

SKRIPSI

**PENGARUH BESAR SUDUT *OMNI DIRECTIONAL GUIDE*  
VANES TERHADAP KINERJA TURBIN HIDROKINETIK  
ARAH VERTIKAL BERJENIS SAVONIUS**

Oleh:

**YUNDA MONIKA**

NIM. DAB 116 048



**JURUSAN/PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS PALANGKA RAYA  
PALANGKA RAYA  
2023**

**PENGARUH BESAR SUDUT OMNI DIRECTIONAL GUIDE VANES  
TERHADAP KINERJA TURBIN HIDROKINETIK ARAH VERTIKAL  
BERJENIS SAYONIUS**

SKRIPSI

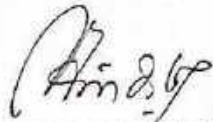
Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan  
Program Strata-I pada Jurusan/program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Oleh :

**YUNDA MONIKA**  
NIM. DAB 116 048

**Disetujui sesuai dengan revisi dalam Form Rekomendasi  
Dan Berita Acara Ujian Skripsi**

Pembimbing Utama



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

Pembimbing Pendamping



**(HAIKI MART YUPI, S.T., M.T., Ph.D.)**  
NIP. 19740303 200012 1 001

Mengetahui,  
Jurusan/Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Ketua,



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

**PENGARUH BESAR SUDUT OMNI DIRECTIONAL GUIDE VANES TERHADAP  
KINERJA TURBIN HIDROKINETIK ARAH VERTIKAL BERJENIS SAVONIUS**

**SKRIPSI**

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan  
Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Oleh :

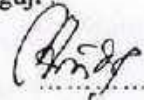
**YUNDA MONIKA**  
NIM. DAB 116 048

**Telah dipertahankan di depan Tim Penguji, pada:**

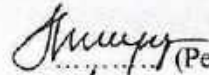
Hari/Tanggal : Senin, 27 Maret 2023  
Waktu : 11.00 – 13.00 WIB  
Tempat : Ruang Ujian Jurusan (offline)

Tim Penguji :

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

 (Pembimbing Utama/Ketua Penguji)


2. **HAIKI MART YUPI, S.T., M.T., Ph.D.**  
NIP. 19740303 200012 1 001

 (Pembimbing Pendamping/Sekretaris)

3. **Ir. HENDRO SUYANTO, M.T.**  
NIP. 19590831 198903 1 002

 (Penguji 3)

4. **Dr. Ir. I MADE KAMIANA, M.T.**  
NIP. 19620818 199002 1 001

 (Penguji 4)

Mengetahui:

Fakultas Teknik  
Universitas Palangka Raya  
Dekan,  
  
**FRIEDA, S.T., M.T.**  
NIP. 19721223 199702 2 002

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

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

## BIODATA MAHASISWA

### Data Pribadi

Nama : Yunda Monika  
NIM : DAB 116 048  
Tempat, Tanggal Lahir : Palangka Raya, 21 Agustus 1998  
Status : Belum Menikah  
Agama : Kristen Protestan  
Pekerjaan : Mahasiswi  
Alamat di Palangka Raya : Jl. Galaxi I No. 71, Palangka Raya  
No. Telp Rumah : -  
Alamat Asal : Jl. Galaxi I No. 71, Palangka Raya  
Email : yundamonika90@gmail.com  
No.Hp : 0853 4669 3002  
No.Wa : 0853 4669 3002  
Facebook : -  
Instagram : yundamonika  
Line : -  
Nama Ayah : Bagol  
Pekerjaan Ayah : Pensiunan PNS  
Alamat : Jl. Galaxi I No. 71, Palangka Raya  
No.Hp : 0852 4973 4442  
Nama Ibu : Lilis Hayatie, S.Th (Alm.)  
Pekerjaan Ibu : PNS  
Alamat : Jl. Galaxi I No. 71, Palangka Raya  
No.Hp : -  
Wali : -



### Riwayat Pendidikan\*)

- TK : TK Katolik Sinar Surya Palangka Raya (2002-2004)
- SD : SDK St. Don Bosco Palangka Raya (2004-2010)
- SLTP : SMPK St. Paulus Palangka Raya (2010-2013)
- SLTA : SMA Negeri 2 Palangka Raya (2013-2016)
- Mulai mengikuti perkuliahan Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya bulan September tahun 2016

## **LEMBAR PERSEMBAHAN**

Segala puji dan syukur kepada Tuhan Yesus Kristus yang telah memberikan kasih, pertolongan dan anugerah-Nya akhirnya skripsi ini dapat terselesaikan. Bukan karena kuat dan gagahku tapi karena Tuhan Yesus yang memampukan aku dan membuat segala sesuatu indah pada waktuNya.

### **ORANG TUA**

Terima kasih kuucapkan kepada ayah Bagol dan juga ibu Lilis Hayatie, atas segala hal yang mereka telah berikan serta perjuangan mereka dalam membesarkan dan mendidiku sampai saat ini. Aku bersyukur kepada Tuhan Yesus karena telah memberikan kedua orang tua yang luar biasa hebat di dalam hidup ini, aku ingin mengucapkan terima kasih atas segala tetesan keringat, jerih payah, doa yang tak henti yang selalu menyertai setiap langkahku. Skripsi ini aku persembahkan untuk kedua orang tuaku, semoga ini menjadi awal yang baik untuk melihat senyum di wajah yang ingin kulihat sampai memutih rambutku kelak.

### **KELUARGA**

Terima kasih ku ucapkan kepada kakak dan adik-adikku tersayang Denis Aditia Saputra, Agustina Viska Lestari dan Catlyna Agatha Fidela yang telah banyak membantu dan memberi semangat untukku sehingga bisa menyelesaikan perkuliahan dan juga kepada keluarga besar Usup untuk segala dukungan yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan serta terkhusus untuk sepupu-sepupuku yang selalu ada dalam keadaan apapun.

### **TEMAN-TEMAN TEKNIK SIPIL (ANGKATAN 2016)**

Untuk teman-teman Teknik Sipil Angkatan 2016 skripsi ini aku persembahkan untuk kalian, terima kasih banyak atas dukungan, masukan, saran dan segala kebaikan yang telah kalian perbuat dalam kehidupanku yang tidak akan pernah aku lupakan. Terima kasih untuk setiap kenangan yang terukir, Tuhan yang selalu menyertai langkah dan proses hidup kalian yah!

### **DOSEN TERHORMAT**

Terima kasih kepada Bapak dan Ibu dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya, atas segala pengajaran dan bimbingannya selama saya menjadi mahasiswi Teknik Sipil UPR. Terima kasih kepada Dosen Pembimbing Akademik saya Bapak Raden Haryo Saputra, M.T. yang telah membimbing saya selama awal perkuliahan sampai terselesaikannya masa kuliah ini, terima kasih atas setiap masukkan serta nasehat yang membangun serta memotivasi saya selama masa perkuliahan. Terima kasih juga saya ucapkan kepada dosen pembimbing Skripsi Saya Bapak Dwi Anung Nindito, S.T., M.T. dan Bapak Haiki Mart Yupi, S.T., M.T., Ph.D., dosen penguji Skripsi saya Bapak Ir. Hendro Suyanto, M.T, dan Bapak Dr. Ir. I Made Kamiana, M.T. serta moderator saya Ibu Nomeritae, S.T., M.Eng., Ph.D. yang telah membimbing saya selama pengerjaan Skripsi ini hingga dapat terselesaikan dan terima kasih untuk ilmu dan pengajaran yang telah di ajarkan kepada saya.

### **ORANG-ORANG PILIHAN**

Terima kasih sebanyak-banyaknya buat semua orang-orang spesial di hidupku, tanpa kalian ucapan ini ga akan kebuat. Gausah disebutin karena pasti orangnya sadar hehe

## **SURAT PERNYATAAN**

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sungguh bahwa Skripsi saya belum pernah dipakai sebelumnya untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi manapun. Segala kutipan dan pikiran dari berbagai sumber telah diungkapkan sebagaimana disebutkan lengkap dalam daftar pustaka. Apabila kemudian hari ternyata pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia menerima segala konsekuensi akibat ketidakbenaran pernyataan saya.

Palangka Raya, Maret 2023

Yang membuat pernyataan



**YUNDA MONIKA**

**NIM. DAB 116 048**

## RINGKASAN

**PENGARUH BESAR SUDUT *OMNI DIRECTIONAL GUIDE VANES* TERHADAP KINERJA TURBIN HIDROKINETIK ARAH VERTIKAL BERJENIS SAVONIUS**, Yunda Monika, 2023, Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Turbin hidrokinetik Savonius merupakan turbin dengan gaya dorong yang memiliki nilai daya rotor dan nilai koefisien torsi negatif yang tinggi. Oleh karena itu, diperlukan inovasi pengarah aliran yang mampu meningkatkan nilai koefisien torsi dari turbin hidrokinetik Savonius. Pengarah *Omni Directional Guide Vanes* (ODGV) menjadi salah satu alternatif untuk meningkatkan kinerja turbin hidrokinetik Savonius. Tujuan dari penelitian ini yaitu membuat desain dari turbin hidrokinetik Savonius setelah ditambahkan pengarah ODGV serta membandingkan kinerja dari turbin hidrokinetik Savonius konvensional dan turbin dengan variasi lebar dan kemiringan sudut ODGV.

Pengujian dilakukan pada *flume* berbentuk prisma dengan ukuran panjang 440 cm, lebar 46 cm dan tinggi 44 cm di Laboratorium Hidraulika dan Hidrologi, Fakultas Teknik, Universitas Palangka Raya untuk melihat variasi parameter kecepatan distribusi aliran, kedalaman air, torsi dan jumlah putaran turbin yang ditambahkan ODGV. Turbin yang digunakan berukuran  $D = 12$  cm dan  $H = 21,6$  cm. Turbin hidrokinetik Savonius menggunakan ODGV dengan variasi sudut yaitu  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ . ODGV diletakkan pada *end plate* dan tegak lurus terhadap turbin hidrokinetik Savonius berjarak 4 cm. Penambahan kemiringan sudut pada ODGV menyebabkan variasi lebar *rectifier* pada ODGV. Variasi lebar *rectifier* ODGV pada sudut  $0^\circ = 1,5$  cm, 3 cm dan 4,5 cm. Variasi lebar *rectifier* ODGV pada sudut  $15^\circ = 1,63$  cm, 3,25 cm dan 4,88 cm. Variasi lebar *rectifier* ODGV pada sudut  $30^\circ = 2,1$  cm, 4,7 cm dan 6,6 cm. lebar *end plate* yang digunakan yaitu 1,5 cm, 3 cm dan 4,5 cm.

Desain turbin hidrokinetik Savonius dengan penambahan variasi ODGV yang digunakan dalam penelitian memiliki dimensi tinggi turbin ( $H$ ) = 21,6 cm dan diameter turbin ( $D$ ) = 12 cm. Dimensi *end plate* yang digunakan yaitu  $1/4$ ,  $1/2$  dan  $3/4$  dari jari – jari turbin. Variasi sudut yang digunakan pada ODGV yaitu sudut  $0^\circ$ ,  $15^\circ$  dan  $30^\circ$  dengan kemiringan berlawanan arah jarum jam. Hasil uji eksperimental didapat nilai  $C_p$  dan TSR turbin hidrokinetik Savonius konvensional masing-masing adalah 0,04 – 0,19 dan 5,39 – 5,78. Nilai  $C_p$  dan TSR turbin hidrokinetik Savonius dengan ODGV variasi sudut sudut  $0^\circ$  0,04 – 0,26 dan 5,38 – 5,73, sudut  $15^\circ$  0,04 – 0,22 dan 5,17 – 5,96, variasi sudut  $30^\circ$  yaitu 0,04 – 0,20 dan 4,18 – 6,44. Hubungan antara nilai  $C_p$  – TSR pada variasi sudut  $0^\circ$  memiliki nilai korelasi yang terbaik dibandingkan variasi sudut ODGV lainnya.

**Kata Kunci:** Turbin Hidrokinetik Savonius, Lebar dan Kemiringan Sudut ODGV, *Coefficient of Power*, *Tip Speed Ratio*

## SUMMARY

**THE LARGE INFLUENCE OF THE ANGLE OMNI DIRECTIONAL GUIDE VANES ON THE PERFORMANCE OF THE HYDROKINETIC TURBINE OF SAVONIUS TYPE VERTICAL DIRECTION**, Yunda Monika, 2023, Civil Engineering Department/Study Program Faculty of Engineering, University of Palangka Raya.

*Savonius hydrokinetic turbine is a turbine with drag force that has a rotor power value and a high negative torque coefficient value. Therefore, a flow steering innovation is needed that is able to increase the torque coefficient value of Savonius' hydrokinetic tubin. Omni Directional Guide Vanes (ODGV) is an alternative to improving the performance of Savonius hydrokinetic turbines. The purpose of this study was to create a design of the Savonius hydrokinetic turbine after the ODGV director was added and compare the performance of the conventional Savonius hydrokinetic turbine and the turbine with variations in the width and slope of the ODGV angle.*

*The test was carried out on a prismatic flume with a length of 440 cm, width of 46 cm and height of 44 cm at the Hidraulika and Hydrology Laboratory, Faculty of Engineering, University of Palangka Raya to see variations in flow distribution speed parameters, water depth, torque and number of turbine turns ODGV added. The turbine used is  $D = 12$  cm and  $H = 21.6$  cm. Savonius hydrokinetic turbines use ODGV with angular variations of  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ . The ODGV is placed on an end plate and perpendicular to savonius hydrokinetic turbines within 4 cm. The addition of angular tilt on ODGV causes rectifier width variation in ODGV. The variation in the width of the ODGV rectifier at an angle of  $0^\circ = 1,5$  cm, 3 cm and 4,5 cm. The width variation of the ODGV rectifier at an angle of  $15^\circ = 1,63$  cm, 3,25 cm and 4,88 cm. The variation in the width of the ODGV rectifier at an angle of  $30^\circ = 2,1$  cm, 4,7 cm and 6,6 cm. The width of the end plate used is 1,5 cm, 3 cm and 4,5 cm.*

*Savonius hydrokinetic turbine design with the addition of ODGV variations used in the study has a high dimension turbine ( $H$ ) = 21.6 cm and the diameter of the turbine ( $D$ ) = 12 cm. The dimensions of the end plate are used that is  $1/4$ ,  $1/2$  and  $3/4$  from the radius of the turbine. The angular variation used in ODGV is  $0^\circ$ ,  $15^\circ$ ,  $30^\circ$ . angles with an anti-clockwise slope. Experimental test results obtained  $C_p$  and TSR values of conventional Savonius hydrokinetic turbines are 0,04 – 0,19 and 5,39 – 5,78, respectively. The values of  $C_p$  and TSR of Savonius hirokinetic turbines with ODGV angular variations of  $0^\circ$  0,04 – 0,26 and 5,38 – 5,73, angles of  $15^\circ$  0,04 – 0,22 and 5,17 – 5,96, angular variations of  $30^\circ$  which are 0,04 – 0,20 and 4,18 – 6,44. The relationship between  $C_p$  - TSR values at an angle variation of  $0^\circ$  has the best correlation value compared to other ODGV angle variations.*

*Keywords: Savonius Hydrokinetic Turbine, Width and Angle of ODGV, Coefficient of Power, Tip Speed Ratio*

## **PRAKATA**

Puji dan syukur kehadirat Tuhan Yang Maha Esa oleh karena limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga Skripsi ini dapat diselesaikan.

Skripsi dengan judul “Pengaruh Besar Sudut *Omni Directional Guide Vanes* Terhadap Kinerja Turbin Hidrokinetik Arah Vertikal Berjenis Savonius” ini disusun sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi Program Strata-1, pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Frieda, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
2. Bapak Dr. Rudi Waluyo, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
3. Bapak Dr. Sutan P. Silitonga, S.TP., S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
4. Ibu Amiany, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan dan Alumni Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
5. Bapak Dr. Rudi Waluyo, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan/ Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
6. Ibu Veronika Happy Puspasari, S.T., M.T. selaku Sekretaris Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
7. Bapak Raden Haryo Saputra, M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik.

8. Bapak Dwi Anung Nindito, S.T., M.T. selaku Dosen Ketua Penguji/ Penguji I Skripsi.
9. Bapak Haiki Mart Yupi, S.T., M.T., Ph. D selaku Dosen Sekretaris Penguji/ Penguji II Skripsi.
10. Bapak Ir. Hendro Suyanto, M.T. selaku Dosen Penguji III Skripsi.
11. Bapak Dr. Ir. I Made Kamiana, M.T. selaku Dosen Penguji IV Skripsi.
12. Seluruh Dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil beserta Staf Tata Usaha Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
13. Rekan-rekan mahasiswa Teknik Sipil angkatan 2016 dan semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Skripsi ini.

Akhir kata dengan segala kerendahan hati penulis menyadari akan segala kekurangan dalam penyajian Skripsi ini, sehingga segala bentuk tanggapan, kritik dan saran-saran yang bersifat membangun dan ikut memajukan sangat diharapkan sebesar-besarnya dari berbagai pihak demi tercapainya tujuan dan substansi yang diinginkan dalam menyusun Skripsi ini. Terima Kasih.

Palangka Raya, Maret 2023

YUNDA MONIKA

NIM. DAB 116 048

## DAFTAR ISI

	Halaman
LEMBAR PENGESAHAN.....	i
RINGKASAN.....	ii
<i>SUMMARY</i> .....	iii
PRAKATA.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR TABEL.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	x
DAFTAR NOTASI.....	xvi
 BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
 BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Jenis – Jenis Turbin Hidrokinetik.....	5
2.2 Jenis – Jenis Pengarah.....	17
2.2.1 Jenis Pengarah <i>Venting Slots</i> .....	20
2.2.2 Jenis Pengarah <i>Curtain</i> .....	20
2.2.3 Jenis Pengarah <i>Deflector</i> .....	23
2.3 Kinerja Turbin Savonius dengan Dipasang Pengarah.....	25

2.3.1	<i>Mass Flow</i> .....	31
2.3.2	<i>Coefficient of Power (Cp)</i> .....	32
2.3.3	Koefisien Torsi Dinamik.....	33
2.3.4	Kecepatan Sudut ( $\omega$ ).....	34
2.3.5	<i>Tip Speed Ratio (TSR)</i> .....	35
2.3.6	Daya Mekanik Turbin.....	36
2.3.7	Efisiensi Turbin.....	36
2.4	<i>Omni Directional Guide Vanes</i> .....	37
 BAB III METODE PENELITIAN		
3.1	Umum.....	41
3.2	Tahapan Penelitian.....	42
3.3	Komponen Turbin.....	44
3.4	Pembuatan Turbin, <i>End Plate</i> , dan <i>Omni Directional Guide Vanes</i> .....	58
3.5	Variasi Pengujian.....	58
3.6	Instrumentasi Pengukuran.....	58
3.7	Parameter yang diukur.....	65
3.8	Perbandingan Kinerja.....	65
 BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Desain Turbin Savonius dan Variasi Sudut <i>Omni Directional Guide Vanes</i> .....	69
4.1.1	Komponen Turbin Savonius Variasi Sudut ODGV.....	70

4.1.2 Hasil Penggabungan Turbin Savonius Dengan Penambahan ODGV.....	72
4.1.3 Kode <i>Running</i> .....	73
4.2 Perbandingan Kinerja Turbin Savonius dan Turbin Savonius dengan Penambahan Variasi Sudut ODGV.....	80
4.2.1 Perbandingan Kecepatan Aliran Pada Turbin Savonius dengan $\frac{y}{D}$ .....	80
4.2.2 Perbandingan Antara RPM dengan Kecepatan Aliran.....	81
4.2.3 Perbandingan Antara Torsi dengan Variasi Sudut.....	84
4.2.4 Perbandingan Antara RPM dengan Torsi.....	91
4.2.5 Perbandingan Antara Torsi Dengan Kecepatan Aliran...	94
4.2.6 Perbandingan Antara <i>Coefficient of Power</i> ( $C_p$ ) dan <i>Tip Speed Ratio</i> (TSR). .....	96
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1 Kesimpulan.....	107
5.2 Saran.....	109
DAFTAR PUSTAKA	
LAMPIRAN	

