* memberikan performansi yang lebih baik daripada *single-stage*. Jarak offset antar *stage* juga mempengaruhi performansi dari *runner* karena mempengaruhi proses re-originasi dari aliran *vortex* setelah terdistraksi oleh *runner*.

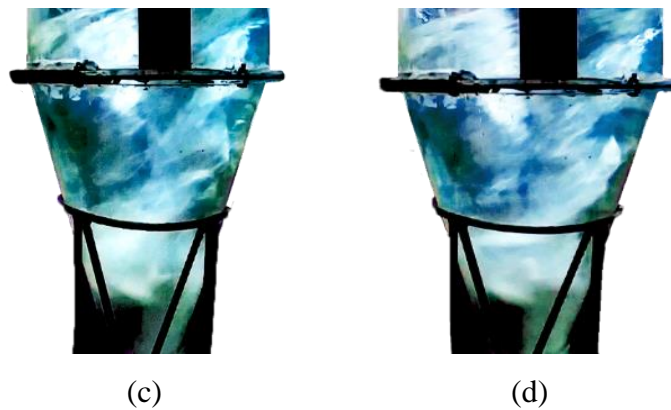
Perbedaan yang ditunjukkan oleh grafik efisiensi dan daya ini disebabkan karena pada konfigurasi *dualstage* terdapat dua *runner* sehingga terdapat dua perhitungan daya hidrolik yang selanjutnya diakumulasikan, sedangkan daya poros yang dihasilkan tetap hanya satu nilai dikarenakan kedua *runner* terhubung dalam satu sistem rotor yang sama

#### 4.2.4 Analisa *Vortex Height* dan Pembentukan *Aircore*

Dalam mengamati fenomena yang terjadi, ditemukan bahwa terdapat perbedaan bentuk aliran *vortex* pada setiap kecepatan putar yang berbeda, terutama pada pembentukan *air-core* yaitu inti udara yang terdapat pada pusat aliran *vortex*. Fenomena ini terekam melalui dokumentasi video yang kemudian dilakukan beberapa tahap pengolahan citra untuk memperjelas bentuk aliran yang dihasilkan. Hasil pengolahan citra ditunjukkan pada Gambar 4.11. Gambar dibawah merupakan hasil struktur aliran yang ditunjukkan pada variasi *single-stage 4 blade*. Bentuk aliran dari setiap variasi yang lain menunjukkan respon yang sama yaitu terpengaruh oleh kecepatan putar.







**Gambar 4.11** Aliran *vortex* berdasarkan variasi pembebanan (a) tanpa beban dengan RPM 521, (b) beban 0.1 kg dengan RPM 314, (c) beban 0.2 kg dengan RPM 272 dan (d) beban 0.3 kg dengan RPM 223.

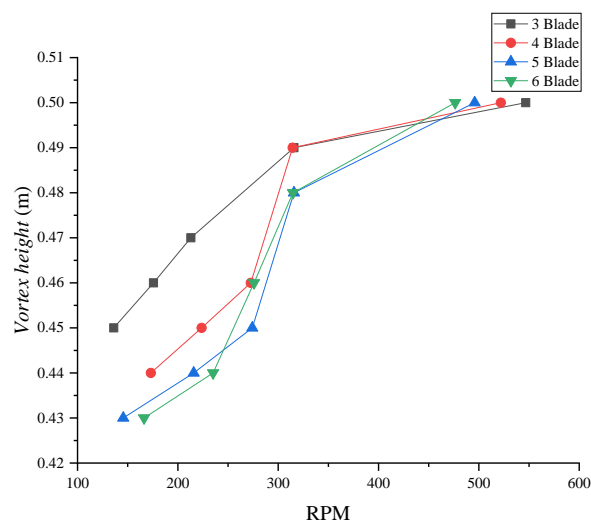
Respon yang terlihat adalah semakin tinggi tingkat pembebanan yang diberikan akan menyebabkan kecepatan putar *runner* melambat. Melambatnya kecepatan putar *runner* selanjutnya akan mempengaruhi kecepatan tangensial aliran fluida pada aliran *vortex*. Aliran dengan kecepatan tangensial tinggi akan cenderung bergerak melingkar daripada bergerak kebawah, maka dari itu aliran tersebut akan menghasilkan aliran *vortex* dengan *air-core* yang lebih mengerucut dan lebih ramping. Sedangkan aliran dengan kecepatan tangensial yang rendah akan lebih cenderung bergerak ke samping bawah karena disebabkan oleh gaya gravitasi, maka dari itu aliran *vortex* yang terbentuk menghasilkan *air-core* dengan diameter yang lebih lebar dan tidak terlihat ramping ke bawah.

Data eksperimental yang didapatkan berupa kecepatan putar dalam satuan RPM terhadap *vortex height*. Namun karena radius dari basin dan *runner* tidak berubah, maka pengaruh dari kecepatan tangensial dapat diwakilkan melalui data RPM yang didapatkan. Fenomena ini juga dapat dilihat dari data *vortex height* yang ditunjukkan pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8

**Tabel 4.7** Data pengaruh RPM terhadap *vortex height* pada variasi *single-stage*

Beban (Kg)	3 Blade		4 Blade		5 Blade		6 Blade	
	RPM	Vh (m)	RPM	Vh (m)	RPM	Vh (m)	RPM	Vh (m)
0	546.7	0.5	521.9	0.5	495.8	0.5	476.4	0.5
0.1	315.7	0.49	314.4	0.49	315.7	0.48	314.7	0.48
0.2	213	0.47	272.7	0.46	274.2	0.45	275.9	0.46
0.3	175.7	0.46	223.7	0.45	215.8	0.44	235.1	0.44
0.4	136.1	0.45	173.1	0.44	145.6	0.43	166.3	0.43

Pada data *vortex-height* variasi *single-stage* dapat terlihat bahwa nilai *vortex-height* sangat terpengaruh dengan nilai RPM yang secara langsung mempengaruhi kecepatan tangensial dari aliran fluida. Nilai *vortex height* tertinggi terjadi saat rotor tidak diberi pembebanan sama sekali sehingga aliran *vortex* dapat memutar *runner* tanpa adanya hambatan berlebih dan nilai kecepatan tangensial dari aliran fluida masih tinggi. Sebaliknya semakin diberi pembebanan, nilai RPM akan terhambat dan mempengaruhi kecepatan tangensial dari fluida dalam *vortex*. Untuk menunjukkan hubungan antara RPM dan *vortex height* maka dibuatlah grafik hubungan antara kedua parameter tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.12.