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Perbandingan Kinerja Rotor Antar Skema dengan dan Tanpa Perangkat Tambahan.....	33
Tabel 2.2 <i>The Uncertainty In Calculated Value</i> .....	34
Tabel 2.3 Dimensi Penataan <i>Curtain Arangement</i> .....	35
Tabel 3.1 Komponen Turbin Savonius Tanpa <i>Omni Directional Guide Vanes</i> .....	44
Tabel 3.2 Komponen Variasi Bentuk <i>Omni Directional Guide Vanes</i> .....	45
Tabel 3.3 Komponen Variasi Lebar <i>End Plate</i> .....	48
Tabel 3.4 Komponen Variasi Turbin Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $0^\circ$ .....	49
Tabel 3.5 Komponen Variasi Turbin Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $15^\circ$ .....	52
Tabel 3.6 Komponen Variasi Turbin Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $30^\circ$ .....	55
Tabel 3.7 Instrumensasi Pengukuran.....	59
Tabel 3.8 Formulir Pengambilan Data Perbandingan Hasil Pengujian Turbin Savonius dengan penambahan <i>Omni Directional Guide Vanes</i> .....	66
Tabel 4.1 Data Hasil Pengujian Turbin Savonius dengan Penambahan Variasi Sudut ODGV.....	75
Tabel 4.2 Perhitungan $C_p$ ( <i>Coefficient of Power</i> ) dan TSR ( <i>Tip Speed Ratio</i> )	98

## DAFTAR GAMBAR

		Halaman
Gambar 1.1	Desain Turbin Savonius. ....	2
Gambar 1.2	Grafik Performa Daya Putar Rotor terhadap Ratio Kecepatan .	3
Gambar 2.1	Klasifikasi Turbin Hidrokinetik. ....	5
Gambar 2.2	Tampak Atas Diagram Skema Rotor Turbin Hidrokinetik Savonius. ....	8
Gambar 2.3	Geometri Rotor Savonius. ....	9
Gambar 2.4	Rincian Desain Turbin Savonius. ....	10
Gambar 2.5	Desain 3-D Turbin Savonius bagian Rotor Beserta Daerah Fluidanya. ....	10
Gambar 2.6	Parameter Geometri Rotor Savonius yang Dimodifikasi. ....	11
Gambar 2.7	Rotor Savonius yang Dimodifikasi Tanpa Poros Hingga Akhir Pelat (a) Parameter Geometri Rotor Savonius yang Dimodifikasi (b). ....	12
Gambar 2.8	Tampak Atas Rotor Savonius yang Dimodifikasi Tanpa Poros Hingga Akhir Pelat. ....	12
Gambar 2.9	Modifikasi Tiga Susunan Rotor Savonius (a) Tampilan <i>Isometric</i> (b) Tampak Atas ....	13
Gambar 2.10	Modifikasi Dua Susunan Rotor Savonius (a) Tampilan <i>Isometric</i> (b) Tampak Atas. ....	14
Gambar 2.11	Ilustrasi Sistematis Rotor Savonius. ....	14

Gambar 2.12	Deskripsi Sistematika dan Parameter Utama dalam Dua Bilah Rotor Savonius.....	15
Gambar 2.13	Deskripsi Sistematika dan Parameter Utama dalam Tiga Bilah Rotor Savonius.....	16
Gambar 2.14	Dua Tipe Bilah Rotor Savonius (a) Gaya <i>Drag</i> dan <i>Lift</i> dalam Rotor Savonius (b).....	16
Gambar 2.15	Gaya <i>Drag</i> dan <i>Lift</i> pada Rotor Savonius.....	17
Gambar 2.16	Berbagai Jenis Pengarah.....	18
Gambar 2.17	Berbagai Teknik Augmentasi. ....	19
Gambar 2.18	<i>Venting Slots</i> Tiga Posisi Berbeda pada Profil Berblade Setengah Lingkaran (a) Desain-I, (b) Desain-II, dan (c) Desain-III.....	20
Gambar 2.19	Parameter Geometri Pengaturan <i>Curtain</i> . ....	21
Gambar 2.20	Parameter Pengaturan <i>Curtain</i> .....	22
Gambar 2.21	Sistematis Pengaturan Rotor dengan dan tanpa <i>Curtain</i> .....	23
Gambar 2.22	Skema Modifikasi Rotor Savonius dengan Ruang Pelat Deflector. ....	24
Gambar 2.23	Posisi yang Berbeda pada Pelat <i>Deflector</i> .....	24
Gambar 2.24	Grafik Hubungan Efek Rotasi (RPM) dengan sudut <i>Curtain</i> ...	25
Gambar 2.25	Grafik Perubahan Torsi Statis pada Rotor tanpa Pelat <i>Curtain</i> dan Perhitungan Analisis Numerik pada Posisi Rotor 45°, 60°, dan 90°.....	26
Gambar 2.26	Grafik Perubahan Nilai Torsi pada Sudut $\beta = 10^\circ$ dan $\beta = 15^\circ$	

	ketika Posisi Rotor $\theta = 90^\circ$ , $\theta = 60^\circ$ dan $\theta = 45^\circ$ . .....	27
Gambar 2.27	Grafik Rasio Peningkatan Perubahan Daya pada <i>Blade Curtain</i> untuk Panjang $\gamma = 30^\circ$ Sesuai dengan Diameter <i>Blade</i> . .....	28
Gambar 2.28	Hubungan antara Variasi Torsi dengan Kecepatan Rasio, Desain Rotor Savonius Konvensional. ....	28
Gambar 2.29	Grafik Hubungan (a) Koefisien Torsi dengan TSR yang Berbeda (b) Koefisien Kecepatan Daya dengan TSR Kasus 4 Variasi <i>Grid</i> . .....	29
Gambar 2.30	Grafik Hubungan Koefisien Kecepatan dan Koefisien Torsi dengan Rasio Kecepatan pada Model Savonius Tanpa <i>Deflector</i> . ....	30
Gambar 2.31	Perbandingan <i>Coefficient of Power</i> yang diperoleh pada Pengujian dan Perhitungan Numerik Pada Kecepatan Rotasi Rendah. ....	31
Gambar 2.32	Skema Model Stator. ....	37
Gambar 2.33	Turbin Savonius dengan Penyearah dan Turbin Savonius dengan Penyearah dan <i>Tab</i> . ....	38
Gambar 2.34	Parameter Geometri ODGV ( <i>Omni – Directional Guide Vanes</i> ). ....	39
Gambar 2.35	Domain Komputasi. ....	39
Gambar 2.36	Grafik Hubungan $\frac{y}{D}$ dan Kecepatan Aliran pada Variasi sudut Rectifier $0^\circ$ , $15^\circ$ dan $30^\circ$ . ....	40

Gambar 3.1	Diagram Bagan Alir. ....	43
Gambar 4.1	Desain Turbin Savonius (a) Tampak Atas, (b) Tampak Depan.	69
Gambar 4.2	Variasi Sudut ODGV (a) sudut 0°, (b) sudut 15°, (c) sudut 30°.	70
Gambar 4.3	Turbin Savonius .....	71
Gambar 4.4	<i>End Plate</i> .....	72
Gambar 4.5	Turbin Savonius .....	73
Gambar 4.6	Grafik Hubungan Antara Kecepatan Aliran pada Turbin (m/s) Terhadap $\frac{Y}{D}$ .....	80
Gambar 4.7	Grafik Hubungan Antara Kecepatan Aliran (m/s) Terhadap RPM pada ODGV sudut 0°.....	82
Gambar 4.8	Grafik Hubungan Antara Kecepatan Aliran (m/s) Terhadap RPM pada ODGV sudut 15°.....	82
Gambar 4.9	Grafik Hubungan Antara Kecepatan Aliran (m/s) Terhadap RPM pada ODGV sudut 30°.....	83
Gambar 4.10	Grafik Hubungan Antara Torsi (Nm) Terhadap Variasi Sudut (°) pada Turbin Savonius. ....	85
Gambar 4.11	Grafik Hubungan Antara Torsi (Nm) Terhadap Variasi Sudut (°) pada Lebar <i>Rectifier</i> 1/4 R dengan Variasi Sudut 0°.	85
Gambar 4.12	Grafik Hubungan Antara Torsi (Nm) Terhadap Variasi Sudut (°) pada Lebar <i>Rectifier</i> 1/2 R dengan Variasi Sudut 0°.	86
Gambar 4.13	Grafik Hubungan Antara Torsi (Nm) Terhadap Variasi Sudut (°) pada Lebar <i>Rectifier</i> 3/4 R dengan Variasi Sudut 0°.	86

Gambar 4.14	Grafik Hubungan Antara Torsi (Nm) Terhadap Variasi Sudut ( $^{\circ}$ ) pada Lebar <i>Rectifier</i> $1/4 R$ dengan Variasi Sudut $15^{\circ}$	. 87
Gambar 4.15	Grafik Hubungan Antara Torsi (Nm) Terhadap Variasi Sudut ( $^{\circ}$ ) pada Lebar <i>Rectifier</i> $1/2 R$ dengan Variasi Sudut $15^{\circ}$	. 88
Gambar 4.16	Grafik Hubungan Antara Torsi (Nm) Terhadap Variasi Sudut ( $^{\circ}$ ) pada Lebar <i>Rectifier</i> $3/4 R$ dengan Variasi Sudut $15^{\circ}$	. 88
Gambar 4.17	Grafik Hubungan Antara Torsi (Nm) Terhadap Variasi Sudut ( $^{\circ}$ ) pada Lebar <i>Rectifier</i> $1/4 R$ dengan Variasi Sudut $30^{\circ}$	. 89
Gambar 4.18	Grafik Hubungan Antara Torsi (Nm) Terhadap Variasi Sudut ( $^{\circ}$ ) pada Lebar <i>Rectifier</i> $1/2 R$ dengan Variasi Sudut $30^{\circ}$	. 90
Gambar 4.19	Grafik Hubungan Antara Torsi (Nm) Terhadap Variasi Sudut ( $^{\circ}$ ) pada Lebar <i>Rectifier</i> $3/4 R$ dengan Variasi Sudut $30^{\circ}$	. 90
Gambar 4.20	Grafik Hubungan Antara RPM Terhadap Torsi (Nm) pada Variasi Sudut $0^{\circ}$ .....	92
Gambar 4.21	Grafik Hubungan Antara RPM Terhadap Torsi (Nm) pada Variasi Sudut $15^{\circ}$ .....	92
Gambar 4.22	Grafik Hubungan Antara RPM Terhadap Torsi (Nm) pada Variasi Sudut $30^{\circ}$ .....	93
Gambar 4.23	Grafik Hubungan Antara Kecepatan Aliran (m/s) Terhadap Torsi (Nm) pada Variasi Sudut $0^{\circ}$ .....	94
Gambar 4.24	Grafik Hubungan Antara Kecepatan Aliran (m/s) Terhadap Torsi (Nm) pada Variasi Sudut $15^{\circ}$ .....	95

Gambar 4.25 Grafik Hubungan Antara Kecepatan Aliran (m/s) Terhadap Torsi (Nm) pada Variasi Sudut 30° .....	95
Gambar 4.26 Grafik Hubungan Antara <i>Coefficient of Power</i> (Cp) Terhadap <i>Tip Speed Ratio</i> (TSR) pada Variasi Sudut 0° .....	104
Gambar 4.27 Grafik Hubungan Antara <i>Coefficient of Power</i> (Cp) Terhadap <i>Tip Speed Ratio</i> (TSR) pada Variasi Sudut 15° .....	104
Gambar 4.28 Grafik Hubungan Antara <i>Coefficient of Power</i> (Cp) Terhadap <i>Tip Speed Ratio</i> (TSR) Pada Variasi Sudut 30° .....	105

## DAFTAR NOTASI

NOTASI	KETERANGAN	SATUAN
ODGV	: <i>Omni Directional Guide Vanes</i>	
RPM	: Jumlah putaran dan kecepatan aliran	
$\tau$	: Torsi	Nm
$C_P$	: <i>Coefficient of Power</i>	
$C_T$	: Koefisien Torsi	
TSR	: <i>Tip Speed Ratio</i>	
$M_{out}$	: Aliran massa yang masuk	
$M_{in}$	: Aliran massa yang keluar	
$V$	: Kecepatan aliran bebas	m/s
$\rho_{static}$	: tekanan statis	
$r$	: densitas fluida	
$D$	: Diameter pelat	cm
$\mu$	: viskositas air mutlak	
$T$	: Tinggi turbin	cm
$l$	: Panjang <i>blade</i>	m
$T_{available}$	: Daya teoritis yang tersedia pada angin	Nm
$T_{turbine}$	: Torsi yang dihasilkan oleh turbin rotor	Nm
$\pi$	: phi (dengan nilai $\frac{22}{7}$ atau 3,14)	
$\omega$	: Kecepatan sudut	rad/s
$\rho$	: Massa jenis air	kg/m <sup>3</sup>
$A$	: Area yang tersapu	m <sup>2</sup>
$s$	: <i>Separation gap</i>	m
$U$	: Kecepatan aliran bebas	m/s
$\pi$	: phi (dengan nilai $\frac{22}{7}$ atau 3,14)	
$R$	: Radius atau jari-jari turbin	m
$W_s$ atau $P$	: Daya mekanik turbin	J/s
$\eta$	: Efisiensi Turbin	%
KEF	: <i>Kinetic Energi Flux</i>	J/s
$F$	: Beban mekanis yang diterapkan pada rotor	n

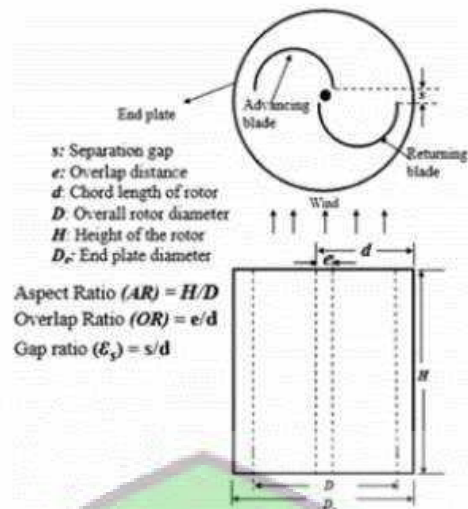
## BAB I

### PENDAHULUAN

#### 1.1 Latar Belakang

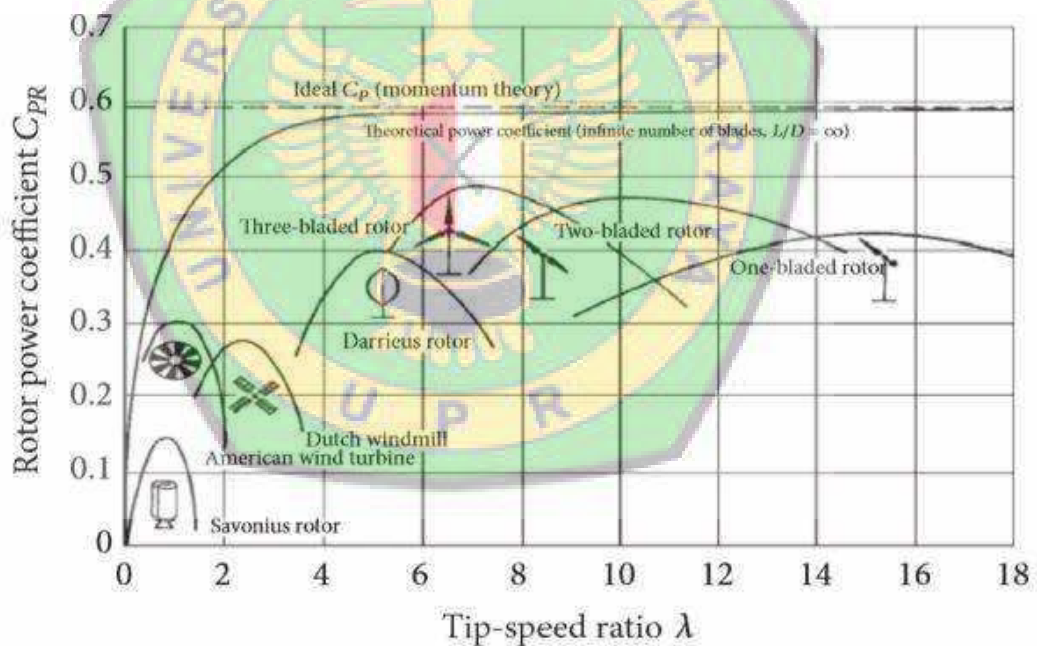
Turbin hidrokinetik menghasilkan listrik menggunakan energi kinetik alami dari sumber daya air dengan menggunakan berbagai jenis rotor. Biasanya, rotor ini dipasang pada struktur di tepi sungai atau ponton (dermaga) yang mengapung. Pembangkit listrik turbin hidrokinetik terutama ditujukan untuk penggunaan di lokasi pedesaan yang jauh dari jaringan listrik yang ada. Ini adalah alat yang berguna untuk meningkatkan kualitas hidup orang-orang di lokasi pedesaan dan untuk meningkatkan ekonomi lokal. Desain turbin arus air yang berbeda tersedia untuk mengolah energi dari air sungai atau kanal. Berdasarkan penyelarasan sumbu rotor yang sehubungan dengan aliran air, ada dua kelas kelompok turbin hidrokinetik. Mereka adalah Turbin Sumbu Horizontal (*axial turbines*) dan Turbin Sumbu Vertikal (*cross-flow turbines*). Turbin sumbu vertikal yang umum digunakan adalah Turbin Savonius, Turbin Heliks, Turbin Darrieus, dan Turbin H-Darrieus (Golecha *et al.*, 2011).

Salah satu faktor penting dalam pengaruh gerak turbin ialah distribusi kecepatan aliran air sungai, karena pada setiap kedalaman air sungai kecepatannya berbeda-beda. Untuk Jenis Turbin Savonius (Gambar 1.1) yang memanfaatkan gaya *drag* memiliki daya putar rotor dan koefisien torsi yang rendah jika diterapkan di area yang memiliki kecepatan distribusi aliran air yang rendah. (Gambar 1.2).



Sumber: Alom and Saha, (2018)

**Gambar 1.1 Desain Turbin Savonius**



Sumber: Sahim et al., (2014)

**Gambar 1.2 Grafik Performa Daya Putar Rotor terhadap Ratio Kecepatan**

Omni Directional Guide Vanes (ODGV) adalah salah satu pengarah sumbu vertikal dengan kemiringan *blade* yang dapat divariasikan. ODGV menjadi alternatif untuk meningkatkan performa turbin Savonius (Siregar et al, 2020). Variasi

kemiringan *blade* pada ODGV mampu meningkatkan aliran air serta mengurangi nilai torsi negatif dibandingkan turbin Savonius Konvensional (Wicaksono and Tjahjana, 2017).

Maka dari itu untuk meningkatkan kinerja rotor dan torsi dari turbin hidrokinetik Savonius maka turbin dikombinasikan dengan *Omni Directional Guide Vanes* (ODGV) yang berbeda-beda sudutnya.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah yang akan dibahas adalah:

- a. Bagaimana desain dari penambahan *Omni Directional Guide Vanes* dengan sudut yang bervariasi pada turbin hidrokinetik Savonius?
- b. Bagaimana perbandingan kinerja turbin hidrokinetik Savonius dengan turbin hidrokinetik Savonius yang telah ditambahkan *Omni Directional Guide Vanes* dengan sudut yang bervariasi?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah sebagai berikut:

- a. Membuat desain dari penambahan *Omni Directional Guide Vanes* dengan sudut yang bervariasi pada turbin hidrokinetik Savonius.
- b. Membandingkan kinerja turbin hidrokinetik Savonius dengan turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan *Omni Directional Guide Vanes* dengan sudut yang bervariasi.

#### 1.4 Batasan Masalah

Beberapa batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

- a. Pengujian dilakukan di *flume* berbentuk prisma, di Laboratorium Hidrologi dan Hidraulika Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
- b. Sebatas peninjauan hidrodinamika tanpa peninjauan lebih lanjut tentang listrik yang dihasilkan.

#### 1.5 Manfaat Penelitian

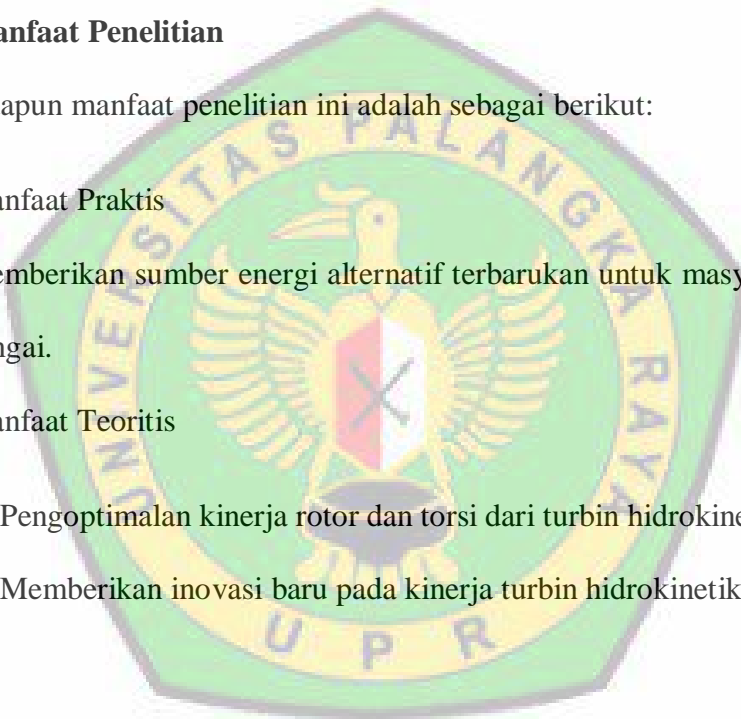
Adapun manfaat penelitian ini adalah sebagai berikut:

##### 1. Manfaat Praktis

Memberikan sumber energi alternatif terbarukan untuk masyarakat di pinggir sungai.

##### 2. Manfaat Teoritis

- a. Pengoptimalan kinerja rotor dan torsi dari turbin hidrokinetik Savonius.
- b. Memberikan inovasi baru pada kinerja turbin hidrokinetik Savonius.



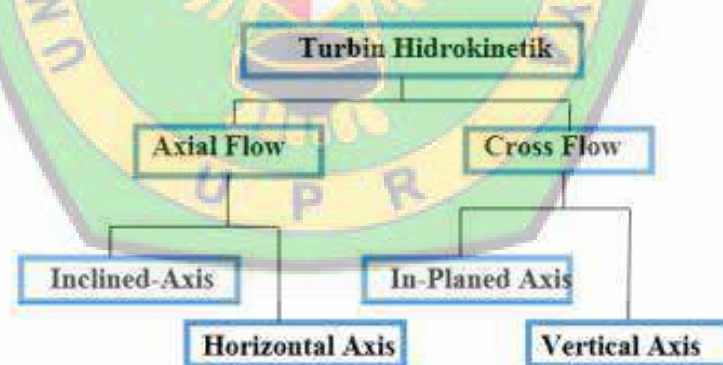
## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Jenis - Jenis Turbin Hidrokinetik

Turbin hidrokinetik menghasilkan daya mekanis dari air yang mengalir tanpa bendungan. Pada dasarnya prinsip kerjanya hampir sama dengan turbin angin yang bekerja pada angka *Froude* rendah. Turbin hidrokinetik digunakan untuk memanfaatkan sumber energi terbarukan seperti sungai, aliran drainase, arus pasang surut, dan arus lautan. Energi mekanik yang telah dihasilkan dari turbin hidrokinetik, kemudian diubah menjadi listrik menggunakan generator (Hantoro *et al.*, 2018).

Jenis Turbin Hidrokinetik dibedakan menjadi 2, yaitu: Turbin Sumbu Horizontal (*axial turbines*) dan Turbin Sumbu Vertikal (*cross-flow turbines*).



Sumber: Febrianto and Santoso, (2017)

**Gambar 2. 1** Klasifikasi Turbin Hidrokinetik

Masing-masing tipe turbin pada Gambar 2.1 menjelaskan model *Horizontal Axis* dan *Vertical Axis*. Jenis Savonius memiliki daya putaran yang sangat rendah namun gaya *drag* berfungsi menangkap aliran arus fluida. Kekurangan turbin Savonius yang memanfaatkan gaya *drag* yaitu tidak dapat berputar kencang bila kurang angin

dan tidak baik diterapkan pada area yang memiliki kecepatan rendah. Sedangkan untuk jenis turbin Darrieus memiliki efisiensi dan performansi yang lebih tinggi pada kecepatan arus rendah, tetapi memiliki *self-start* buruk sehingga dibutuhkan mekanisme *variable pitch* untuk mengoptimalkan gaya *lift* yang bekerja. Turbin jenis Darrieus dapat mengubah torsi ketika *foil* bergerak relatif lebih cepat terhadap aliran yang datang dan beroperasi pada *low Tip Speed Ratio*. Sehingga memiliki efisiensi yang lebih besar daripada turbin yang memanfaatkan *drag* (Febrianto and Santoso, 2017).

Topografi di daerah tepi sungai provinsi Kalimantan Tengah memiliki daerah yang cenderung mempunyai *head* yang rendah, keadaan seperti ini disarankan untuk penggunaan teknologi tepat guna untuk PLTA berskala kecil seperti turbin *cross-flow* yang dapat digunakan untuk jaringan irigasi (Nindito and Kamiana, 2010).

Kecepatan aliran minimum berada pada dinding saluran seperti dasar saluran dan semakin ke permukaan aliran kecepatan semakin besar (Nindito *et al.*, 2008; Nindito, 2009).

Dalam sebuah uji eksperimental yang dilakukan Pratama *et al.*, (2021), penggunaan *truncated cone* pada turbin Archimedes Spiral dapat meningkatkan gaya tangkap aliran. Sebuah inovasi turbin Darrieus dengan penyesuaian desain distribusi kecepatan aliran menggunakan blade berbentuk lengkung dan garis lurus mampu meningkatkan laju putaran yang tinggi. Namun dibutuhkan *self-starting* yang maksimal sehingga mencapai nilai RPM yang lebih baik (Wardani *et al.*, 2020). Studi yang dilakukan Yudistira *et al.*, (2021a) menggunakan sebuah inovasi dari turbin

Savonius pada pengujian dengan distribusi kecepatan aliran yang sama membuktikan bahwa turbin jenis baru yang digunakan mampu bekerja lebih baik.

Uji eksperimental terhadap turbin Tornado Savonius, sebuah inovasi pengembangan turbin Savonius pada bagian *blade* turbin menghasilkan area tangkap aliran menjadi lebih baik (Yudistira *et al.*, 2021b). Turbin DNA, sebuah inovasi baru dari Turbin Gorlov mampu menghasilkan nilai torsi yang lebih baik dari kinerja turbin Gorlov (Antomo *et al.*, 2020). Turbin Articulating H-Rotor merupakan sebuah inovasi baru dari turbin H-Darrieus, mampu meningkatkan *self starting* pada turbin pada saat kemiringan sudut *blade*  $30^\circ$  (Rianti *et al.*, 2021). Variasi jumlah bilah pada turbin Ventilator mampu meningkatkan kinerja turbin menjadi lebih baik (Sucie *et al.*, 2022a). Turbin Ventilator dengan luas bidang tangkap yang lebih besar mampu memberikan performa paling baik (Sucie *et al.*, 2022b).

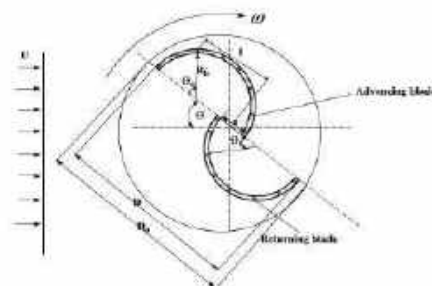
Zhipeng *et al.*, (2013) melakukan studi numerikal terhadap analisis simulasi turbin Savonius menggunakan bilah untuk berputar sendiri, kemiringan bilah yaitu  $40^\circ$ ,  $80^\circ$ ,  $120^\circ$ ,  $140^\circ$ ,  $155^\circ$ ,  $170^\circ$  dan menghasilkan torsi yang relatif tinggi serta mengurangi torsi negatif pada keseluruhan turbin, nilai torsi 0 berada di sudut  $120^\circ$  sampai  $145^\circ$  apabila bilah di bawah aliran sedangkan dampak aliran pada bilah menghasilkan torsi efektif dan nilai torsi 0 diantara sudut  $-30^\circ$  ke  $85^\circ$ .

Analisis simulasi desain optimal jenis baru tipe turbin Savonius menghasilkan peningkatan torsi yang besar akibat tekanan turbin yang menggunakan penyerahan memiliki perbedaan besar pada kedua sisi bilah apabila dibandingkan dengan turbin tanpa penyearah, jika dibandingkan dengan rotor turbin Savonius konvensional, rotor

yang telah dioptimalkan menghasilkan nilai  $C_p$  lebih tinggi yaitu sebesar 0,3375 (Tang *et al.*, 2012).

Turbin Savonius meskipun memiliki daya rotor dan koefisien torsi yang rendah akan tetapi rotor Savonius memiliki kemampuan awal yang baik, kesederhanaan desain, serta biaya yang ekonomis. Untuk kinerja turbin Savonius sendiri dapat ditingkatkan dengan cara mengoptimalkan parameter dasar seperti Aspek Rasio (AR), Jarak *Overlap*, Bilangan *Reynolds*, dan Nomor Bilah (Alom and Saha, 2018).

Rotor Savonius adalah jenis turbin aliran sumbu vertikal. Rotor turbin Savonius konvensional dipasang pada poros atau kerangka berputar, terdiri dari beberapa bilah setengah lingkaran. Rotor Savonius ditemukan oleh insinyur Finlandia Sigurd Johannes Savonius pada 1925, merupakan salah satu jenis turbin aliran yang paling sederhana. Secara aerodinamis, rotor Savonius adalah perangkat berbasis *drag*, dan terdiri dari dua atau tiga *scoops* (juga dikenal *bucket* atau *blade*). Tampak atas dari penampang rotor Savonius yang memiliki jumlah 2 bilah terlihat seperti berbentuk “S”. Bilah pada rotor Savonius mengalami lebih sedikit hambatan ketika bergerak searah dengan arah aliran karena bentuknya yang melengkung. Gaya *drag* yang berbeda membuat rotor Savonius berputar (Alom and Saha, 2018).



Sumber: El-Askary *et al.*, (2015)

**Gambar 2.2 Tampak Atas Diagram Skema Rotor Turbin Hidrokinetik**

**Savonius**

Macam-macam rincian desain turbin dengan berbagai sumber: beberapa parameter geometri misalnya aspek rasio, yang didefinisikan parameter antaranya adalah tinggi rotor ( $H$ ), diameter rotor adalah ( $D$ ), jarak *overlap*  $\beta$ , yang dapat dinyatakan sebagai jarak *overlap*, dan lingkaran diameter  $2R_b$  yang mempengaruhi kinerja rotor Savonius, bisa dilihat pada gambar 2.2. Banyak perubahan yang dilakukan dalam studi literature guna meningkatkan kinerja rotor Savonius juga dipertimbangkan (El-Askary *et al.*, 2015). Konfigurasi rotor aliran Savonius ditunjukkan pada Gambar 2.3. Rotor aliran Savonius terdiri dari dua bilah *blade* dengan tinggi 2340 mm, diameter 1080 mm, jarak *overlap* 0,196 mm dan jarak antara setiap rotor aliran Savonius 1400 mm (Huang and Chen, 2015).

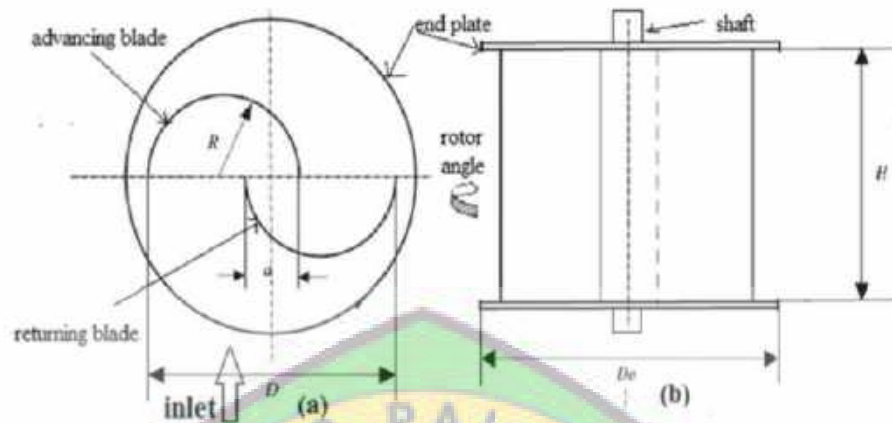


Sumber: Huang and Chen, (2015)

**Gambar 2.3 Geometri Rotor Savonius**

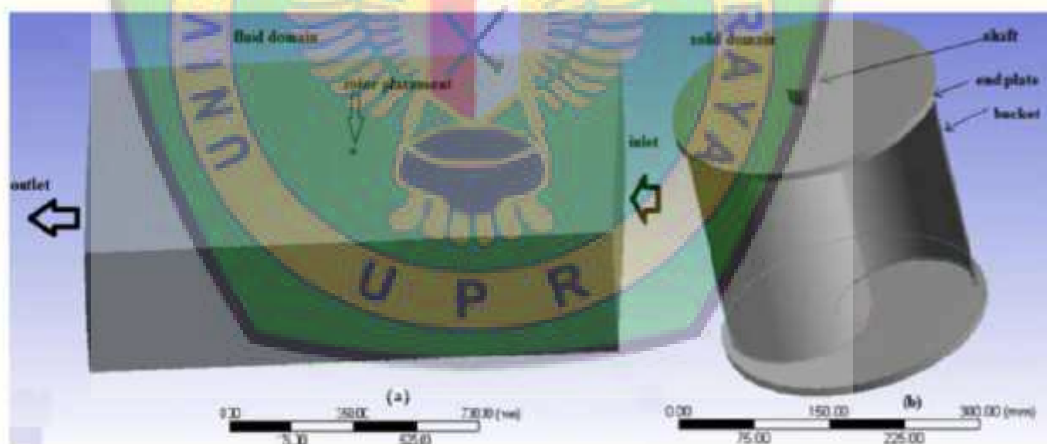
Dua bilah kecil rotor Savonius bentuk *bucket* terdiri dari *end plate* dan poros turbin ditunjukkan pada Gambar 2.4 dan rincian gambar 3 dimensinya beserta dengan daerah fluida di Gambar 2.5 memiliki diameter rotor 245 mm, tinggi rotor 245 mm,

diameter *end plate* ( $D_0$ ) 269,5 mm, diameter poros 30 mm, ketebalan bilah 3 mm, ketebalan *end plate* 10 mm dan jarak *overlap* 36,75 mm (Kumar and Sarkar, 2016).



Sumber: Kumar and Sarkar, (2016)

**Gambar 2.4 Rincian Desain Turbin Savonius**

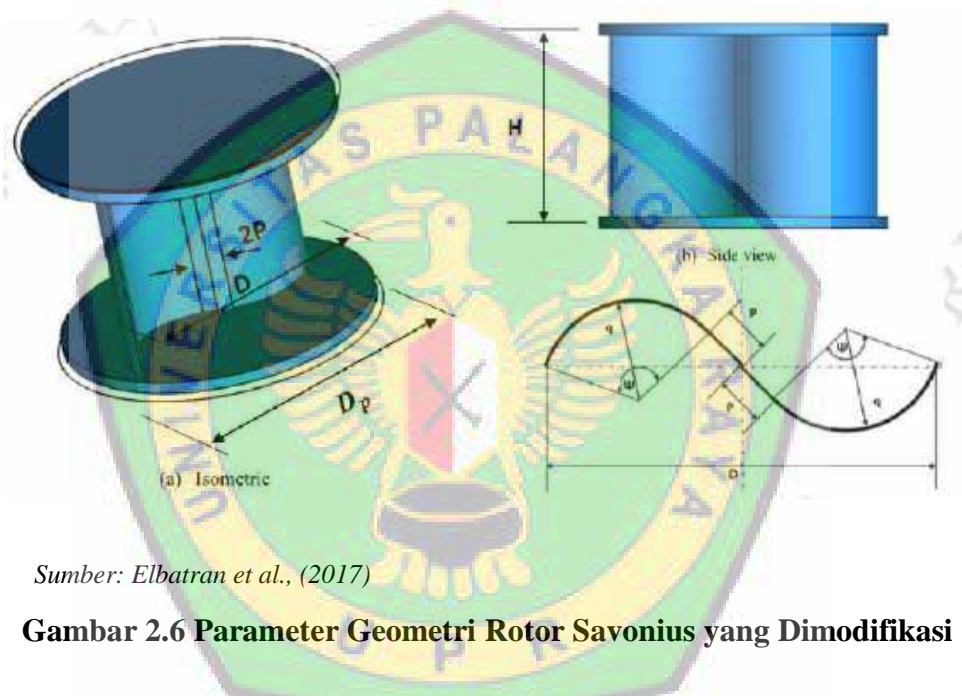


Sumber: Kumar and Sarkar, (2016)

**Gambar 2.5 Desain 3-D Turbin Savonius bagian Rotor Beserta Daerah Fluidanya**

Penelitian yang dilakukan oleh adalah penelitian rotor Savonius yang paling luas. Dalam penelitian itu dilakukan pengamatan mengenai hasil kinerja rotor

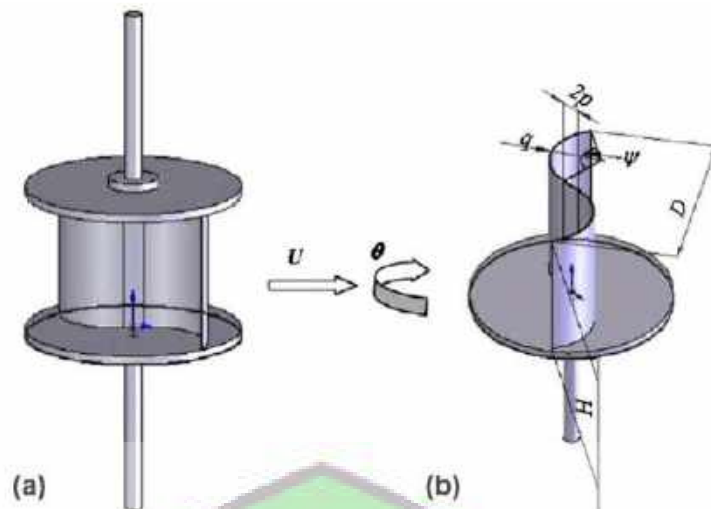
Savonius yang dimodifikasi dengan jarak *overlap*. Aspek rasio ( $H/D$ ), faktor bentuk bilah ( $p/q$ ), sudut busur bilah ( $\psi$ ). Ditemukan satu tahapan memodifikasi rotor Savonius (tanpa poros pada kedua pelat) dengan parameter geometri dari,  $H/D = 0,7$ ,  $\psi = 124^\circ$ ,  $p/q = 0,2$  dan tidak memiliki jarak *overlap* ditunjukkan pada Gambar 2.6. Konfigurasi ini terdapat dalam turbin yang memiliki diameter ( $D$ ) = 0,245 m, tinggi ( $H$ ) = 0,17 m, dan diameter pelat  $D_p = 1.1$  (Elbatran *et al.*, 2017).