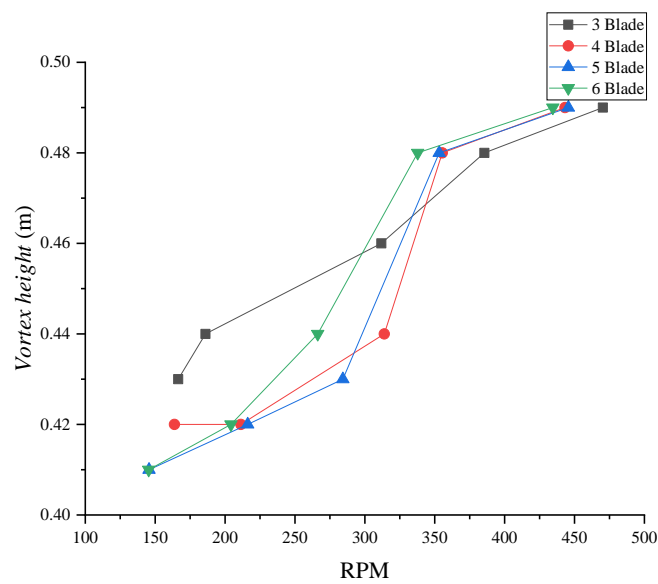
**Gambar 4.12** Grafik data pengaruh RPM terhadap *vortex height* pada variasi *single-stage*

Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa nilai *vortex height* semakin berkurang ketika nilai kecepatan putar turbin berkurang yang juga menyebabkan kecepatan tangensial aliran fluida juga berkurang. Sedangkan jika dibandingkan antar variasi jumlah *blade* tidak terjadi perbedaan yang signifikan, hanya saja terlihat sedikit menurun ketika jumlah *blade* bertambah. Hal ini dikarenakan distorsi yang disebabkan oleh *runner* dengan jumlah *blade* lebih banyak akan melemahkan *vortex strength*. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Herbhakti & Hantoro, 2021), ditemukan bahwa *vortex strength* mempengaruhi *vortex height* yang terbentuk. *Vortex* dengan distorsi aliran yang lebih besar akan melemahkan *vortex strength* yang juga berpengaruh terhadap penurunan *vortex height*.

**Tabel 4.8** Data pengaruh RPM terhadap *vortex height* pada variasi *dual-stage*

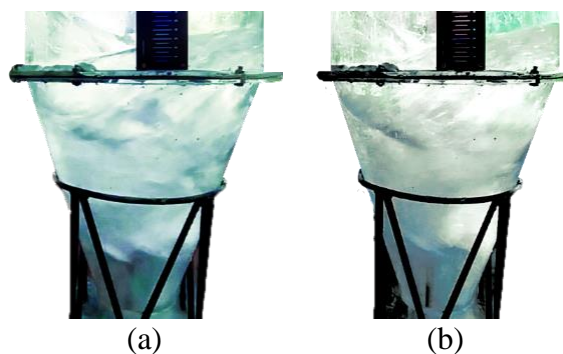
Beban (kg)	3 Blade		4 Blade		5 Blade		6 Blade	
	RPM	$V_h$ (m)	RPM	$V_h$ (m)	RPM	$V_h$ (m)	RPM	$V_h$ (m)
0	470.3	0.49	443.2	0.49	445.6	0.49	434.5	0.49
0.1	385.5	0.48	355.4	0.48	353.2	0.48	337.8	0.48
0.2	311.8	0.46	313.9	0.44	284.3	0.43	266.28	0.44
0.3	186	0.44	211.3	0.42	216.2	0.42	204.24	0.42
0.4	166.5	0.43	163.8	0.42	145.6	0.41	145.38	0.41

Seperti data sebelumnya, nilai *vortex-height* sangat terpengaruh dengan nilai RPM yang secara langsung mempengaruhi kecepatan tangensial dari aliran fluida. Nilai *vortex height* tertinggi terjadi saat rotor tidak diberi pembebanan sama sekali sehingga aliran *vortex* dapat memutar *runner* tanpa adanya hambatan berlebih dan nilai kecepatan tangensial dari aliran fluida masih tinggi. Sebaliknya semakin diberi pembebanan, nilai RPM akan terhambat dan mempengaruhi kecepatan tangensial dari fluida dalam *vortex*. Untuk menunjukkan hubungan antara RPM dan *vortex height* maka dibuatlah grafik hubungan antara kedua parameter tersebut seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.13



**Gambar 4.13** Grafik data pengaruh RPM terhadap *vortex height* pada variasi *dual-stage*

Perbedaan yang cukup signifikan terlihat pada variasi *dual-stage* yaitu pada variasi 5 *blade* dan 6 *blade* dimana dengan kecepatan angular sekitar 145 RPM, *vortex-height* yang terbentuk rendah dan cenderung tidak stabil pada setiap sisi *basin*. *Vortex* yang terjadi cenderung mengalir ke bawah daripada ke samping sehingga mengakibatkan *vortex height* yang terjadi tidak sama pada setiap sisi *basin*. Diameter *air-core* yang terbentuk juga sangat besar hampir mengikuti geometri *basin* sehingga aliran nya sangat turbulen. Struktur aliran dari variasi *dual-stage* 5 dan 6 *blade* dengan pembebanan 0.4 kg dapat dilihat pada Gambar 4.14.