Sumber: Elbatran *et al.*, (2017)

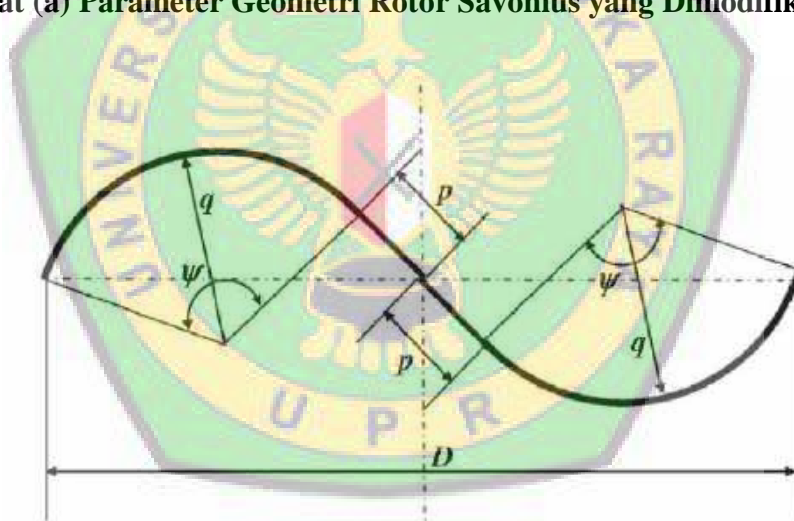
**Gambar 2.6 Parameter Geometri Rotor Savonius yang Dimodifikasi**

Gambar 2.7 dan 2.8 menunjukkan bahwa dasar modifikasi rotor Savonius tanpa poros yang digunakan dalam penelitian ini adalah isometri rotor Savonius yang dimodifikasi. Modifikasi rotor Savonius terbuat dari pipa aluminium. Ketebalan dari bilah adalah 2 mm. Pada bagian atas rotor terdiri dari pelat akrilik dengan ketebalan 10 mm. Dimodifikasi rotor Savonius tanpa menggunakan poros hingga kedua bagian bilah yang terbuat dari pelat akrilik. Penelitian ini dilakukan guna meningkatkan *coefficient of power* pada satu susunan dari rotor Savonius yang telah dimodifikasi (Golecha *et al.*, 2011).



Sumber: Golecha et al., (2011)

**Gambar 2.7 Rotor Savonius yang Dimodifikasi Tanpa Poros Hingga Akhir Pelat (a) Parameter Geometri Rotor Savonius yang Dimodifikasi (b)**



Sumber: Golecha et al., (2011)

**Gambar 2.8 Tampak Atas Rotor Savonius yang Dimodifikasi Tanpa Poros Hingga Akhir Pelat**

Dua buah susunan rotor (dengan  $0^0$ , pergeseran fase dan  $90^0$  pergeseran fase) dan tiga buah susunan rotor (aspek rasio rotor adalah 0,7 untuk susunan kedua dan ketiga), dilakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh pelat *deflector* pada posisi

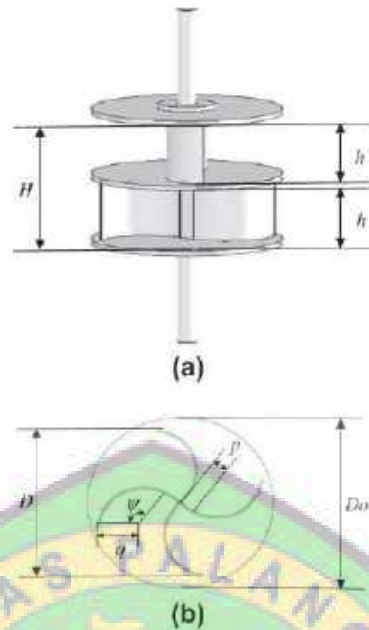
optimal. Dua dan tiga susunan modifikasi dari rotor Savonius tanpa poros terbuat dari bilah alumunium dengan ketebalan 2 mm. Dua dan tiga susunan modifikasi rotor Savonius memiliki parameter geometri yang sama dengan satu susunan modifikasi rotor Savonius. Pada Gambar 2.9 dan 2.10 menunjukkan dua dan tiga susunan rotor Savonius dengan aspek rasio rotor masing – masing sebesar 0,7 (Golecha *et al.*, 2011).



Sumber: Golecha *et al.*, (2011)

**Gambar 2.9 Modifikasi Tiga Susunan Rotor Savonius (a) Tampilan *Isometric***

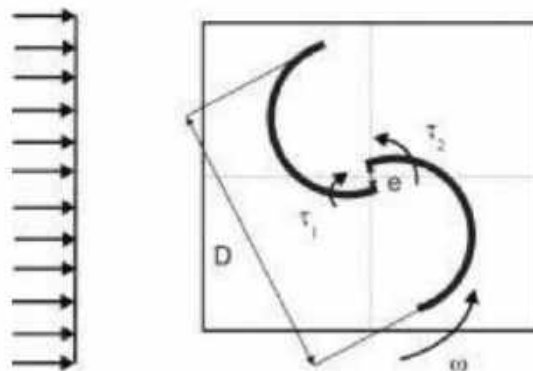
**(b) Tampak Atas**



Sumber: Golecha et al., (2011)

**Gambar 2.10 Modifikasi Dua Susunan Rotor Savonius (a) Tampilan *Isometric*  
(b) Tampak Atas**

Gambar 2.11 menunjukkan konfigurasi rotor Savonius, dalam gambar ini menjelaskan mengenai variabel yang terlibat dalam sistem. Seperti yang terlihat, ketika kecepatan mengenai pada rotor Savonius menghasilkan dua torsi satu sisi dari *blade* cembung ( $\tau_1$ ) dan bilah cekung ( $\tau_2$ ) (Maldonado et al., 2014).



Sumber: Maldonado et al., (2014)

**Gambar 2.11 Ilustrasi Sistemik Rotor Savonius**

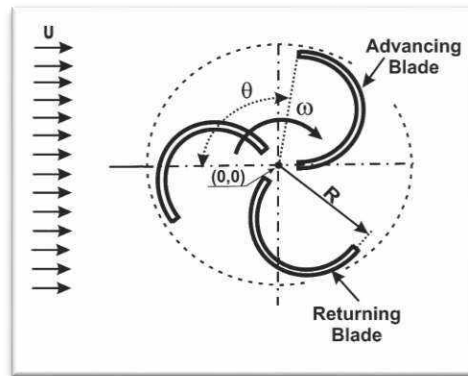
Dalam penelitian terdahulu telah menunjukkan bahwa turbin Savonius memiliki kelemahan yang cukup besar dibandingkan dengan turbin konvensional khususnya memiliki efisiensi yang rendah dan gaya awal yang buruk. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan pelat pengarah dan rintangan yang diletakkan pada bagian depan turbin dapat meningkatkan efisiensi. Menggunakan perubahan kontur mungkin memiliki peluang yang lebih baik. Hal ini membutuhkan banyak parameter yang akan dipertimbangkan dalam langkah selanjutnya. Dalam penelitian selanjutnya bentuk bilah akan dimodifikasi. Proses optimasi bergantung pada variabel desain yang menggambarkan posisi dan sudut pelat, bentuk bilah (garis kerangka), serta kesenjangan lebar  $S$  ditunjukkan pada Gambar 2.12 dan 2.13 (Mohamed *et al.*, 2011).



Sumber: Mohamed *et al.*, (2011)

**Gambar 2.12 Deskripsi Sistematika dan Parameter Utama dalam Dua Bilah**

**Rotor Savonius**

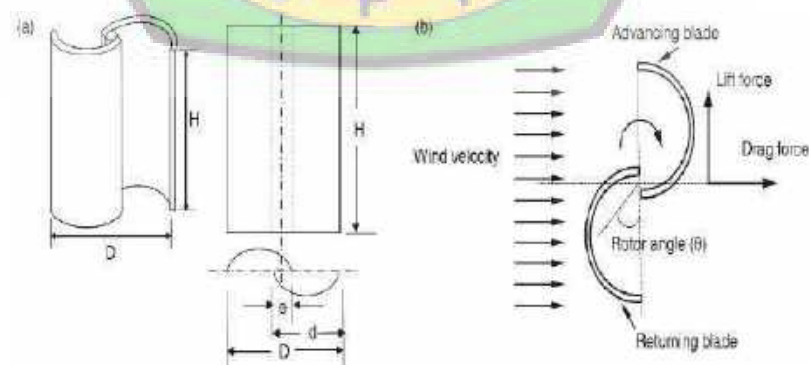


Sumber: Mohamed et al., (2011)

**Gambar 2.13 Deskripsi Sistematis dan Parameter Utama dalam Tiga Bilah**

### Rotor Savonius

Gambar 2.14 menunjukkan dua tipe *blade* rotor Savonius dan gaya *drag* dan gaya *lift* pada rotor Savonius. Terlepas dari kekurangan dan efisiensi yang rendah, banyak ditemukan pengaplikasian turbin ini di negara berkembang. Pada bagian ini, parameter dasar rotor seperti *force coefficient*, *torque coefficient*, *drag and lift coefficient*, untuk menunjukkan kinerja dari rotor Savonius konvensional data (Roy and Saha, 2013).

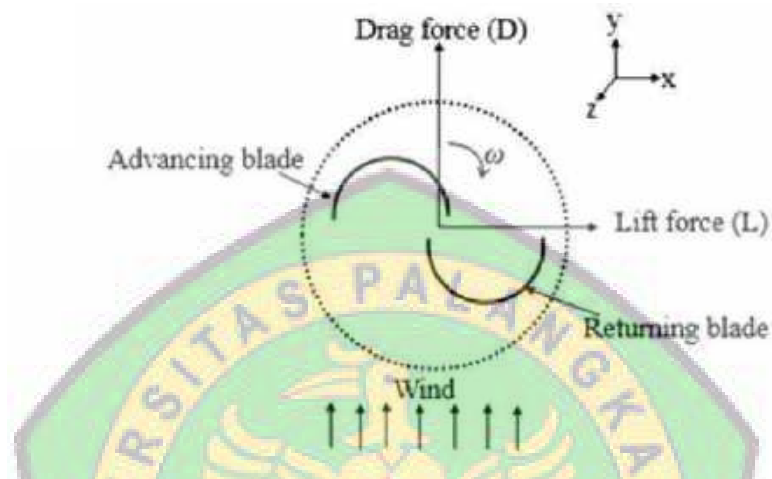


Sumber: Roy and Saha, (2013)

**Gambar 2.14 Dua Tipe Bilah Rotor Savonius (a) Gaya Drag dan Lift dalam**

**Rotor Savonius (b)**

Gaya *drag* didefinisikan sebagai gaya paralel dari air yang masuk, sedangkan gaya *lift* didefinisikan sebagai gaya yang tegak lurus terhadap arah aliran air yang masuk akibat dari perbedaan tekanan yang menyebar antara permukaan bilah atas dan bawah, ditunjukkan pada Gambar 2.15 (Alom and Saha, 2018).



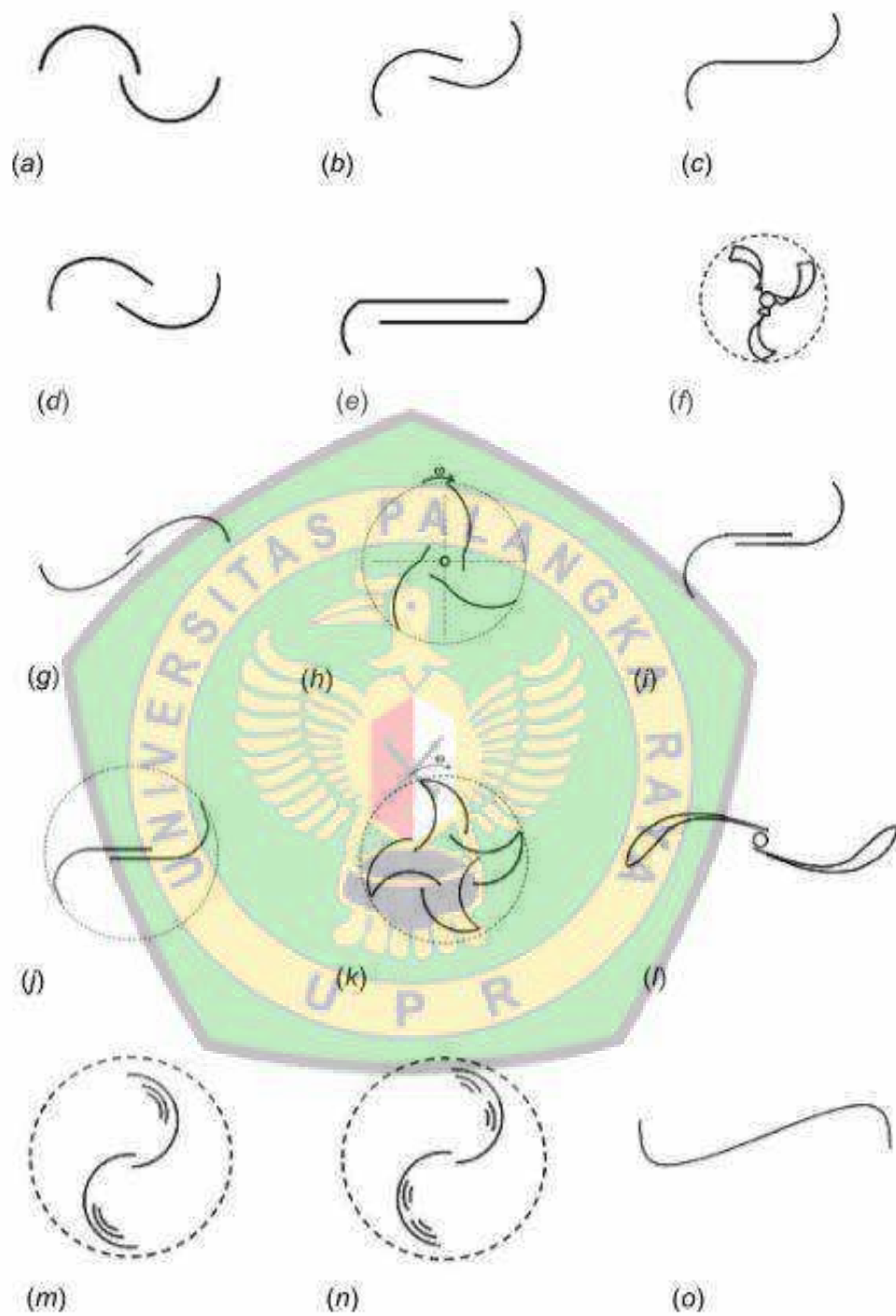
Sumber: Alom and Saha, (2018)

**Gambar 2.15 Gaya Drag dan Lift pada Rotor Savonius**

## 2.2 Jenis - Jenis Pengarah

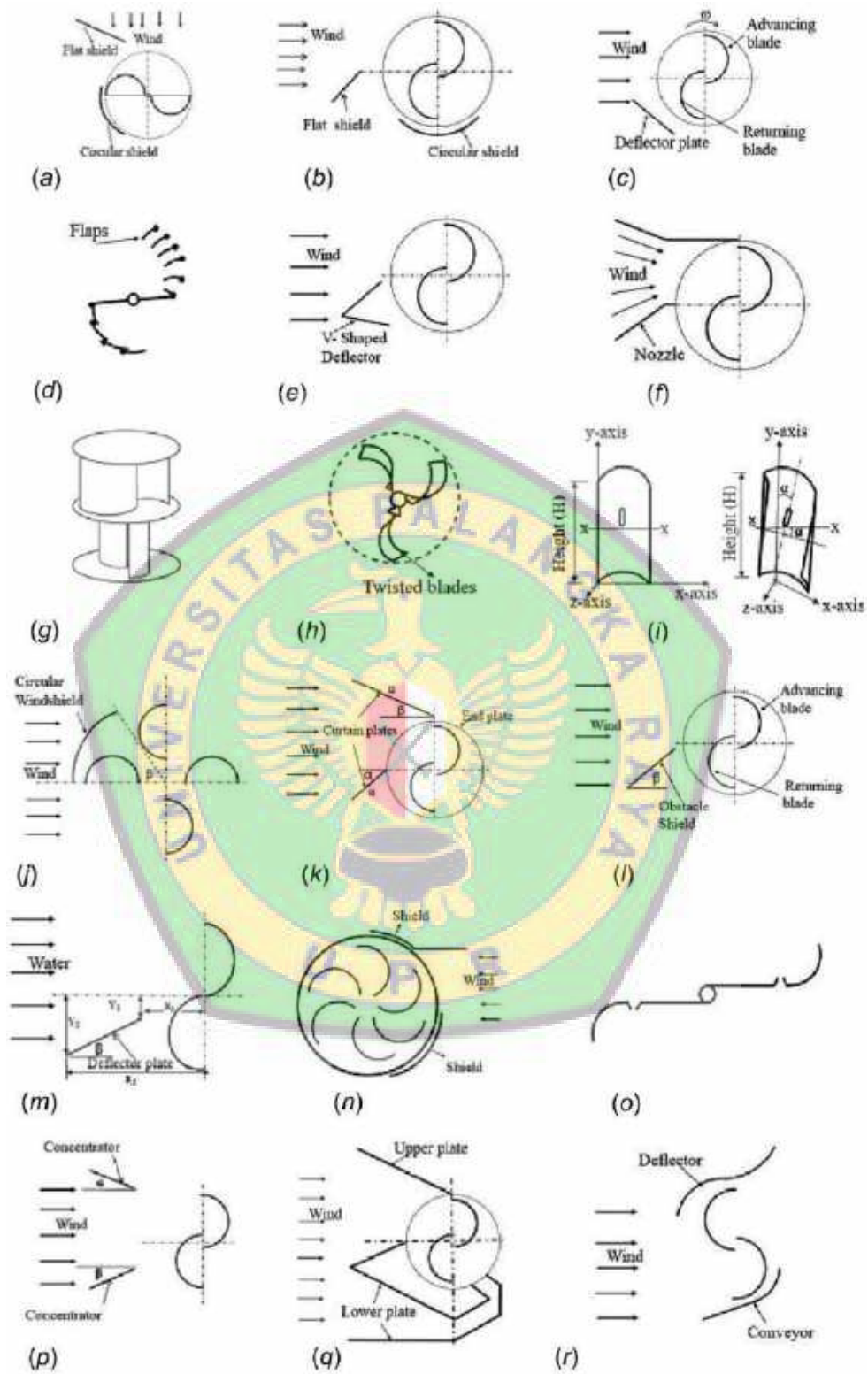
Untuk meningkatkan kinerja dari rotor Savonius, terdapat beberapa penelitian terdahulu yang menggunakan kategori berbeda pada jenis bilah. Kategori bentuk bilah seperti turbin konvensional yang berbentuk semi lingkaran, *bach*, *benesh*, *twisted*, *ellipcial*, *fishgid rotor*, *modified bach*, *brozinus*, *airfoil shape blade*, *multiple quarter*, *multiple miniature semicircular*, dan *spline* (Alom and Saha, 2018).

Pada Gambar 2.16 bisa dilihat jenis-jenis pengarah yang telah diteliti oleh peneliti terdahulu guna meningkatkan kinerja turbin Savonius. dan juga teknik augmentasi pada gambar 2.17 guna Meningkatkan kinerja rotor turbin Savonius.



Sumber: Alom and Saha, (2018)

**Gambar 2.16** Berbagai Jenis Pengaruh

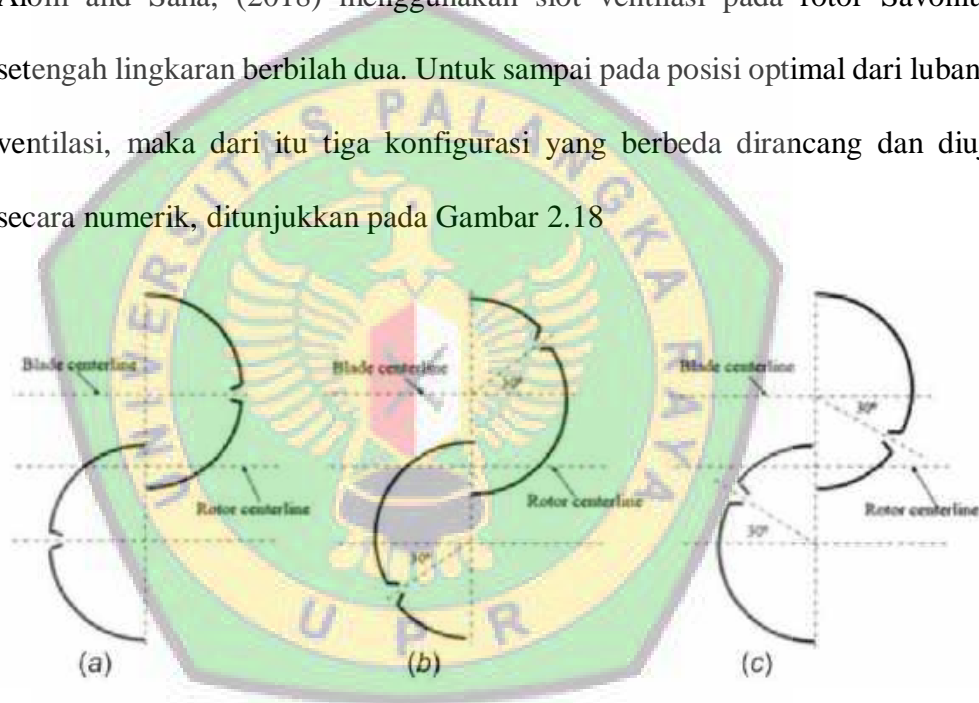


Sumber: Alom and Saha, (2018)

Gambar 2.17 Berbagai Teknik Augmentasi

### 2.2.1 Jenis Pengarah *Venting Slots*

Menurut Plourde *et al.*, (2012) menyatakan bahwa menggunakan jenis Pengarah *Venting Slots* yang dianggap lebih efektif dan desainnya lebih sederhana dari pada pengarah yang digunakan oleh peneliti terdahulu rotor telah diuji tanpa dan dengan slot ventilasi untuk meminimalkan gaya tunggu dorong pada *blade* yang kembali. Terinspirasi oleh karya Plourde *et al.*, (2012), Alom and Saha, (2018) menggunakan slot ventilasi pada rotor Savonius setengah lingkaran berbilah dua. Untuk sampai pada posisi optimal dari lubang ventilasi, maka dari itu tiga konfigurasi yang berbeda dirancang dan diuji secara numerik, ditunjukkan pada Gambar 2.18



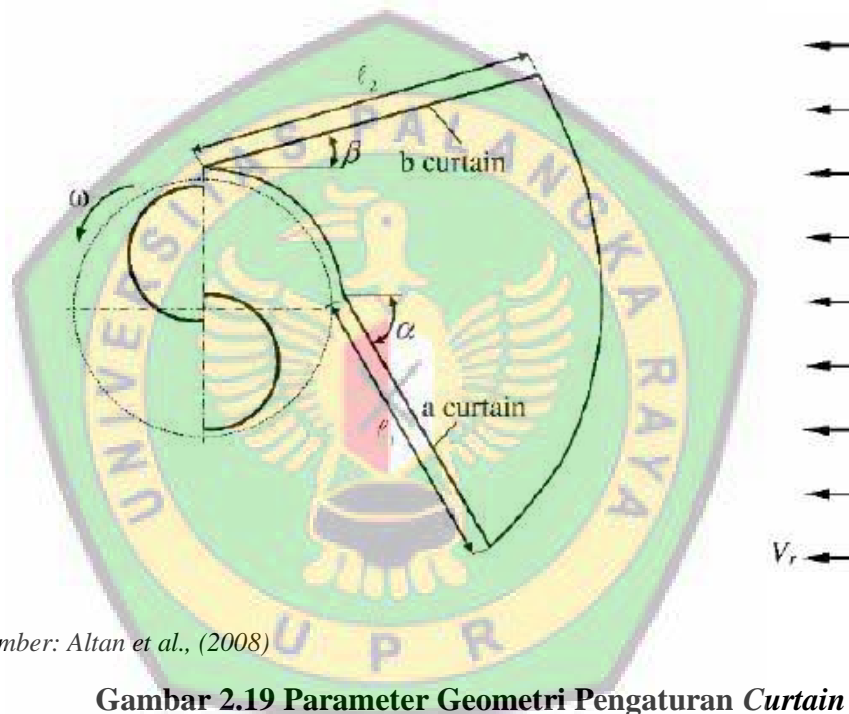
Sumber: Alom and Saha, (2018)

**Gambar 2.18 *Venting Slots* Tiga Posisi Berbeda pada Profil Berblade Setengah Lingkaran (a) Desain-I, (b) Desain-II, dan (c) Desain-III**

### 2.2.2 Jenis Pengarah *Curtain*

Desain pengaturan *curtain* adalah sebuah inovasi baru yang diteliti untuk meningkatkan efisiensi dari rotor aliran Savonius dengan meminimalisir adanya torsi negatif pada rotor. Pada Gambar 2.19 merupakan gambaran dari

parameter geometris pada pengaturan *curtain*. Pada *blade curtain* (a dan b *curtain*) adalah pelat yang membelokkan aliran yang ditunjukkan pada Gambar 2.20. Susunan pembentuk pelat *deflector* (a dan b *curtain*) sangat sederhana karena hanya terdiri dari pelat lembaran datar. Pengaturan *curtain* telah didesain sedemikian rupa agar tidak menghilangkan bagian dari turbin aliran Savonius yang menangkap aliran dari semua arah (Altan *et al.*, 2008).

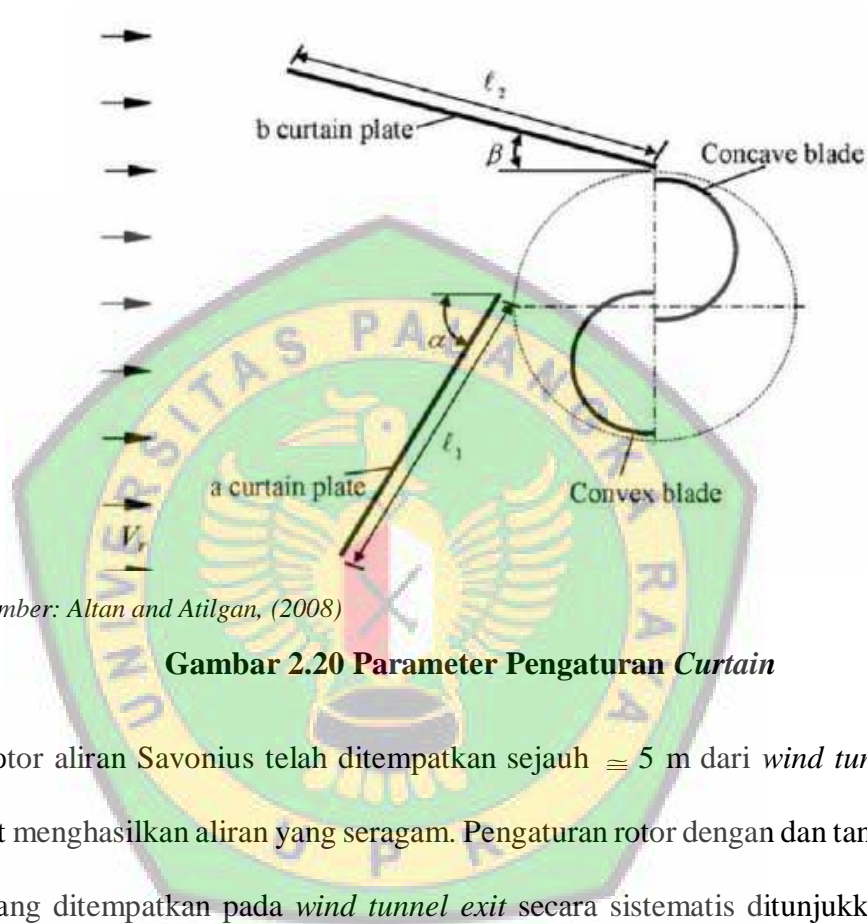


Sumber: Altan *et al.*, (2008)

**Gambar 2.19 Parameter Geometri Pengaturan *Curtain***

Ketika torsi pada bilah cembung dari rotor Savonius dibandingkan dengan torsi pada bilah cekung, tampaknya pada bilah cembung memiliki torsi yang lebih rendah karena memiliki koefisien resistensi yang berbeda pada permukaannya. Oleh sebab itu rotor Savonius berputar ke arah torsi positif pada bilah cekung. Untuk meningkatkan koefisien kinerja rotor Savonius dan akibat dari kecepatan aliran, pengaturan *curtain* telah ditempatkan di depan rotor Savonius terlihat pada Gambar 2.20, sehingga dapat mencegah torsi negatif

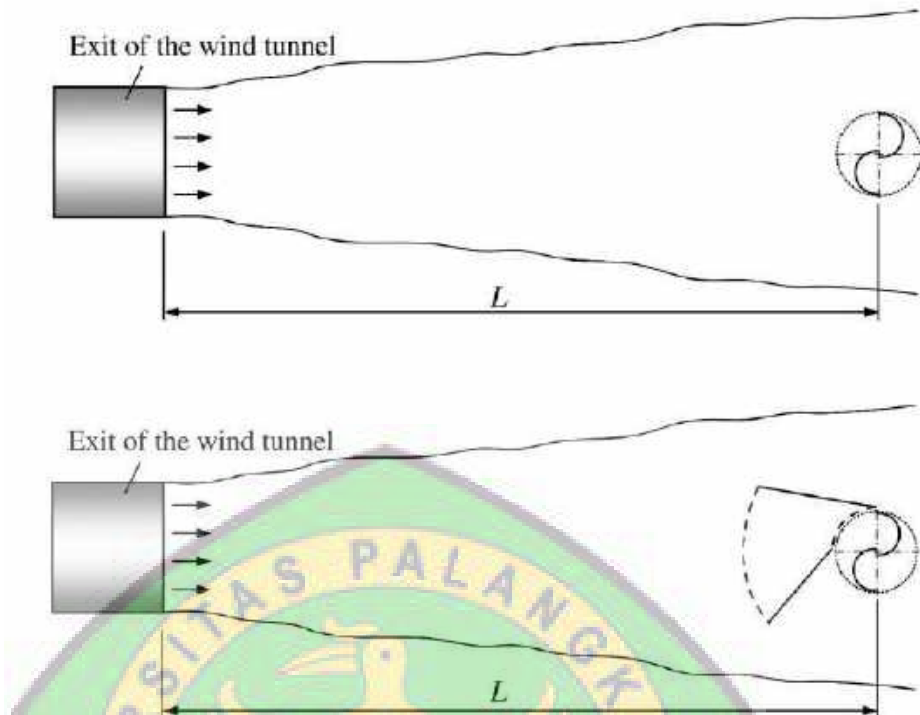
yang terjadi dalam putaran yang searah dengan arah berputarnya rotor. Dalam pengaturan *curtain* ini  $\alpha - \beta$  mewakili sudut pelat *curtain* sementara  $\ell_1$  dan  $\ell_2$  adalah panjang pelat *curtain* (Altan and Atilgan, 2008).



Sumber: Altan and Atilgan, (2008)

**Gambar 2.20 Parameter Pengaturan *Curtain***

Rotor aliran Savonius telah ditempatkan sejauh  $\cong 5$  m dari *wind tunnel exit* agar dapat menghasilkan aliran yang seragam. Pengaturan rotor dengan dan tanpa pelat *curtain* yang ditempatkan pada *wind tunnel exit* secara sistematis ditunjukkan pada Gambar 2.21. Rotor dengan dan tanpa pelat *curtain* telah ditempatkan pada posisi yang sama pada setiap pengukuran (Altan and Atilgan, 2008).

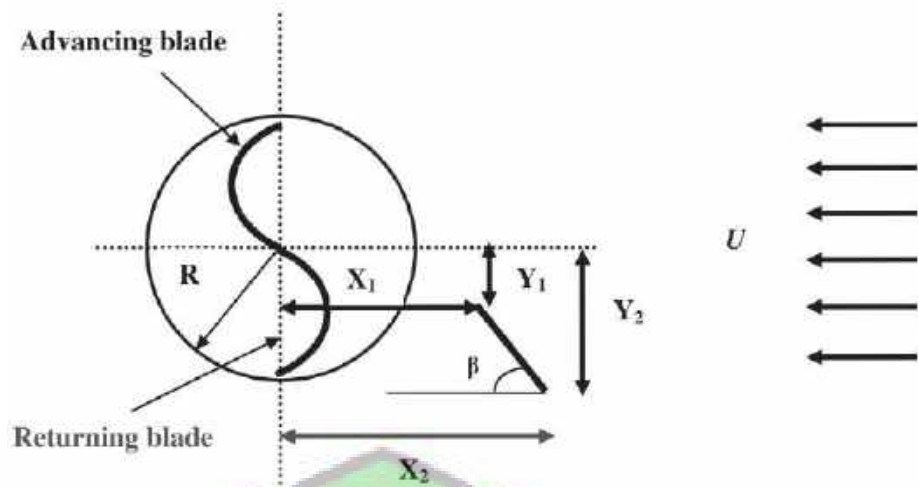


Sumber: Altan and Atilgan, (2008)

**Gambar 2.21 Sistematis Pengaturan Rotor dengan dan tanpa *Curtain***

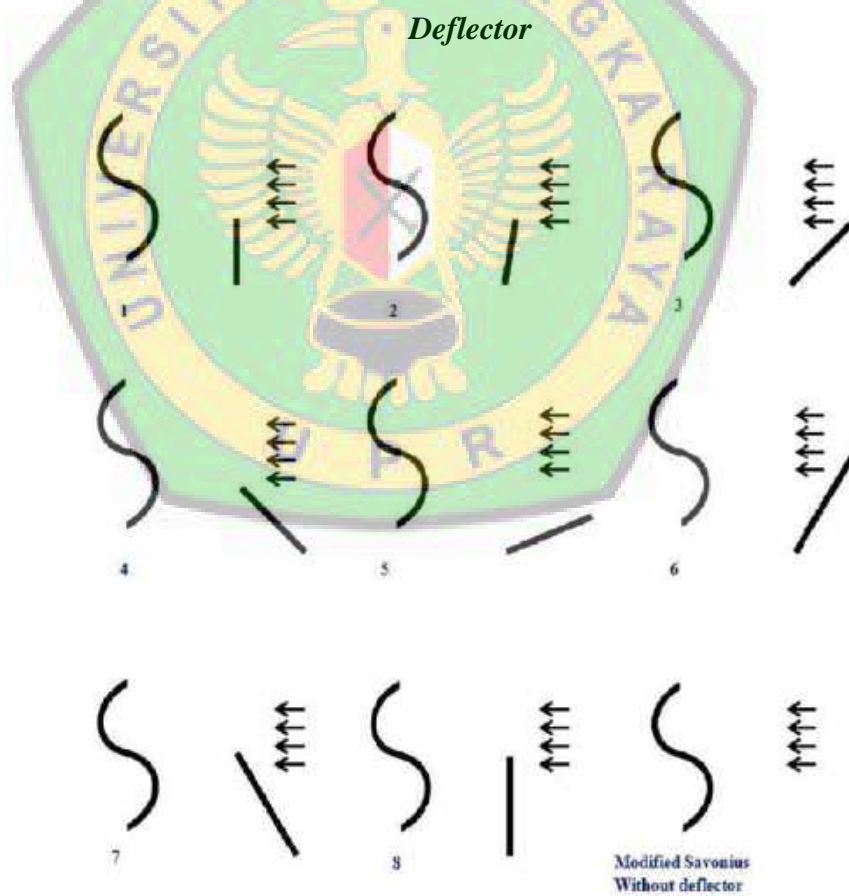
### 2.2.3 Jenis Pengarah *Deflector*

Percobaan dilakukan untuk mengidentifikasi posisi pelat *deflector* pada saluran air untuk menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi pada rotor Savonius yang dimodifikasi. Gambar 2.22 menunjukkan skema parameter geometri rotor Savonius yang dimodifikasi dengan penambahan pelat *deflector*. Didalam penelitian didapatkan delapan posisi pelat *deflector* yang berbeda ditunjukkan pada Gambar 2.23, dipercobaan yang dilakukan Mohamed *et al.*, (2010) melakukan analisis numerik untuk melindungi bilah kembali secara optimal. Dalam penelitian M. H. Mohamed *et al.*, (2010) terdapat dua dan tiga bilah rotor Savonius konvensional (tanpa poros dan tanpa ujung pelat) yang dianalisis dalam aliran.



Sumber: Golecha et al., (2011)

Gambar 2.22 Skema Modifikasi Rotor Savonius dengan Ruang Pelat

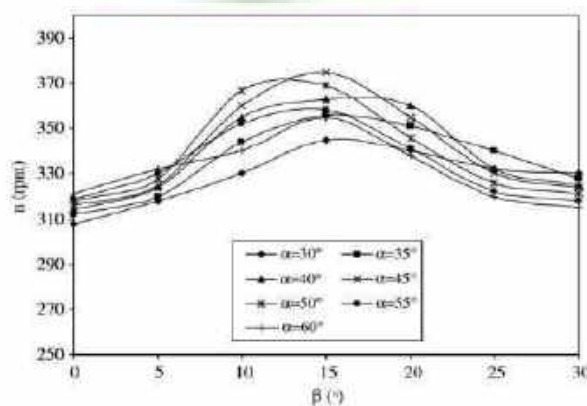


Sumber: Golecha et al., (2011)

Gambar 2.23 Posisi yang Berbeda pada Pelat Deflector

### 2.3 Kinerja Turbin Savonius dengan Dipasang Pengarah

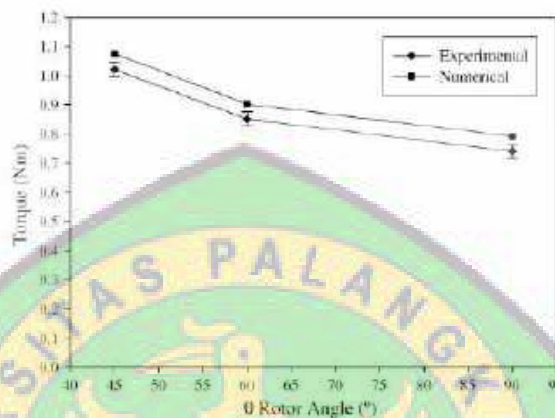
Efek dari pelat *curtain* ( $\alpha$  dan  $\beta$ ) telah diidentifikasi sebagai *curtain* 1 karena daya maksimum diperoleh dari modifikasi pelat *curtain* 1. Hubungan antara kecepatan rotasi dengan sudut pelat *curtain* ditunjukkan pada gambar 2.24. Untuk menganalisa efek dari penambahan sudut pelat *curtain* ( $\alpha$  dan  $\beta$ ) yang berpengaruh pada desain *curtain* dan kinerja, penelitian telah dilanjutkan dengan meningkatkan sudut pelat *curtain* ( $\alpha$ ) antara  $30^\circ$  dan  $60^\circ$  dari  $5^\circ$ . Karena torsi negatif meningkat pada aliran yang menabrak *blade* cembung pada sudut *curtain* diantara nya sudut di bawah  $30^\circ$  ( $\alpha < 30^\circ$ ) dalam pengujian awal dan karena kecepatan rotasi relatif kecil pada aliran pemisah meningkat  $60^\circ$  ( $\alpha > 60^\circ$ ). Demikian pula pada percobaan sudut *curtain* ( $\beta$ ) dilanjutkan pada sudut antara  $0^\circ$  dan  $30^\circ$ . Menurut hasil penelitian, dengan aliran yang cukup tidak dapat dikumpulkan pada sudut *curtain* ( $\beta$ ) dibawah  $15^\circ$ , Dalam kecepatan rotasi telah diukur menjadi rendah pada variasi sudut *curtain* ( $\beta$ ) diatas  $15^\circ$  kecepatan rotasi diukur juga menjadi rendah. Penelitian dilanjutkan pada variasi sudut *curtain* ( $\alpha$ )  $45^\circ$  dan ( $\beta$ )  $15^\circ$ , karena dalam pengujian memiliki nilai yang paling tinggi (Altan and Atilgan, 2008).