**Gambar 4.14** Struktur aliran vortex yang dihasilkan oleh variasi *dual-stage* pada pembebanan 0.4 kg dan kecepatan putar 145 RPM (a) variasi 5 *blade* (b) variasi 6 *blade*

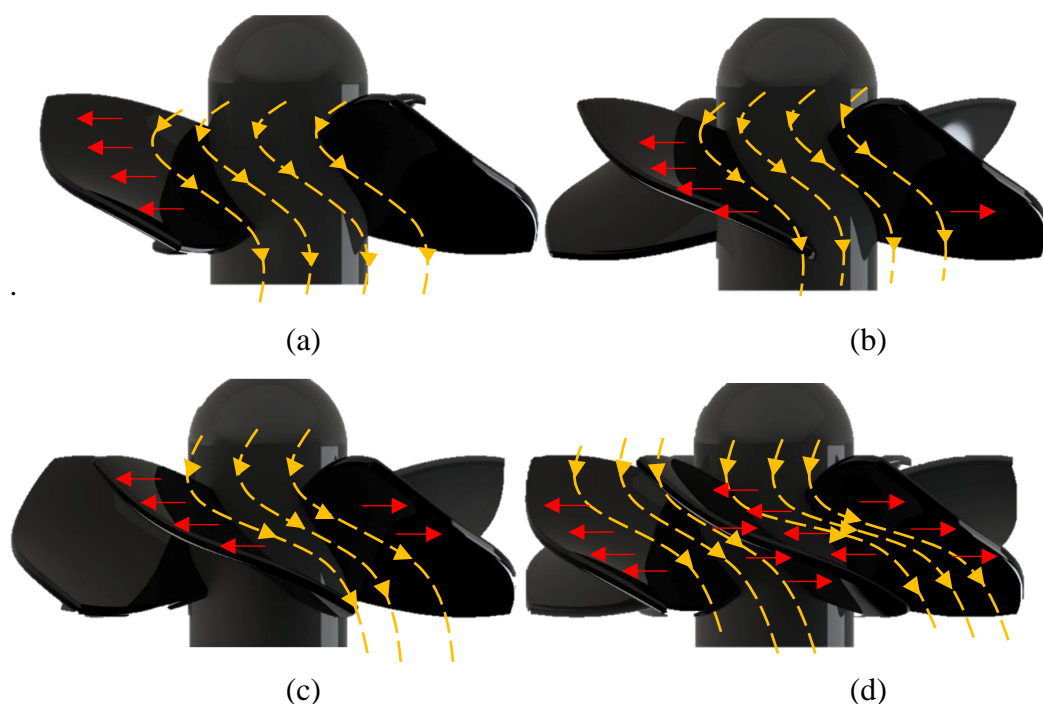
### 4.3 Diskusi

*Gravitational Vortex Water Turbine* adalah salah satu bentuk pembangkit listrik mini/mikrohidro yang dirancang untuk penggunaan energi air dengan *head* yang sangat rendah yaitu antara 0.5 – 3 meter. Pemanfaatan pembangkit listrik mini/mikrohidro perlu dilakukan penelitian karena mengingat di Indonesia terdapat banyak sekali perairan-perairan kecil yang tersebar diseluruh daerah. Perairan kecil ini tidak memungkinkan untuk instalasi PLTA dengan skala besar, maka dari itu PLTMh sistem GVWT ini menjadi salah satu solusi pemanfaatan yang tepat. Pemilihan tipe *runner propeller* pada penelitian ini juga dilatarbelakangi oleh karakteristik *runner propeller* yang menjanjikan. *Runner* ini dipilih karena mampu bekerja pada head rendah, debit aliran tinggi, dan menghasilkan rpm dan efisiensi yang cukup tinggi, sehingga cocok digunakan di sungai dan perairan kecil.

Pada penelitian ini akan berfokus pada efek dari variasi jumlah *blade* dan konfigurasi *dual-stage* pada performansi turbin GVWT secara keseluruhan. Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 4.2 dan Gambar 4.3 nilai RPM berbanding terbalik dengan torsi. Hal ini terbukti benar jika mengacu pada teori pada persamaan efisiensi pada persamaan (2.6). Pada penelitian yang dilakukan oleh (Ullah dkk., 2019), seluruh data eksperimental GVWT juga menunjukkan hal yang sama terkait hubungan RPM terhadap Torsi, semakin tinggi RPM maka akan semakin rendah nilai torsi begitu juga sebaliknya. Namun grafik RPM terhadap torsi yang didapatkan dalam penelitian tersebut tidak sepenuhnya linier karena memang data eksperimental dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti deviasi alat ukur dan juga kondisi alat eksperimental yang digunakan tidak sepenuhnya ideal. Hal ini juga terjadi pada penelitian ini, dimana terdapat sedikit deviasi dari garis linier yang seharusnya.

Seperti yang telah dibahas pada sub-bab analisa struktur aliran *vortex* bahwa nilai RPM ini juga berpengaruh terhadap bentuk *vortex* yang dihasilkan. Pengaruh tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.11. Analisa terhadap struktur aliran ini diamati melalui bentuk *air-core* yang terbentuk dalam *vortex*. Selain itu parameter yang dapat diamati terkait struktur aliran adalah nilai *vortex height* yang dihasilkan oleh aliran *vortex*, yang ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.12 dan Gambar 4.13.

Kemudian dari data RPM dan Torsi yang didapatkan, nilai daya poros dan efisiensi dapat diketahui melalui persamaan (2.6) dan persamaan (2.7). Pada konfigurasi *single-stage*, melalui grafik pada Gambar 4.5 didapatkan bahwa performansi tertinggi pada konfigurasi *single-stage* didapatkan pada variasi jumlah *blade* 4 dengan daya keluaran 3.636 W dan efisiensi sebesar 45.83%. Hal ini didukung oleh penelitian oleh (Byeon & Kim, 2013) mengenai pengaruh jumlah *blade runner propeller* pada sistem GVWT juga menyatakan bahwa jumlah *blade* dengan performansi terbaik adalah variasi 4 *blade* dan 5 *blade*. Penelitian tersebut menggunakan metode numerik simulasi CFD. Fenomena yang sama juga terjadi pada *runner propeller* yang digunakan pada penelitian ini. Terjadi resistensi aliran karena bertambahnya jumlah *blade* sehingga celah antar *blade* menjadi semakin sempit dan mempengaruhi putaran turbin secara keseluruhan. Ilustrasi resistensi aliran yang terjadi ditunjukkan pada Gambar 4.16



**Gambar 4.15** Ilustrasi resistensi aliran pada *runner propeller* untuk variasi (a) 3 *blade* (b) 4 *blade* (c) 5 *blade* (d) 6 *blade*

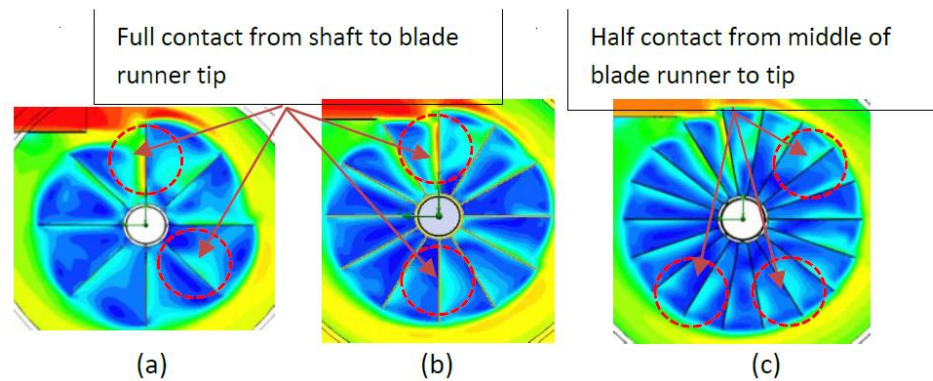
Karena geometri *runner propeller* memiliki sudut kemiringan, pada variasi jumlah *blade* 5 dan 6, *blade* yang bersebelahan menjadi saling berpotongan jika ditinjau dari atas. *Blade* yang saling berpotongan ini menyebabkan celah lewatnya

air menjadi lebih sempit dan menyebabkan resistensi aliran. Maka dari itu didapatkan nilai efisiensi dan daya terbaik pada sistem *single-stage* ditunjukkan pada variasi 4 *blade*, karena pada geometri 4 *blade* tidak terjadi resistensi yang berlebihan sehingga tidak menghambat laju aliran. Pada geometri 4 *blade*, *blade* yang saling bersebelahan juga tidak berpotongan jika ditinjau dari atas.

Resistensi yang dimaksud adalah jika celah lewatnya air semakin sempit, maka air akan memberikan gaya yang berlawanan arah terhadap *blade* disebelahnya. Gaya yang berlawanan arah ini menghambat putaran *runner* dan juga mempengaruhi nilai torsi total yang berlaku pada *runner*. Maka dari itu, meskipun penambahan jumlah *blade* memperluas luasan bidang kerja oleh aliran terhadap *runner*, tetapi faktor resistensi ini juga mempengaruhi pemilihan jumlah *blade* yang memberikan performansi paling baik. Geometri *runner* seperti sudut kemiringan *inlet* dan *outlet* dari *hub* dan *tip* juga mempengaruhi jumlah *blade* optimal yang memberikan performansi terbaik. Pada geometri *runner* yang berbeda bisa saja variasi jumlah *blade* yang terbaik juga berbeda.

Sama halnya yang ditunjukkan penelitian oleh (Himawanto dkk., 2021) mengenai *runner propeller* yaitu jumlah sudu 5 buah menerima gaya aksial dari daya air lebih besar dibandingkan jumlah sudu 4, dan aliran air yang melewati jumlah sudu 4 maupun 5 tidak terhambat yang disebabkan kerapatan jarak antar sudunya. Akibatnya terjadi Penurunan nilai efisiensi pada jumlah sudu 6 dan semakin menurun pada jumlah sudu 7 yang disebabkan tidak mempunya turbin mengkonversi nilai daya hidrolik air.

Penelitian yang dilakukan oleh (Aziz dkk., 2022) terhadap jumlah *blade runner free vortex* menunjukkan bahwa dengan sudut kemiringan  $90^\circ$  dan geometri *runner* yang ada, di dapatkan jumlah *blade* yang memberikan performansi terbaik adalah 12 *blade*, jika dibandingkan dengan 8 *blade* dan 16 *blade*. Hal ini juga dipengaruhi geometri *runner* yang *blade* nya tidak terlalu tinggi sehingga memungkinkan adanya lebih banyak *blade*. Pada jumlah *blade* 12 memberikan besar *gap* atau celah yang paling efektif untuk memanfaatkan energi dari aliran air tanpa pengaruh kontak luasan area yang berlebihan. Disajikan pula *velocity contour* yang dihasilkan melalui *software* CFD yang ditunjukkan oleh Gambar 4.16



**Gambar 4.16** *Velocity contour* pada *runner* dengan sudut kemiringan  $90^\circ$  dengan (a) 8 *blade*, (b) 12 *blade*, dan (c) 16 *blade* (Aziz dkk., 2022)

Gambar diatas menunjukkan bahwa penggunaan jumlah bilah yang lebih kecil menyebabkan celah lebih besar di antara *blade* sehingga memungkinkan lebih banyak air untuk bersentuhan dengannya, tetapi 8 bilah tidak cukup untuk menangkap keseluruhan pusaran yang dihasilkan oleh aliran yang masuk. Dengan bertambahnya jumlah sudu dari 12 menjadi 18 juga terjadi penurunan gaya tangensial yang dihasilkan sebesar 3,04 N (19,85% drop). Dengan jumlah sudu yang terlalu banyak, celah antar sudu terlalu kecil sehingga air tidak dapat memberikan kontak yang cukup pada sudu seperti yang terlihat pada Gambar 4.16. Konsep yang digunakan masih sama yaitu dengan konsiderasi besarnya celah antar *blade*.