Sumber: Altan and Atilgan, (2008)

**Gambar 2.24 Grafik Hubungan Efek Rotasi (RPM) dengan sudut *Curtain***

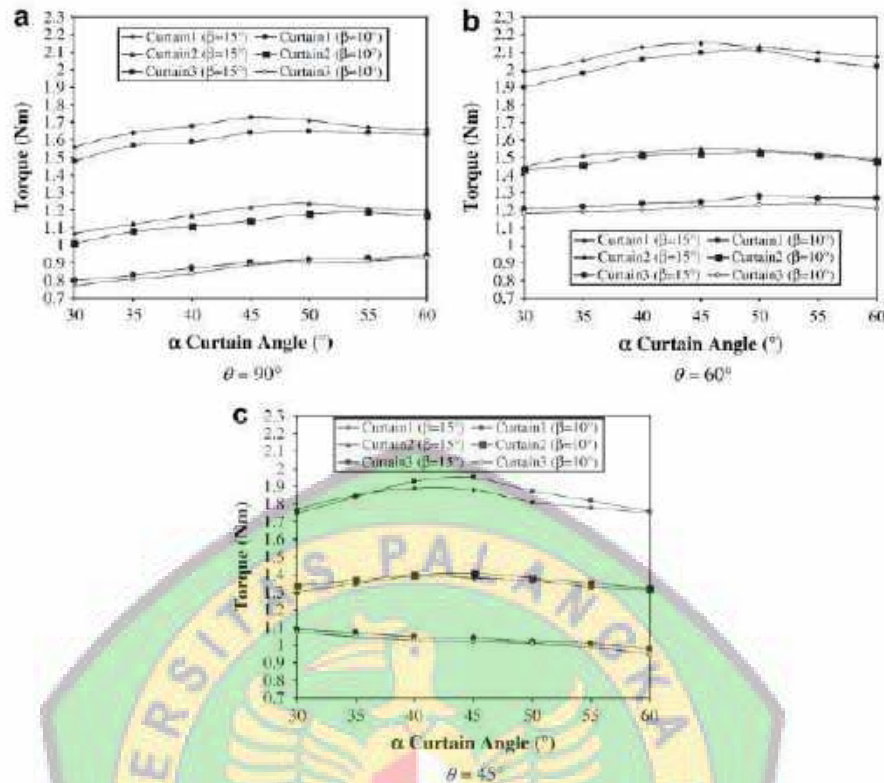
Ketika rotor pada posisi  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  dan  $90^{\circ}$  semua dalam kondisi statis, rotor aliran Savonius tanpa *curtain*, nilai torsi statis yang diperoleh dari pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.25. Dalam penelitian didapat nilai torsi statis tertinggi adalah  $45^{\circ}$  (Altan and Atilgan, 2008).



Sumber: Altan and Atilgan, (2008)

**Gambar 2.25 Grafik Perubahan Torsi Statis pada Rotor tanpa Pelat *Curtain* dan Perhitungan Analisis Numerik pada Posisi Rotor  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  dan  $90^{\circ}$**

Perubahan sudut dari nilai statis pada *curtain 1*, *curtain 2*, dan *curtain 3* dalam penelitian dibuat antara ( $\alpha$ )  $30^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  dan  $90^{\circ}$  dengan  $\beta = 10^{\circ}$  dan  $\beta = 15^{\circ}$  ditunjukkan pada Gambar 2.26. Dari hasil pengamatan didapatkan bahwa nilai torsi pada *curtain 1*, *curtain 2* dan *curtain 3* memiliki nilai yang lebih tinggi pada  $\beta = 15^{\circ}$  dari pada nilai pada  $\beta = 10^{\circ}$ . Nilai torsi tertinggi pada kisaran  $\alpha = 45^{\circ}$  ketika  $\beta = 15^{\circ}$  pada *curtain 1*. *Curtain 1* memiliki kinerja yang lebih baik dari pada *curtain 2* dan *curtain 3* (Altan and Atilgan, 2010).

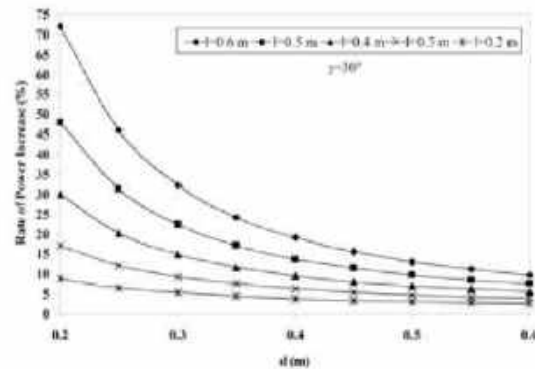


Sumber: Altan and Atilgan, (2010)

**Gambar 2.26** Grafik Perubahan Nilai Torsi pada Sudut  $\beta = 10^{\circ}$  dan  $\beta = 15^{\circ}$

**Ketika Posisi Rotor  $\theta = 90^{\circ}$ ,  $\theta = 60^{\circ}$  dan  $\theta = 45^{\circ}$**

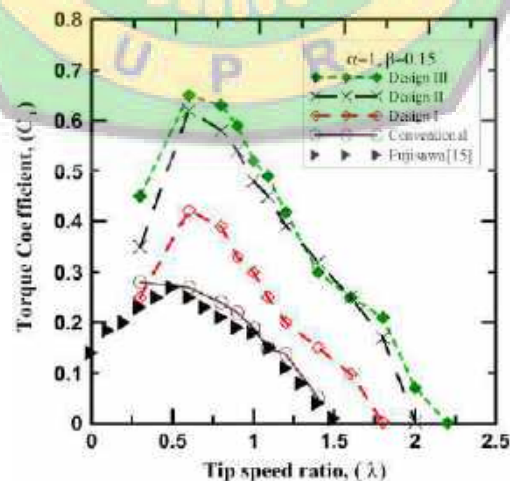
Perubahan nilai  $\gamma = 30^{\circ}$  sebagai nilai maksimum dari sudut *curtain*  $\gamma$  dapat dilihat pada Gambar 2.27. Seperti yang terlihat pada Gambar 2.27, efek dari sudut  $\gamma$  pada rasio peningkatan daya dari panjang bilah *curtain* meningkatkan besaran diameter pada *blade* rotor. Rasio peningkatan daya dengan diameter bilah yang kecil pada perbedaan panjang bilah *curtain*, berkurang pada bilah diameter yang besar pada panjang *blade curtain* yang tetap. Gambar 2.27 menunjukkan peningkatan daya seiring dengan bertambahnya panjang bilah *curtain* tetapi pada diameter bilah yang tetap. Hal ini dapat dimungkinkan untuk menentukan efek dari sudut  $\gamma$  pada peningkatan daya tetap dan mengubah panjang bilah *curtain* (Altan and Atilgan, 2012).



Sumber: (Altan and Atilgan, 2010)

**Gambar 2.27 Grafik Rasio Peningkatan Perubahan Daya pada *Blade Curtain* untuk Panjang  $\gamma = 30^\circ$  Sesuai dengan Diameter *Blade***

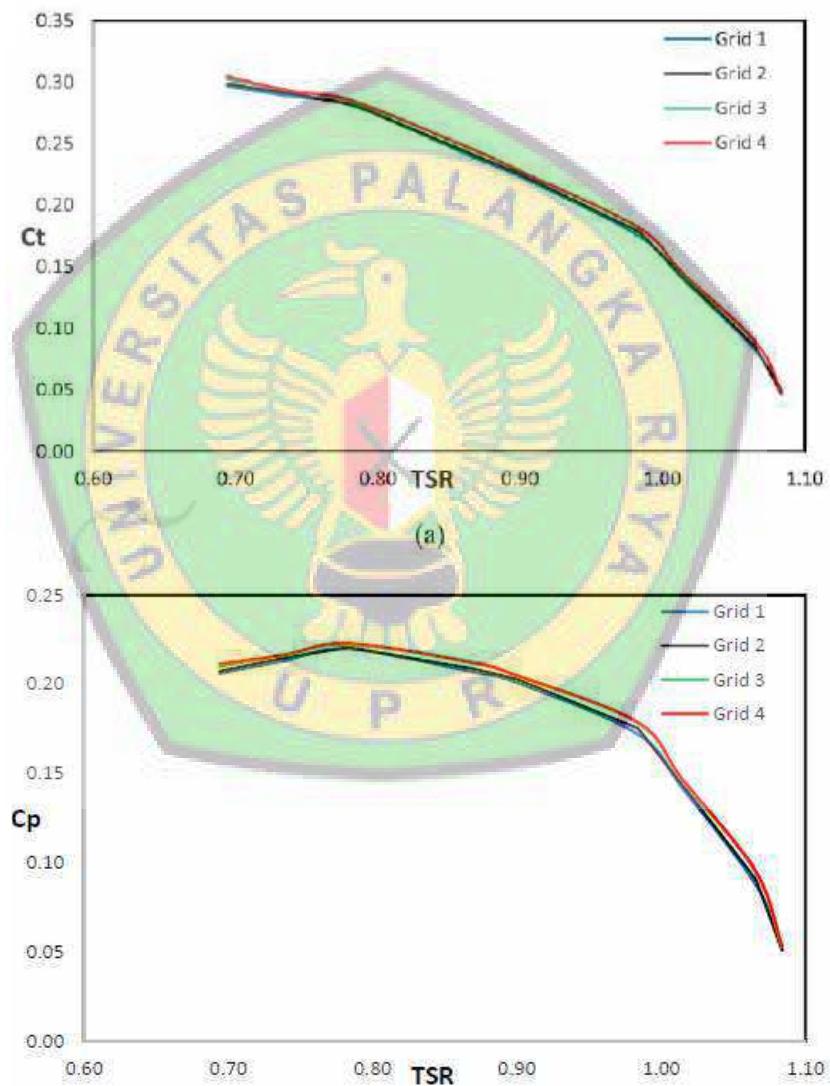
Rotor menggunakan pengukuran dari Fijisawa (1992), telah dilakukan dan ditunjukkan dalam Gambar 2.28. Bagian hulu rotor memiliki kecepatan yang tetap pada Fijisawa (1992), dan setara dengan 6 m/s. Gambar 2.28 menunjukkan torsi dan kecepatan pada tiap kecepatan rasio berbeda untuk rotor Savonius konvensional dengan rotor dengan desain baru (El-Askary *et al.*, 2015).



Sumber: El-Askary *et al.*, (2015)

**Gambar 2.28 Hubungan antara Variasi Torsi dengan Kecepatan Rasio, Desain Rotor Savonius Konvensional**

Gambar 2.29 menunjukkan hubungan antara torsi dan *power coefficients variations* dengan TSR (*Tip Speed Ratio*), yang ditentukan dengan 4 *grid*. Dalam *grid* 3 dan 4 menghasilkan hasil yang serupa dan dapat diterima, sedangkan *grid* 4 harus memiliki cukup waktu dalam memberikan solusi. Oleh karena itu dalam penelitian menggunakan *grid* 3 (El-Askary *et al.*, 2015).

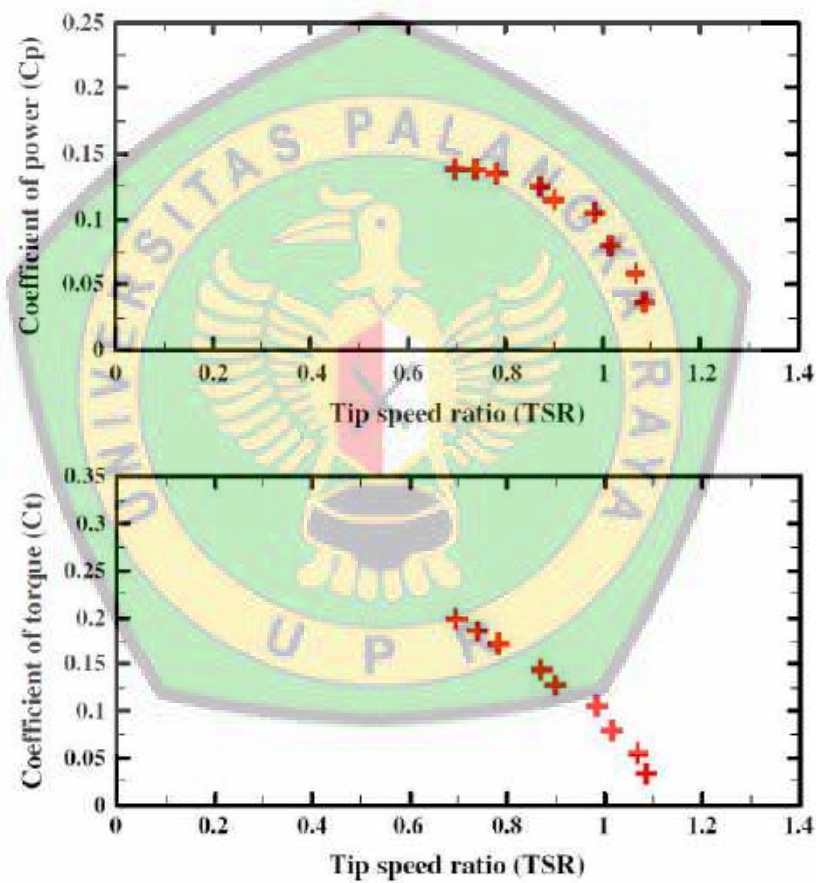


Sumber: El-Askary *et al.*, (2015)

**Gambar 2.29 Grafik Hubungan (a) Koefisien Torsi dengan TSR yang Berbeda**

**(b) Koefisien Kecepatan Daya dengan TSR Kasus 4 Variasi Grid**

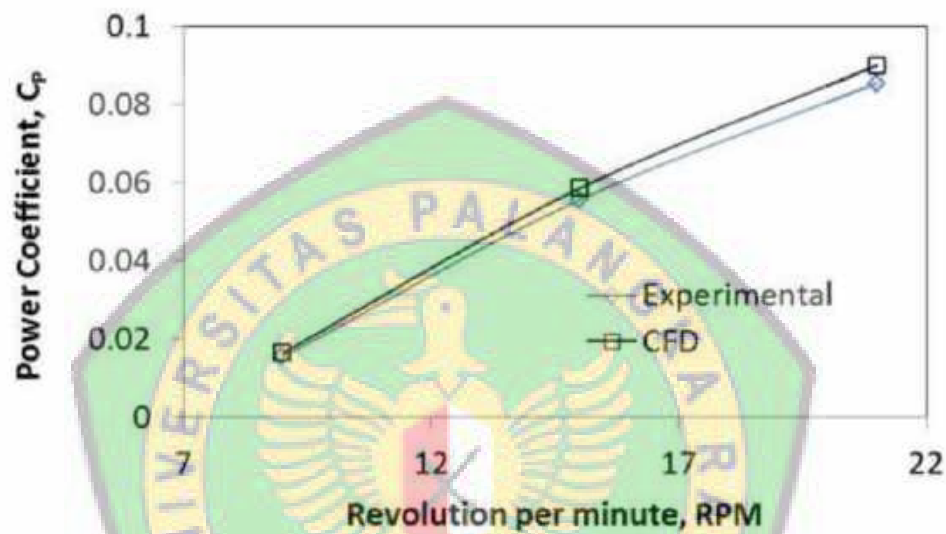
Percobaan dilakukan pada saluran terbuka pada angka  $Reynolds = 1,32 \times 10^5$ . Percobaan dilakukan menggunakan modifikasi rotor Savonius dan parameter desain untuk menentukan *coefficient of power* dan *coefficient of torque* pada dimensi yang berbeda. Gambar 2.30 menunjukkan *coefficient of power* dan *coefficient of torque* berhubungan dengan rasio kecepatan pada rotor yang dimodifikasi tanpa pelat *deflector* (Golecha *et al.*, 2011).



Sumber: Golecha *et al.*, (2011)

**Gambar 2.30 Grafik Hubungan Koefisien Kecepatan dan Koefisien Torsi dengan Rasio Kecepatan pada Model Savonius Tanpa *Deflector***

Gambar 2.31 menunjukkan perbandingan antara *power coefficient* yang diperoleh dari pengamatan dan perhitungan numerik pada kondisi rotasi kecepatan tinggi. Torsi yang diperoleh dari hasil CFD (*Computational Fluid Dynamic*) diperkirakan sekitar 5 %.



Sumber: Prasad and Ahmed, (2013)

**Gambar 2.31 Perbandingan *Coefficient of Power* yang Diperoleh pada Pengujian dan Perhitungan Numerik pada Kecepatan Rotasi Rendah**

### 2.3.1 Mass Flow

Kuantitas aliran yang menuju pusat silinder diukur sebagai aliran masuk. Aliran melintasi batas keluar dari pusat silinder diukur sebagai aliran keluar. Dapat dituliskan dalam persamaan (2-1) (Alexander and Santhanakrishnan, 2018).

$$\frac{M_{out}}{M_{in}} \times 100\% \quad (2-1)$$

Di mana  $M_{out}$  dan  $M_{in}$  mewakili *mass flow* yang masuk dan keluar dari stator. Menunjukkan batas - batas di mana *mass flow* di pintu masuk dan keluar pengujian. (Alexander and Santhanakrishnan, 2018).

### 2.3.2 Coefficient of Power ( $C_p$ )

Koefisien ini mewakili energi yang dihasilkan dari turbin sebagai bagian dari energi air total yang melewati area putaran rotor turbin. Area ini sama dengan area depan turbin diberikan oleh tinggi kali diameternya. Dan ditunjukkan dengan persamaan (2-2) (Sahim *et al.*, 2014).

$$C_p = \frac{P_{static}}{\frac{1}{2} \rho A V^3} \quad (2-2)$$

Di mana:

- $\rho$  : Masa jenis air
- $\rho_{static}$  : Tekanan statis
- A : Swept area ( $m^2$ )
- V : Kecepatan aliran bebas (m/s).

Kinerja rotor ditingkatkan secara universal dengan menggunakan perangkat tambahan. Untuk kasus yang didokumentasikan, *Coefficient of Power* dengan *deflector* lebih dari dua kali dari nilai aslinya. Peningkatan kinerja rotor yang cukup besar juga ditemukan dalam kasus pada studi literatur, yang disebabkan oleh penggunaan pelat *deflector*. Dalam hubungan ini, terlepas dari perangkat tambahan, ada faktor-faktor lain yang mempengaruhi kinerja rotor, seperti ukuran bilah rotor, bentuk bialah, kekasaran permukaan bilah dan

*Tip-Speed Ratio* (TSR) , salah satunya dapat melebihi yang lain dalam kontribusi untuk koefisien torsi atau energi. Pertimbangan penuh semua faktor ini tidak praktis di sebagian besar kasus (Kang *et al.*, 2018).

**Tabel 2.1 Perbandingan Kinerja Rotor Antar Skema dengan dan Tanpa Perangkat Tambahan**

Reference	Device	Ct (w/o)	Ct (w/)	Cp (w/o)	Cp (w/)	TSR
Altan <i>et al.</i> , (2008)	Curtain	-	-	0.16	0.38	0.4
Mohamed <i>et al.</i> , (2011)	Obstacle	0.23	0.33	0.17	0.25	0.8
Iio <i>et al.</i> , (2011)	Shield plate	-	-	0.24	0.48	1.4
Tartuferi <i>et al.</i> , (2015)	Curtain	0.31	0.37	0.24	0.29	0.8
El-Askary <i>et al.</i> , (2015)	Deflector	0.20	0.53	0.19	0.52	1.0
Tang <i>et al.</i> , (2013)	Baffles	-	-	0.15	0.32	0.6
Golecha <i>et al.</i> (2011)	Deflector	0.15	0.23	0.13	0.21	0.9
Mohamed <i>et al.</i> , (2010)	obstacle	0.23	0.33	0.18	0.26	0.8

Sumber: Kang *et al.*, (2018)

Data yang tercantum pada Tabel 2.1 diperoleh secara eksperimental atau numerik. Data kinerja rotor sangat mudah didapatkan dengan cara pendekatan eksperimental, sedangkan untuk torsi dan koefisien daya secara numerik dihitung dengan mengintegrasikan statis tekanan pada permukaan sudut rotor (Kang *et al.*, 2018).

### 2.3.3 Koefisien Torsi Dinamik

Koefisien torsi (CT) didefinisikan sebagai rasio torsi aktual oleh turbin dengan torsi teoritis yang tersedia dalam aliran dan ditunjukkan pada persamaan (2-3) (Alom and Saha, 2018).

$$C_T = \frac{T_{turbine}}{T_{available}} = \frac{T_{turbine}}{\frac{1}{2} \rho A V^2 R} = \frac{F \times r_p}{\frac{1}{2} \rho A V^2 R} \quad (2-3)$$

Di mana:

- $C_T$  : Koefisien torsi dinamik  
 $T_{turbine}$  : Torsi yang dihasilkan oleh turbin rotor (N.m).  
 $T_{available}$  : Daya teoritis yang tersedia pada angin (N.m).  
 $A$  : *Swept area* (m<sup>2</sup>)  
 $V$  : Kecepatan aliran bebas (m/s).  
 $\rho$  : Massa jenis air  
 $r$  : Radius turbin  
 $P_r$  : Daya rotor (W)  
 $R$  : Radius atau jari-jari turbin (m).  
 $F$  : Beban mekanis yang diterapkan pada rotor (n)

Perangkat lunak *fluent* 6.0 telah digunakan untuk program *Computational Fluid Dynamics* (CFD), digunakan untuk menganalisis rotor Savonius dengan atau tanpa pengaruh pada posisi statis dari aspek aerodinamis. Program ini memiliki kapasitas memecahkan masalah aliran dan perpindahan panas didalam atau sekitar geometri sangat kompleks. Permodelan penelitian ini telah dilakukan dengan mendapatkan hasil pada Tabel 2.2 (Altan and Atilgan, 2010).