Penelitian oleh (Kurniawan dkk., 2019) pada *runner propeller* menunjukkan bahwa pada jumlah sudu 4 performansi meningkat menjadi titik maksimum hingga sudu 6, dan dari sudu 6 mengalami penurunan performansi ke titik minimum menjadi sudu 8. Peningkatan daya ini disebabkan oleh meningkatnya soliditas pada sudu 4, 5 dan 6, menyebabkan tekanan air yang mengalir semakin besar, jika tekanan air yang mengalir menabrak sudu maka gaya aksial yang dihasilkan turbin juga akan meningkat. Berbeda dengan sudu 7 dan 8 yang mengalami penurunan akibat penyempitan antar sudu yang menyebabkan air yang mengalir melalui celah antar sudu menjadi terhambat dan menyebabkan kerja yang dihasilkan turbin berkurang. Berkurangnya kerja turbin akan mengakibatkan berkurangnya kecepatan putar poros pada generator, jika putaran poros generator



relatif lambat maka medan magnet yang dihasilkan kumparan pada generator juga relatif kecil sehingga daya listrik yang dihasilkan generator juga kecil.

Pada konfigurasi *dual-stage*, grafik hasil perhitungan daya dan efisiensi ditunjukkan pada Gambar 4.6, didapatkan bahwa hasil performansi dari variasi *dualstage* terbaik juga ditemukan pada variasi 4 *blade* yaitu dengan daya keluaran sebesar 4.462 W dan efisiensi sebesar 48.62%. Hal ini dikarenakan fenomena yang sama yang terjadi pada variasi *single-stage* dimana adanya resistensi pada variasi *blade* yang menyebabkan celah aliran air semakin rapat. Selain itu variasi *blade* yang tidak terlalu rapat pada *dual-stage* juga memperkecil distorsi *vortex* akibat *runner* sehingga mendukung proses pembentukan *vortex* ulang atau reoriginasi *vortex*. Proses reoriginasi *vortex* ini mendukung proses ekstraksi pada *runner* di *stage* bawah untuk mendapatkan energi lebih maksimal dari *vortex*. Pada penelitian yang dilakukan oleh (Ullah dkk., 2020) menyatakan bahwa dalam konfigurasi *runner dual-stage* bahwa proses reoriginasi *vortex* sangat penting bagi performansi *runner* yang ada di *stage* bawah. Selain tingkat distorsi dari *runner*, jarak offset antar *stage* juga menentukan proses reoriginasi *vortex*.

Jika dibandingkan antara *single-stage* dan *dual-stage*, konfigurasi *runner dual-stage* memberikan performansi yang lebih baik dari konfigurasi *single-stage* baik dari segi daya yang dihasilkan maupun efisiensi keseluruhan *runner*. Perbandingan data dari dua konfigurasi tersebut ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 4.7, Gambar 4.8, Gambar 4.9, dan Gambar 4.10. Grafik efisiensi dan daya pada konfigurasi *dual-stage* terdapat perbedaan. Hal ini dikarenakan saat menghitung efisiensi, digunakan dua macam daya hidrolik yaitu daya hidrolik untuk *stage* atas dan untuk *stage* bawah. Sedangkan daya poros yang dihasilkan hanya memiliki satu nilai karena kedua *runner* terhubung pada *shaft* yang sama, sehingga berputar dalam satu sistem rotor yang sama. Namun nilai efisiensi *dual-stage* masih cenderung lebih tinggi daripada efisiensi *single-stage*. Hal ini didukung oleh penelitian oleh (Ullah dkk., 2019) dimana dalam penelitian tersebut juga menyatakan bahwa performansi *runner dual-stage* lebih baik jika dibandingkan dengan *single-stage*. Hal ini tentu saja dikarenakan pada konfigurasi *dual-stage* terdapat dua *runner* yang mengekstraksi energi dari aliran *vortex*, sehingga luas bidang kerja yang berinteraksi dengan fluida juga bertambah menjadi lebih banyak.

Namun terdapat faktor-faktor lain yang menyebabkan daya yang dihasilkan tidak setara dengan dua kali *runner single-stage*. Faktor pertama adalah karena *runner* pada *stage* atas menerima daya hidrolis lebih kecil daripada *runner* yang berada di *stage* bawah. Faktor kedua adalah aliran *vortex* yang mengenai *runner* bawah telah mengalami distorsi sehingga tidak seperti kondisi saat *free-vortex* tanpa terdistorsi oleh *runner* lain sebelumnya.

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan mengenai pengaruh jumlah *blade* dan *dual-stage* pada *runner propeller* terhadap performansi GVWT, didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

- a. Peningkatan jumlah *blade* pada *runner* memang akan memberikan peningkatan luasan bidang kerja dari fluida terhadap *runner* namun juga perlu memperhatikan efek resistensi yang dihasilkan oleh setiap variasi *blade*. Variasi jumlah *blade* untuk konfigurasi *single-stage* yang memberikan performansi paling baik adalah variasi jumlah *blade* 4 dengan daya keluaran 3.636 W dan efisiensi sebesar 45.83%.
- b. Jika dibandingkan antara *single-stage* dan *dual-stage* di setiap variasi *blade*, konfigurasi *dual-stage* memberikan performansi yang lebih baik dan juga daya keluaran yang jauh lebih tinggi daripada *single-stage*. Pada konfigurasi *dual-stage*, variasi yang memberikan performansi paling baik adalah pada variasi 4 *blade* yaitu dengan daya keluaran sebesar 4.462 W dan efisiensi sebesar 48.62%.

#### **5.2 Saran**

Dari penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa hal yang menjadi saran untuk dilakukan dalam penelitian-penelitian selanjutnya yaitu sebagai berikut:

- a. Penelitian yang akan datang bisa mengoptimalkan penelitian tentang pengaruh geometri *runner propeller* seperti sudut kemiringan *runner* terhadap variasi jumlah *blade* untuk mengetahui efek dari fenomena resistensi aliran yang terjadi
- b. Penelitian yang akan datang bisa mengoptimalkan penelitian dengan mengubah jarak *offset* untuk konfigurasi *dualstage* untuk meneliti lebih dalam mengenai fenomena reoriginasi aliran *vortex*

*Halaman ini sengaja dikosongkan*

## DAFTAR PUSTAKA

- Aziz, M. Q. A., Idris, J., & Abdullah, M. F. (2022). Simulation Of the Conical Gravitational Water Vortex Turbine (GWVT) Design in Producing Optimum Force for Energy Production. *Journal of Advanced Research in Fluid Mechanics and Thermal Sciences*, 89(2), 77–91. <https://doi.org/10.37934/arfmts.89.2.99113>
- Bath, H. K. (2014). *PRESTASI RANCANG BANGUN TURBIN VORTEX DENGAN CASING BERPENAMPANG LINGKARAN PADA SUDUBERDIAMETER 32 CM UNTUK 3 VARIASI JARAKSUDU DENGAN SALURAN KELUAR*.
- Biantoro, A. W., Iskendar, I., Subekti, S., & Bin Muhd Noor, N. H. (2021). The Effects of Water Debit and Number of Blades on the Power Generated of Prototype Turbines Propeller as Renewable Electricity. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 12(1), 203. <https://doi.org/10.21776/ub.jrm.2021.012.01.22>
- Byeon, S.-S., & Kim, Y.-J. (2013). Influence of Blade Number on the Flow Characteristics in the Vertical Axis Propeller Hydro Turbine. *International Journal of Fluid Machinery and Systems*, 6(3), 144–151. <https://doi.org/10.5293/IJFMS.2013.6.3.144>
- Cengel, Y. A., & Cimbala, J. M. (2014). *Fluid Mechanics: Fundamentals and Applications 3rd Edition* (3 ed.). McGraw-Hill.
- Cheema, T. A., Ullah, R., & Saleem, A. S. (2019). Performance analysis of a two-stage gravitational water vortex turbine. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 291(1), 012039. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/291/1/012039>
- Childs, P. R. N. (2011). Rotating Flow 2011. In *Elsevier Inc. Butterworth-Heinemann*.
- Dewan Energi Nasional. (2020). *BAURAN ENERGI NASIONAL 2020*. Dewan Energi Nasional.
- Dhakal, Sagar, Timilsina, A. B., Dhakal, R., Fuyal, D., Bajracharya, T. R., Pandit,

- H. P., Amatya, N., & Nakarmi, A. M. (2015). Comparison of cylindrical and conical basins with optimum position of runner: Gravitational water vortex power plant. In *Renewable and Sustainable Energy Reviews* (Vol. 48, hal. 662–669). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.04.030>
- Dhakal, Subash, Nakarmi, S., Pun, P., Thapa, A. B., & Bajracharya, T. R. (2014). Development and Testing of Runner and Conical Basin for Gravitational Water Vortex Power Plant. *Journal of the Institute of Engineering*, *10*(1), 140–148. <https://doi.org/10.3126/jie.v10i1.10895>
- Erinofiaridi, Gokhale, P., Date, A., Akbarzadeh, A., Bismantolo, P., Suryono, A. F., Mainil, A. K., & Nuramal, A. (2017). A Review on Micro Hydropower in Indonesia. *Energy Procedia*, *110*, 316–321. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.146>
- Ersoy, S. (2014). Vortex with the Formation of Electricity Generation and System Modelling. *International Journal of Environmental Science and Development*, *April 2014*, 152–154. <https://doi.org/10.7763/ijesd.2014.v5.468>
- Hanafi, J., & Riman, A. (2015). Life cycle assessment of a mini hydro power plant in Indonesia: A case study in Karai River. *Procedia CIRP*, *29*, 444–449. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2015.02.160>
- Herbhakti, F. A., & Hantoro, R. (2021). Effect of hole diameter and basin size on the vortex gravity system. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *1010*(1), 012042. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1010/1/012042>
- Himawanto, D. A., Nurdin, A., & Bisri, H. (2021). Studi Eksperimental Pengaruh Jumlah Sudu terhadap Unjuk Kerja Pico Bulb Turbine Aliran Horizontal. *Jurnal Teknik*, *42*(2), 236–240. <https://doi.org/10.14710/teknik>
- Kurniawan, R., Himawanto, D. A., & Widodo, P. J. (2019). The performance of numbers of blade towards picohydro propeller turbine. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, *508*(1), 6–11. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/508/1/012057>
- Nishi, Y., & Inagaki, T. (2017). Performance and Flow Field of a Gravitation Vortex Type Water Turbine. *International Journal of Rotating Machinery*, *2017*. <https://doi.org/10.1155/2017/2610508>

- Power, C., McNabola, A., & Coughlan, P. (2015). A Parametric Experimental Investigation of the Operating Conditions of Gravitational Vortex Hydropower (GVHP). *Journal of Clean Energy Technologies*, 4(2), 112–119. <https://doi.org/10.7763/jocet.2016.v4.263>
- Singh, P., & Nestmann, F. (2009). Experimental optimization of a free vortex propeller runner for micro hydro application. *Experimental Thermal and Fluid Science*, 33(6), 991–1002. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2009.04.007>
- Sritram, P., & Suntivarakorn, R. (2019). The effects of blade number and turbine baffle plates on the efficiency of free-vortex water turbines. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 257(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/257/1/012040>
- Sritram, Piyawat, & Suntivarakorn, R. (2017). Comparative Study of Small Hydropower Turbine Efficiency at Low Head Water. *Energy Procedia*, 138, 646–650. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.10.181>
- Talukdar, P. K., Kulkarni, V., & Saha, U. K. (2018). Field-testing of model helical-bladed hydrokinetic turbines for small-scale power generation. *Renewable Energy*, 127, 158–167. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.04.052>
- Tarigan, E. P. (2014). *Rancang Bangun Turbin Vortex dengan Casing berpenampang Spiral dan Lingkaran dengan Sudu berdiameter 32cm dan tinggi 90cm dengan 2 variasi Lubang Outlet dan 3 variasi jarak antara Sudu ke Outlet*.
- Timilsina, A. B., Mulligan, S., & Bajracharya, T. R. (2018). Water vortex hydropower technology: a state-of-the-art review of developmental trends. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20(8), 1737–1760. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1589-0>
- Ullah, R., Cheema, T. A., Saleem, A. S., Ahmad, S. M., Chattha, J. A., & Park, C. W. (2019). Performance analysis of multi-stage gravitational water vortex turbine. *Energy Conversion and Management*, 198. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.111788>
- Ullah, R., Cheema, T. A., Saleem, A. S., Ahmad, S. M., Chattha, J. A., & Park, C. W. (2020). Preliminary experimental study on multi-stage gravitational water



vortex turbine in a conical basin. *Renewable Energy*, 145, 2516–2529.