**Tabel 2.2 The Uncertainty In Calculated Value**

Calculated value	Uncertainty (%)
$Re$	2.85
$P_f$	0.50
$P_r$	8.57

Sumber: Altan and Atilgan, (2010)

Masing – masing *curtain* dibuat dari lembaran baja dengan tinggi 32 cm dan tebal 2 mm bagian atas dan bawah *curtain* telah diperbaiki, pengaturan *curtain* telah dirancang sedemikian rupa untuk memutar 360<sup>0</sup> disekitar rotor.

Jenis pengaturan *curtain* dapat dilihat pada tabel 2.3 dengan tiga dimensi *curtain* yang berbeda.

**Tabel 2.3 Dimensi Penataan *Curtain Arangement***

Type of <i>Curtain arrangement</i>	Distance $\ell_1$ (cm)	Distance $\ell_2$ (cm)	Height $H$ (cm)	Thickness $t$ (mm)
Curtain 1	45	52	32	2
Curtain 2	34	39	32	2
Curtain 3	22	26	32	2

Sumber: Altan and Atilgan, (2008)

### 2.3.4 Kecepatan Sudut ( $\omega$ )

Kecepatan sudut ( $\omega$ ) dapat dikonversi dari nilai RPM (Febrianto and Santoso, 2016). Ditunjukkan dalam persamaan (2-4).

$$\omega = \frac{2\pi \text{RPM}}{60} \quad (2-4)$$

Di mana:

RPM : Jumlah putaran rotor setiap menit.

$\pi$  : *phi* (dengan nilai  $\frac{22}{7}$  atau 3,14).

### 2.3.5 *Tip Speed Ratio* (TSR)

*Tip Speed Ratio* atau TSR adalah rasio antara kecepatan tangensial bilah dan kecepatan arus. Nilai TSR (*Tip Speed Ratio*) menyatakan seberapa cepat turbin berputar terhadap kecepatan arus tertentu. TSR (*Tip Speed Ratio*) di tuliskan dalam persamaan (2-5) (Hantoro *et al.*, 2018).

$$TSR = \frac{R\omega}{v} \quad (2-5)$$

Di mana:

TSR atau  $\lambda$  : *Tip Speed Ratio*.

R : Radius atau jari-jari turbin (m).

V : Kecepatan aliran bebas (m/s).

( $\omega$ ) : Kecepatan sudut.

### 2.3.6 Daya Mekanik Turbin

*Performance* dari turbin merupakan daya mekanik yang dihasilkan dari sebuah turbin. Untuk mendapatkan nilai *performance* maka data yang dibutuhkan adalah putaran dari turbin atau RPM dan torsi ( $\tau$ ). Persamaan untuk menghitung performansi turbin adalah sebagai berikut (2-6) (Febrianto and Santoso, 2017):

$$W_s = \tau \cdot \text{RPM} \quad (2-6)$$

Di mana:

$W_s$  atau  $P$  : Daya mekanik turbin (J/s).

### 2.3.7 Efisiensi Turbin

Untuk menentukan efisiensi turbin tersebut dapat dicari dengan menggunakan model *streamtube analysis* yaitu dengan cara membandingkan daya keluaran pada turbin dengan *kinetic energi flux*. Berikut adalah persamaan untuk mencari efisiensi dari turbin tersebut (2-7 dan 2-8) (Febrianto and Santoso, 2017):

$$\eta = \frac{P}{KEF} \times 100\% \quad (2-7)$$

$$KEF = \frac{1}{2} \rho v^3 2\pi Rl \quad (2-8)$$

Di mana:

$\eta$  : Efisiensi Turbin (%).

$W_s$  atau  $P$  : Daya mekanik turbin (J/s).

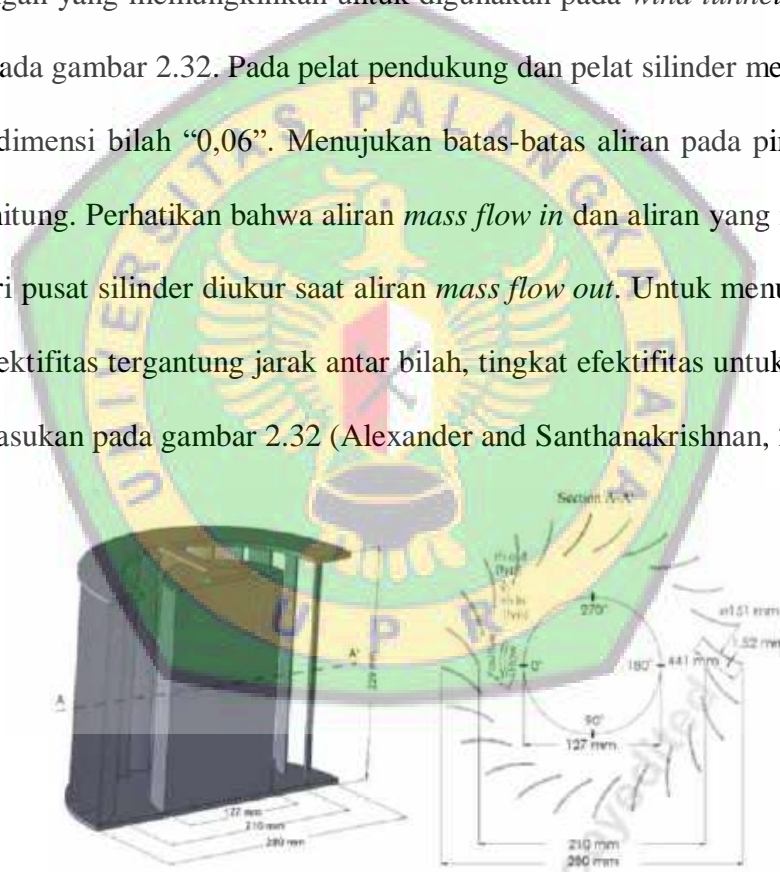
$KEF$  : *Kinetic Energi Flux* (J/s).

$l$  : Panjang *blade* (m).

## 2.4 Omni Directional Guide Vanes

Wicaksono and Tjahjana, (2017) melakukan uji eksperimental pengaruh pengaruh *Omni Directional Guide Vanes* (ODGV) pada karakteristik pola aliran turbin angin Savonius dan hasilnya pengaruh ODGV mampu meminimalkan torsi negatif serta mampu meningkatkan tekanan maksimum pada rotor arah aliran  $60^\circ$ .

Model CFD (*Computational Fluid Dynamics*) diciptakan untuk skala perbandingan yang memungkinkan untuk digunakan pada *wind tunnel* sesuai dengan dimensi pada gambar 2.32. Pada pelat pendukung dan pelat silinder memiliki dimensi “¼” dan dimensi bilah “0,06”. Menunjukkan batas-batas aliran pada pintu masuk dan keluar dihitung. Perhatikan bahwa aliran *mass flow in* dan aliran yang melintasi batas keluar dari pusat silinder diukur saat aliran *mass flow out*. Untuk menunjukkan bahwa tingkat efektifitas tergantung jarak antar bilah, tingkat efektifitas untuk dua belas dan bilah dimasukkan pada gambar 2.32 (Alexander and Santhanakrishnan, 2018).



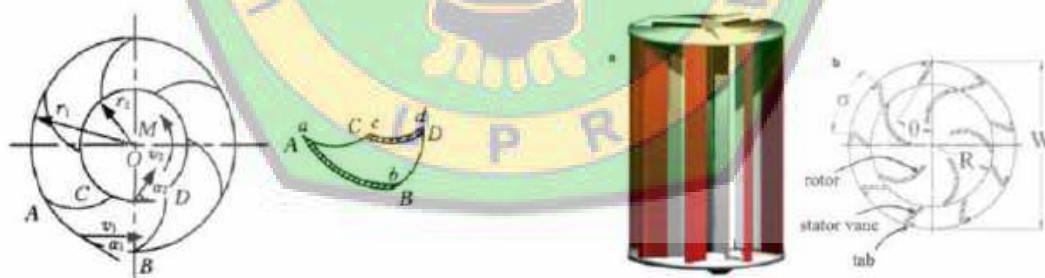
Sumber: (Alexander and Santhanakrishnan, 2018)

**Gambar 2.32 Skema Model Stator**

Penggunaan ODGV pada turbin Darrieus profil NACA 0012 pada pengujian Octauria *et al.*, (2021) mengalami peningkatan nilai  $C_p$  dan TSR dari turbin Darrieus Konvensional. Studi yang dilakukan Ichsan *et al.*, (2021) dengan menambahkan

variasi lebar *rectifier guide vanes* pada turbin Savonius mampu meningkatkan kinerja turbin.

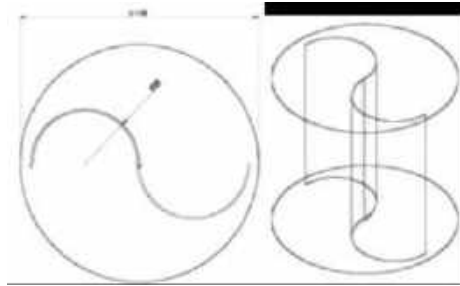
Menggunakan *arc rectifier boards* bukan menggunakan *straight boards* melalui percobaan perbandingan, turbin dengan *rectifier deflector* memiliki kecepatan angin awal yang lebih rendah, torsi lebih besar dan *output* efisien yang lebih tinggi ketika kecepatan angin relatif tinggi. Jumlah yang wajar dan pemasangan sudut yang sesuai dari *rectifier deflector* dapat memanfaatkan energi aliran dengan baik. *Tab* ( $\alpha$ ) ditambahkan berada di ujung bilah stator, dan sudut antara *tab* dan bilah dapat disesuaikan untuk mengatur aliran ke dalam rotor. Sudut yang masuk akal dapat membuat bidang aliran sesuai untuk turbin untuk meningkatkan  $C_p$  (*Coefficient of Power*) turbin. Hasil menunjukkan bahwa nilai maksimum  $C_p$  (*Coefficient of Power*) dapat 11,3% ketika sudut  $25^\circ$ . Dengan sudut yang wajar dari *arc rectifier boards* dapat menghasilkan penggunaan energi yang baik (Zhipeng *et al.*, 2013).



Sumber: Zhipeng *et al.*, (2013)

### Gambar 2.33 Turbin Savonius dengan Penyearah dan Turbin Savonius dengan Penyearah dan Tab

Gambar 2.34 menunjukkan Parameter geometri ODGV (*Omni-Directional Guide Vane*). Alat ini memiliki diameter  $D_{in} = 0,12$  m, diameter luar  $D_{out} = 0,18$  m dan *Guide Vanes Angle* =  $50^\circ$  (Wicaksono and Tjahjana, 2017).



Sumber: Wicaksono and Tjahjana, (2017)

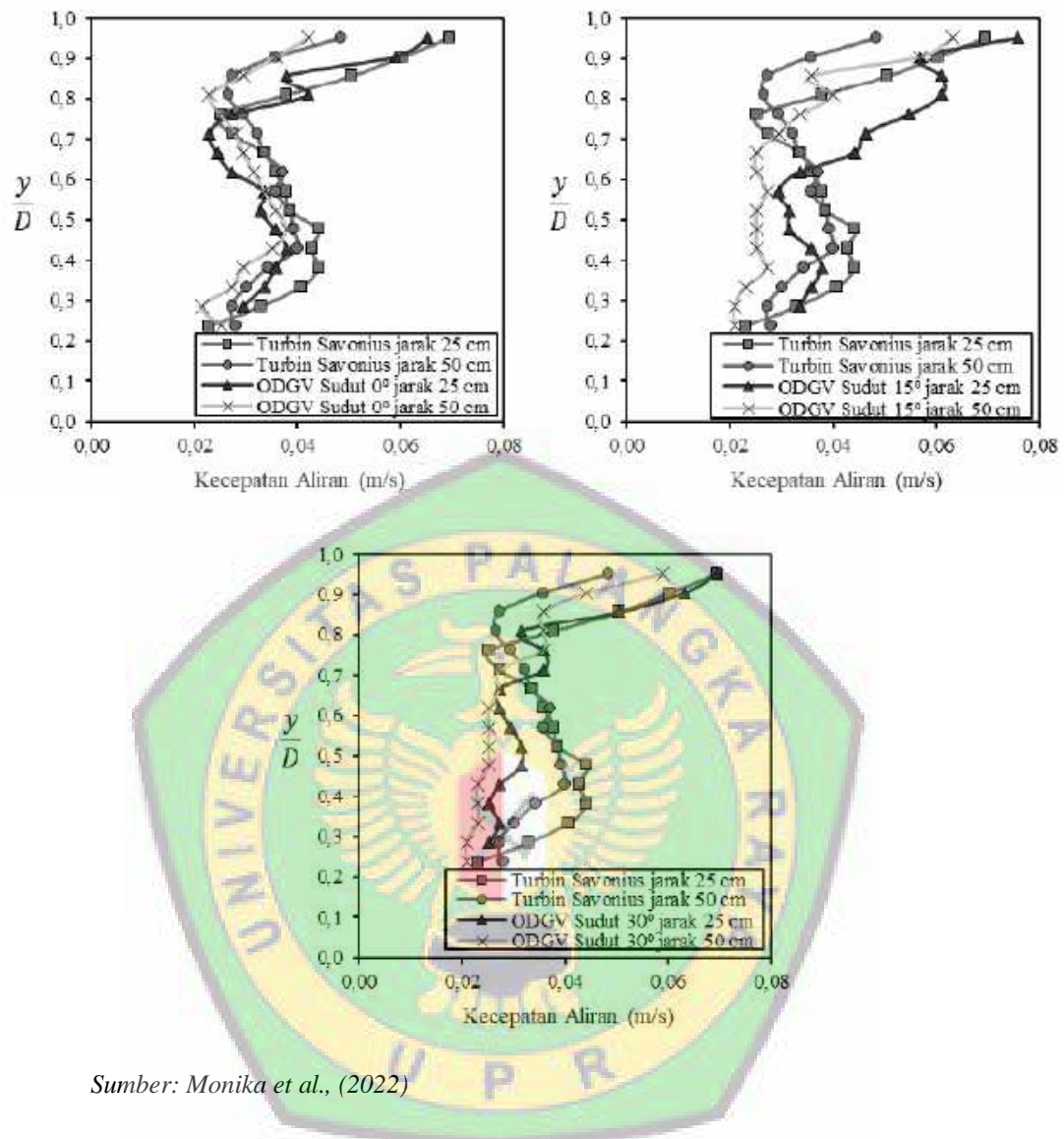
**Gambar 2.34 Parameter Geometri ODGV (Omni – Directional Guide Vane)**



Sumber: Wicaksono and Tjahjana, (2017)

**Gambar 2.35 Domain Komputasi**

Gambar 2.36 menunjukkan bahwa penambahan ODGV dan kemiringan sudut *rectifier* mempengaruhi kecepatan aliran pada bagian hilir turbin Savonius. Turbin Savonius dengan variasi kecepatan aliran 0,11 m/s, 13 m/s dan 14 m/s (Monika *et al.*, 2022).



Sumber: Monika et al., (2022)