<https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.07.128>

Wardhana, E. M., Santoso, A., & Ramdani, A. R. (2019). Analysis of Gottingen 428 Airfoil Turbine Propeller Design with CFD Method on Gravitational Water Vortex Power Plant. In *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research* (Vol. 3, Nomor 3).

Yaakob, O. B., Ahmed, Y. M., Elbatran, A. H., & Shabara, H. M. (2014). A review on micro hydro gravitational vortex power and turbine systems. *Jurnal Teknologi (Sciences and Engineering)*, 69(7), 1–7. <https://doi.org/10.11113/jt.v69.3259>

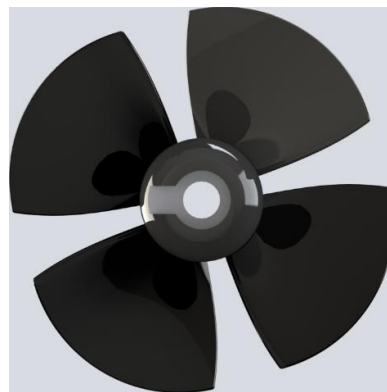
## LAMPIRAN

### A. Desain 3D Setiap Variasi *Blade* pada *Runner Propeller*

Dalam membuat desain *runner* dalam penelitian ini, digunakan *software* Solidworks DS dengan desain yang mengacu pada jurnal penelitian sebelumnya oleh (Singh & Nestmann, 2009)



(a)



(b)



(c)



(d)

**Gambar A.1** Desain 3D runner propeller (a) 3 *blade* (b) 4 *blade* (c) 5 *blade* (d) 6 *blade*

## B. Dokumentasi Eksperimental



**Gambar B.1** Titik pengamatan eksperimental



**Gambar B.2** Pelaksanaan eksperimental GVWT

### C. Data Eksperimental

Data Ft merupakan gaya tangensial yang terbaca oleh *loadcell* ditambah dengan nilai *offset* dari *loadcell* pada saat pengujian

**Tabel C.1** Data eksperimental variasi jumlah *blade*

No.	Variasi Blade 3								tanpa beban
	Beban 100 gr		Beban 200 gr		Beban 300 gr		Beban 400 gr		
	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	
1	318	4663	211	4973	175	5155	139	5335	549
2	315	4661	211	4972	177	5141	132	5270	547
3	313	4670	214	4997	175	5147	138	5279	544
4	314	4670	215	5022	177	5160	139	5264	543
5	319	4661	211	4995	176	5149	135	5330	546
6	318	4662	214	5006	174	5153	136	5278	548
7	317	4671	211	4985	178	5151	136	5267	546
8	315	4671	210	4979	172	5155	134	5271	548
9	313	4672	214	4980	175	5147	139	5287	548
10	315	4670	219	4986	178	5149	133	5311	548
Rata-rata	315.7	4667.1	213	4989.5	175.7	5150.7	136.1	5289.2	546.7
No.	Variasi Blade 4								tanpa beban
	Beban 100 gr		Beban 200 gr		Beban 300 gr		Beban 400 gr		
	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	
1	318	4742	274	4971	222	5195	171	5377	525
2	314	4731	272	4964	226	5194	171	5368	523
3	311	4722	273	4970	226	5200	173	5333	522
4	316	4726	273	4956	222	5203	174	5319	521
5	321	4733	273	4974	223	5198	171	5341	521
6	312	4732	272	4958	226	5200	177	5354	523
7	313	4732	274	4970	223	5199	174	5336	523
8	312	4741	273	4973	222	5192	171	5409	519
9	314	4737	271	4961	225	5208	177	5388	523
10	313	4735	272	4978	222	5193	172	5406	519
Rata-rata	314.4	4733.1	272.7	4967.5	223.7	5198.2	173.1	5363.1	521.9
No.	Variasi Blade 5								tanpa beban
	Beban 100 gr		Beban 200 gr		Beban 300 gr		Beban 400 gr		
	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	
1	317	4719	276	4979	214	5130	145	5393	498
2	318	4725	273	4979	217	5217	144	5383	495

3	315	4734	274	4980	215	5218	147	5398	493
4	316	4721	274	4977	218	5208	145	5395	499
5	315	4722	273	4981	217	5208	148	5399	493
6	319	4722	276	4985	213	5109	144	5388	496
7	315	4724	274	4983	210	5216	143	5398	495
8	316	4729	272	4987	215	5111	147	5388	499
9	312	4727	275	4978	222	5121	148	5404	495
10	314	4737	275	4984	217	5128	145	5424	495
Rata-rata	315.7	4726	274.2	4981.3	215.8	5166.6	145.6	5397	495.8
No.	Variasi Blade 6								tanpa beban
	Beban 100 gr		Beban 200 gr		Beban 300 gr		Beban 400 gr		
	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	
1	313	4726	276	4948	237	5155	165	5389	474
2	315	4735	277	4952	237	5127	168	5374	478
3	318	4732	276	4944	237	5134	164	5404	474
4	315	4733	276	4941	235	5157	168	5408	477
5	313	4737	276	4940	236	5133	172	5391	477
6	313	4738	276	4954	237	5259	162	5409	478
7	313	4731	277	4959	235	5144	164	5402	476
8	314	4727	275	4963	231	5133	171	5409	477
9	318	4731	276	4972	233	5135	164	5445	475
10	315	4731	274	4959	233	5155	165	5425	478
Rata-rata	314.7	4732.1	275.9	4953.2	235.1	5153.2	166.3	5405.6	476.4

**Tabel C.2** Data eksperimental variasi *dualstage*

No.	Variasi Blade 3								tanpa beban
	Beban 100 gr		Beban 200 gr		Beban 300 gr		Beban 400 gr		
	RP M	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	
1	385	4564	313	4890	175	5187	166	5305	468
2	385	4561	310	4868	177	5193	166	5298	468
3	385	4561	307	4872	172	5193	166	5304	471
4	388	4566	311	4885	278	5186	166	5307	469
5	387	4564	313	4890	177	5177	166	5302	471
6	384	4565	311	4860	174	5194	168	5302	470
7	387	4567	309	4873	176	5169	164	5304	471
8	387	4567	316	4878	176	5174	169	5307	472
9	385	4564	313	4870	177	5164	168	5307	473
10	382	4566	315	4873	178	5165	166	5301	470

Rata-rata	385.5	4564.5	311.8	4875.9	186	5180.2	166.5	5303.7	470.3
No.	Variasi Blade 4								tanpa beban
	Beban 100 gr		Beban 200 gr		Beban 300 gr		Beban 400 gr		
	RP M	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	
1	354	4679	312	5025	210	5286	165	5413	443
2	354	4686	315	5021	213	5291	162	5418	441
3	353	4682	311	5029	214	5288	163	5412	446
4	358	4691	318	5018	212	5287	165	5416	443
5	356	4681	312	5037	211	5288	163	5412	442
6	357	4684	314	5022	210	5287	162	5421	444
7	354	4701	318	5025	210	5284	165	5412	441
8	357	4683	315	5016	211	5283	165	5412	442
9	354	4695	312	5043	210	5288	164	5419	445
10	357	4686	312	5028	212	5280	164	5419	445
Rata-rata	355.4	4686.8	313.9	5026.4	211.3	5286.2	163.8	5415.4	443.2
No.	Variasi Blade 5								tanpa beban
	Beban 100 gr		Beban 200 gr		Beban 300 gr		Beban 400 gr		
	RP M	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	
1	355	4701	283	4950	216	5344	148	5628	449
2	351	4705	286	4952	215	5338	145	5629	448
3	357	4697	282	4949	217	5345	146	5612	443
4	352	4698	286	4949	217	5327	145	5635	444
5	357	4699	283	4971	215	5331	144	5639	447
6	352	4706	285	4955	216	5339	145	5623	445
7	352	4701	285	4958	217	5336	145	5636	446
8	352	4704	286	4962	216	5337	146	5617	447
9	352	4697	282	4964	219	5333	148	5626	442
10	352	4701	285	4969	214	5329	144	5629	445
Rata-rata	353.2	4700.9	284.3	4957.9	216.2	5335.9	145.6	5627.4	445.6
No.	Variasi Blade 6								tanpa beban
	Beban 100 gr		Beban 200 gr		Beban 300 gr		Beban 400 gr		
	RP M	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	RPM	Ft (gr off)	
1	336	4725.95	264	4973.4	198	5370.12	144	5618.04	433
2	336	4727.61	264	4976.07	199.2	5381.8	144.6	5632.31	437
3	337.2	4711.93	264.6	4963.35	202.8	5386.12	144.6	5642.46	434
4	337.8	4712.96	265.2	4973.47	204	5377.52	144.6	5628.24	433

5	337. 8	4716.61	266.4	4964.23	204.6	5389.39	145.2	5618.58	432
6	338. 4	4718.09	266.4	4970.93	205.2	5387.73	145.2	5618.62	437
7	338. 4	4719.72	267.6	4964.58	206.4	5386.11	145.2	5626.1	434
8	338. 4	4724.78	267.6	4972.74	206.4	5389.89	145.8	5608.61	438
9	339	4717.44	267.6	4975.5	207	5387.72	147	5635.49	432
10	339	4725.66	269.4	4960.91	208.8	5383.63	147.6	5639.69	435
Rata- rata	337. 8	4720.08	266.2 8	4969.52	204.2 4	5384	145.3 8	5626.81	434. 5

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Rio Adi Prasetyo lahir di Surabaya pada tanggal 29 April 2000. Penulis menempuh jenjang pendidikan di SDN Pagesangan 426 Surabaya (2006 – 2012), SMPN 22 Surabaya (2012 – 2015), dan SMAN 15 Surabaya (2015 – 2018) . Setelah lulus SMA, penulis melanjutkan pendidikan S1 di departemen Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem (FTIRS), Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya. Bidang minat yang penulis pilih selama di Teknik Fisika ialah Rekayasa Energi dan Pengondisian Lingkungan. Selama di bangku kuliah, penulis aktif mengikuti kegiatan kepanitiaan, organisasi, dan kegiatan akademik lainnya. Hal ini dibuktikan dengan penulis mengikuti organisasi Paduan Suara Mahasiswa Institut Teknologi Sepuluh Nopember sebagai Kepala Departemen Pengembangan Sumber Daya Musik dan juga sebagai asisten pelatih (2019 – 2021), mengikuti organisasi seperti *Society of Renewable Energy* (SRE) ITS sebagai member (2020), *International Youth Summit of Renewable Energy* sebagai *Campus Ambassador* (2020), mengikuti kegiatan magang MBKM di PT. Pembangkitan Jawa-Bali UP. Paiton (2021 – 2022), mengikuti kompetisi keenergian dari *Society of Renewable Energy* (SRE) ITS, serta mengikuti beberapa kompetisi paduan suara nasional dan internasional bersama PSM ITS. Selain itu, penulis pernah menjadi penerima Beasiswa dari Bank Indonesia (BI) pada tahun 2021. Jika terdapat hal yang ingin didiskusikan, penulis dapat dihubungi melalui *e-mail*: [rio.prasetyo26@gmail.com](mailto:rio.prasetyo26@gmail.com)