**Gambar 2.36** Grafik Hubungan  $\frac{y}{D}$  dan Kecepatan Aliran pada Variasi sudut

**Rectifier 0°, 15° dan 30°**

## BAB III

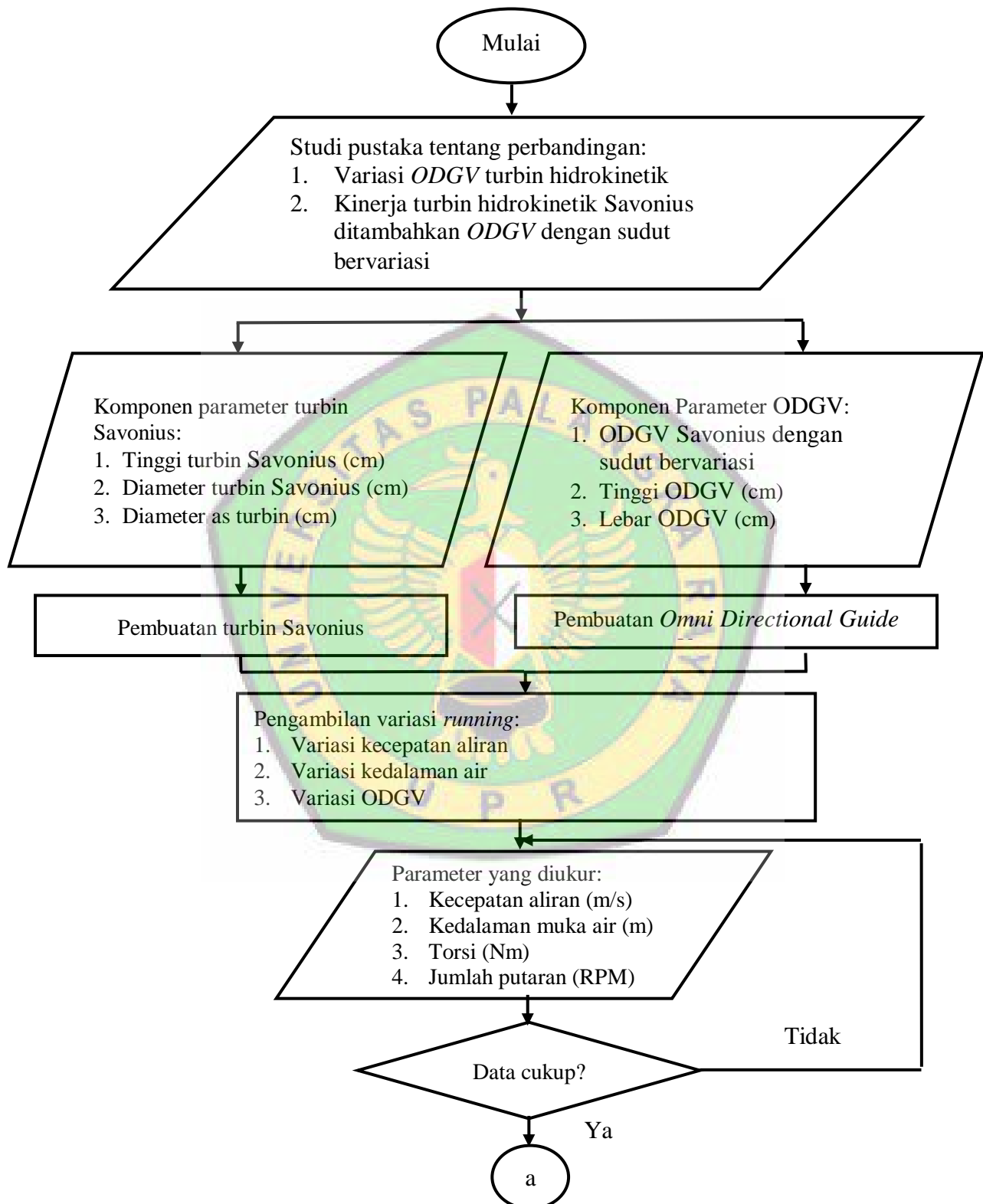
### METODE PENELITIAN

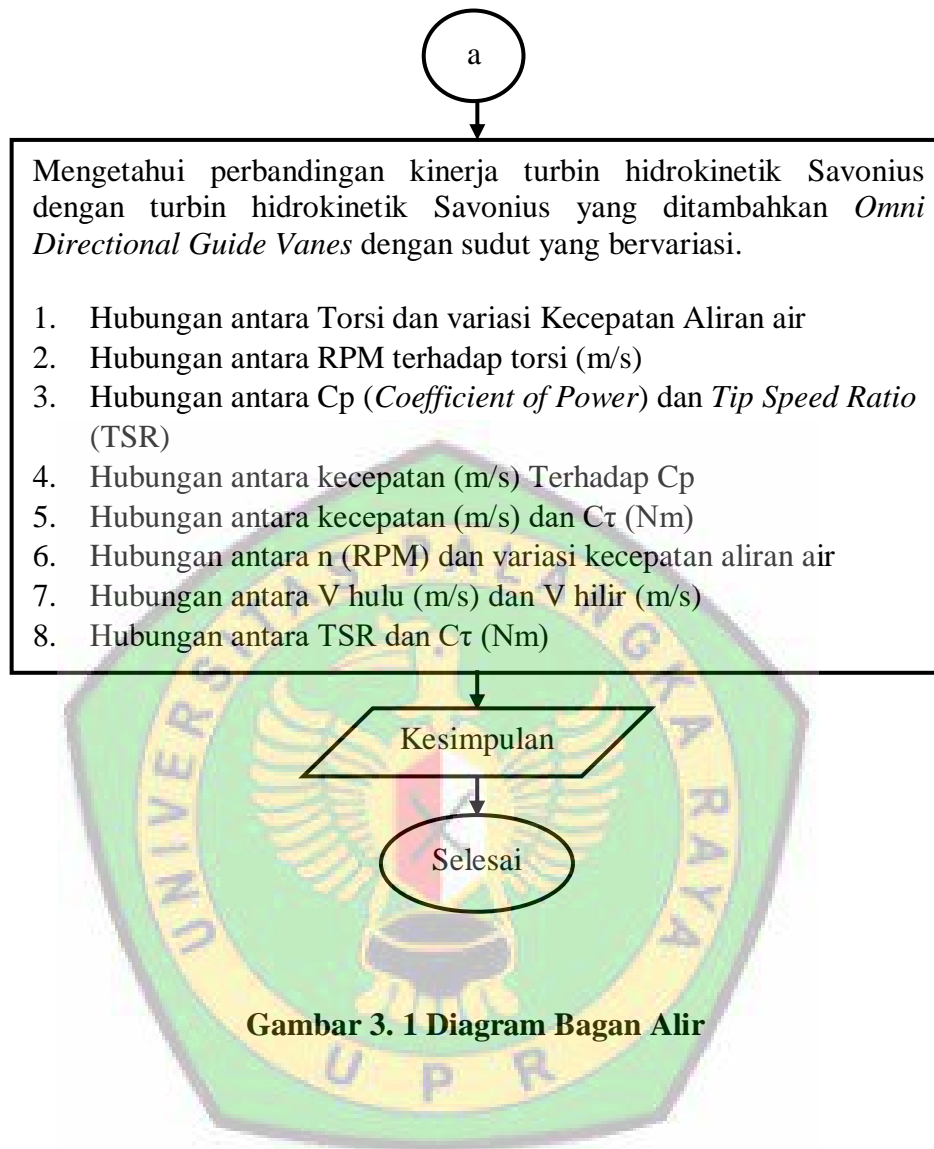
#### 3.1 Umum

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan pengaruh kinerja besar sudut *Omni Directional Guide Vanes* (ODGV) yang dipasangkan di turbin Savonius. Pada penelitian ini ODGV yang digunakan memiliki variasi jumlah, lebar, dan besar sudut kemiringan ODGV yang berbeda-beda. Pengujian dilakukan untuk melihat banyaknya putaran yang dihasilkan oleh turbin tersebut pada suatu parameter pengujian tertentu, sehingga dapat diketahui variasi besar sudut ODGV mana yang baik untuk turbin vertikal berjenis Savonius tersebut.

Penelitian dimulai dengan Pembuatan Turbin Savonius dan ODGV. Lalu dilanjutkan dengan pengujian di drainase *Prismatic (flume)* untuk melihat variasi parameter kecepatan distribusi aliran, kedalaman air, torsi dan jumlah putaran turbin yang ditambahkan ODGV. Hasil dari beberapa pengujian parameter dimasukkan ke dalam perhitungan excel agar dapat diolah dan dilampirkan menjadi bentuk grafik, yang nantinya dimasukkan ke dalam draft laporan hasil penelitian Skripsi.

### 3.2 Tahapan Penelitian

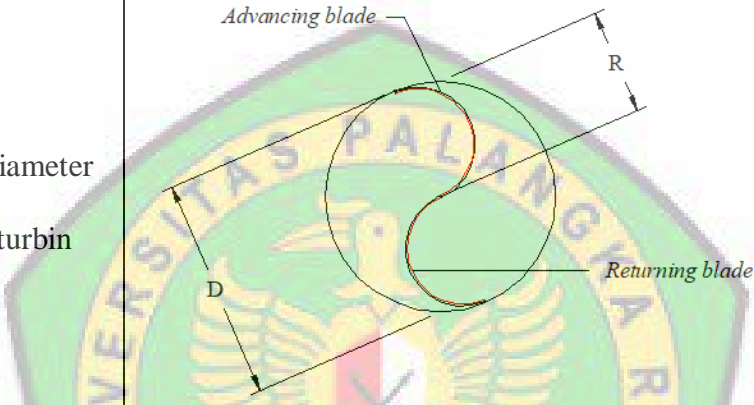
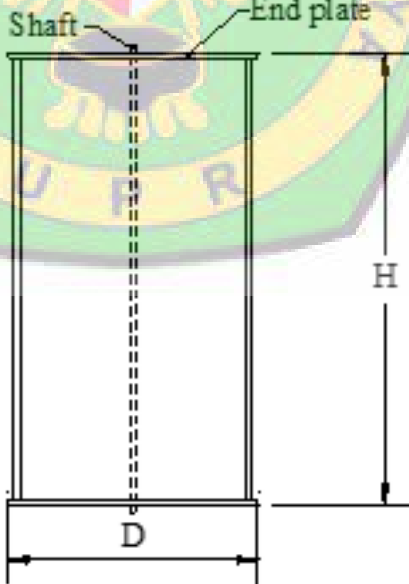




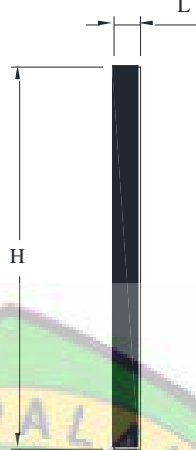
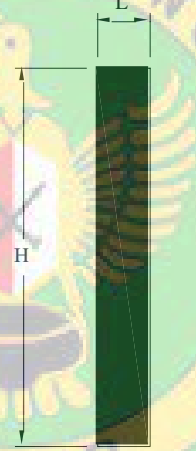
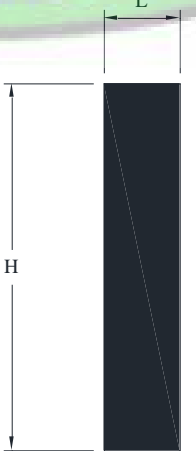
### 3.3 Komponen Turbin

Untuk mengetahui detail komponen dari turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan *Omni Directional Guide Vanes* dengan sudut yang bervariasi. Bisa dilihat pada tabel berikut ini:

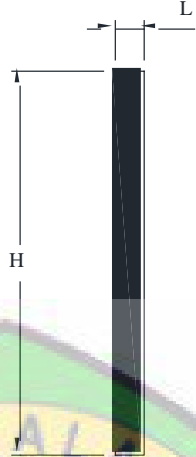
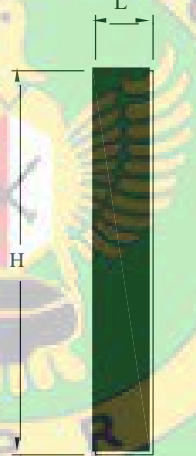
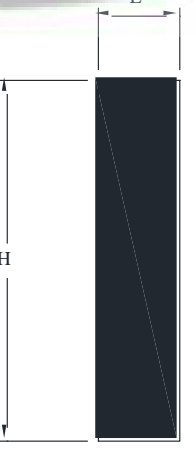
**Tabel 3.1** Komponen Turbin Savonius Tanpa *Omni Directional Guide Vanes*

No.	Nama Komponen	Turbin Savonius	Keterangan
1.	Diameter turbin		$D = 12 \text{ cm}$ $R = 6 \text{ cm}$
2.	Tinggi turbin		$D = 12 \text{ cm}$ $H = 21,6 \text{ cm}$

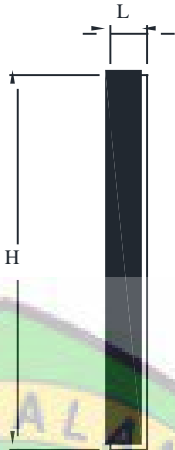
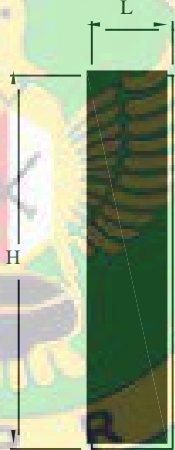
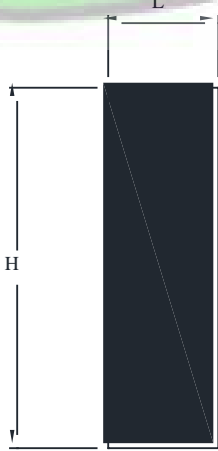
Tabel 3.2 Komponen Variasi Bentuk *Omni Directional Guide Vanes*

No	Nama Komponen	Bentuk <i>Omni Directional Guide Vanes</i>	Keterangan
1	<i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $0^\circ$	 <p>A diagram of a rectangular guide vane. A vertical double-headed arrow on the left indicates the height <math>H</math>. A horizontal double-headed arrow at the top indicates the width <math>L</math>. The vane is represented by a solid black vertical bar.</p>	$H = 21,6 \text{ cm}$ $L = 1,5 \text{ cm}$
2	<i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $0^\circ$	 <p>A diagram of a rectangular guide vane. A vertical double-headed arrow on the left indicates the height <math>H</math>. A horizontal double-headed arrow at the top indicates the width <math>L</math>. The vane is represented by a solid black vertical bar.</p>	$H = 21,6 \text{ cm}$ $L = 3 \text{ cm}$
3	<i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $0^\circ$	 <p>A diagram of a trapezoidal guide vane. A vertical double-headed arrow on the left indicates the height <math>H</math>. A horizontal double-headed arrow at the top indicates the width <math>L</math>. The vane is represented by a solid black trapezoid that is wider at the top than at the bottom.</p>	$H = 21,6 \text{ cm}$ $L = 4,5 \text{ cm}$

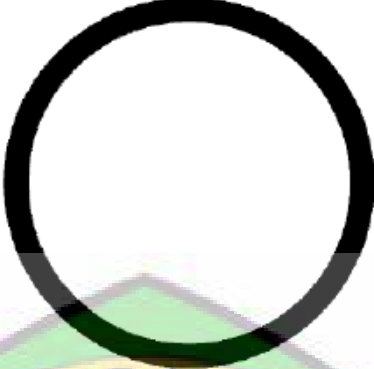


Tabel 3.2 Lanjutan

No	Nama Komponen	Bentuk <i>Omni Directional Guide Vanes</i>	Keterangan
4	<i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $15^\circ$		<p>H = 21,6 cm</p> <p>L = 1,63 cm</p>
5	<i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $15^\circ$		<p>H = 21,6 cm</p> <p>L = 3,25 cm</p>
6	<i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $15^\circ$		<p>H = 21,6 cm</p> <p>L = 4,88 cm</p>

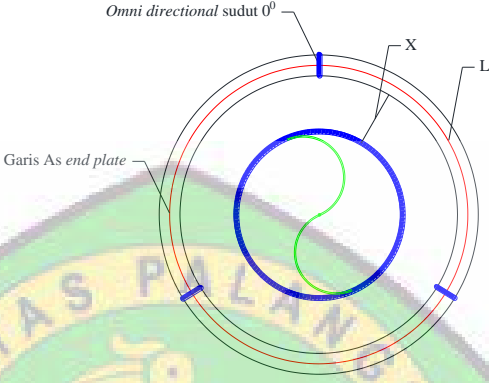
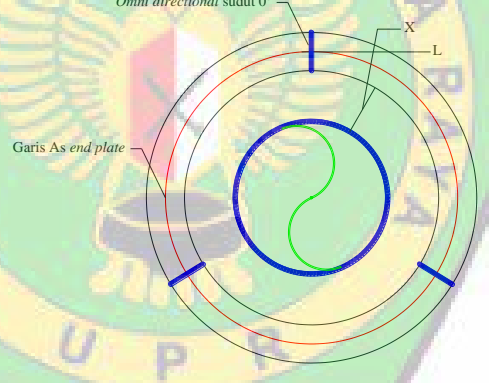
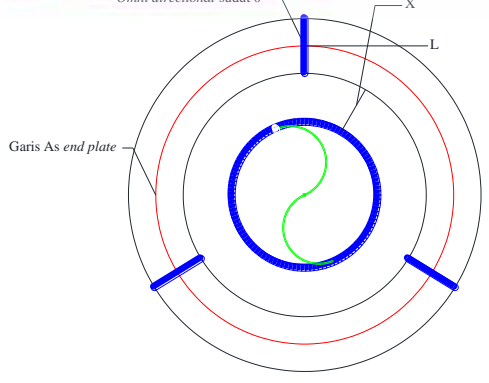
Tabel 3.2 Lanjutan

No	Nama Komponen	Bentuk <i>Omni Directional Guide Vanes</i>	Keterangan
7	<i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut 30°		<p>H = 21,6 cm</p> <p>L = 2,1 cm</p>
8	<i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut 30°		<p>H = 21,6 cm</p> <p>L = 4,7 cm</p>
9	<i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut 30°		<p>H = 21,6 cm</p> <p>L = 6,6 cm</p>

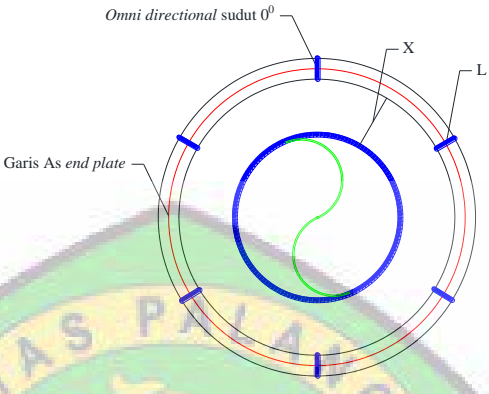
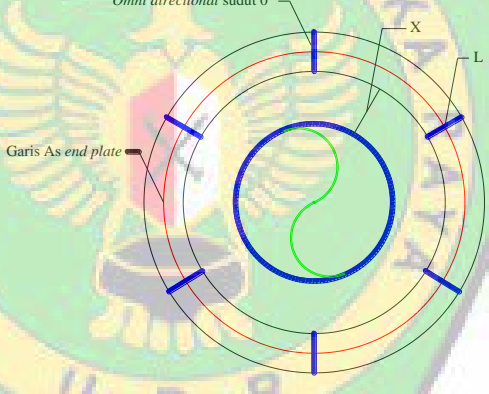
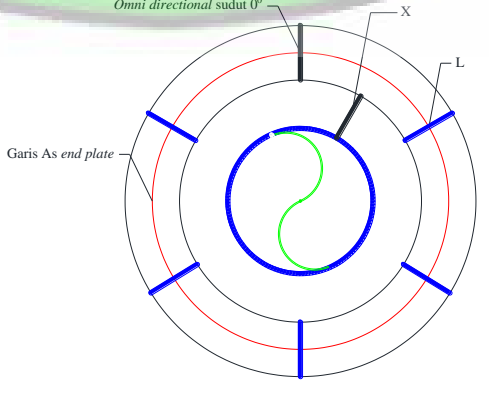
Tabel 3.3 Komponen Variasi Lebar *End Plate*

No	Nama Komponen	Variasi <i>End Plate</i>	Keterangan
1	<i>End Plate</i>		Lebar = 1,5 cm
2	<i>End Plate</i>		Lebar = 3 cm
3	<i>End Plate</i>		Lebar = 4,5 cm

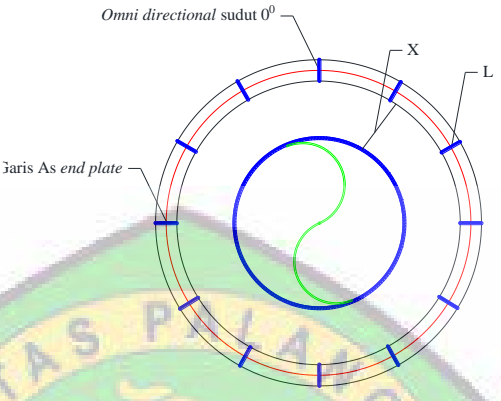
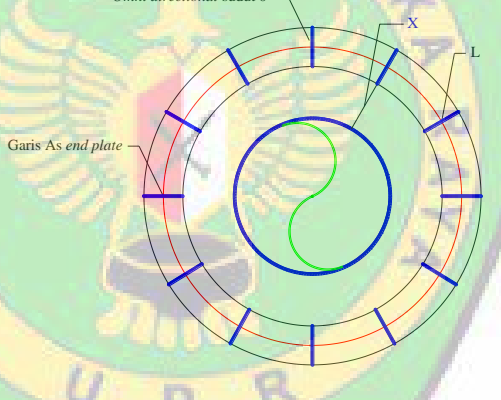
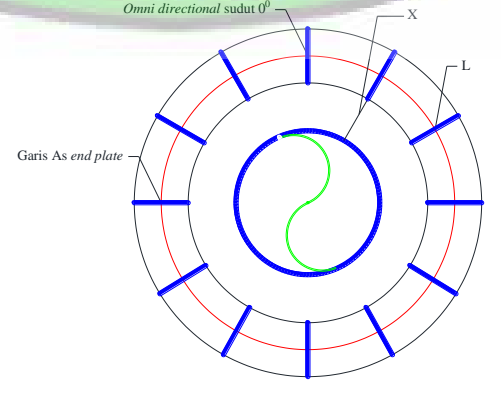
**Tabel 3.4 Komponen Variasi Turbin Savonius yang ditambahkan *Omni Directional Guide Vanes* dengan sudut  $0^\circ$**

No	Nama Komponen	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $0^\circ$	Keterangan
1	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm L = 1,5 cm Berjumlah 3 <i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
2	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm L = 3 cm Berjumlah 3 <i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
3	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm L = 4,5 cm Berjumlah 3 <i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>

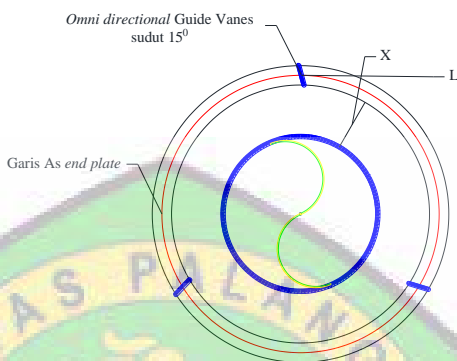

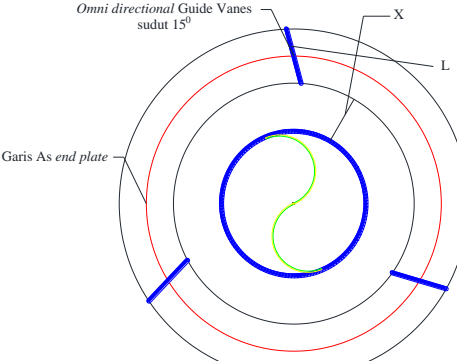
Tabel 3.4 Lanjutan

No	Nama Komponen	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $0^\circ$	Keterangan
4	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 1,5 cm</p> <p>Berjumlah 6</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
5	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 3 cm</p> <p>Berjumlah 6</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
6	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 4,5 cm</p> <p>Berjumlah 6</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>

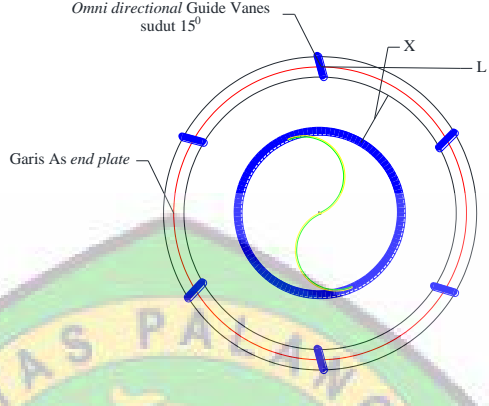
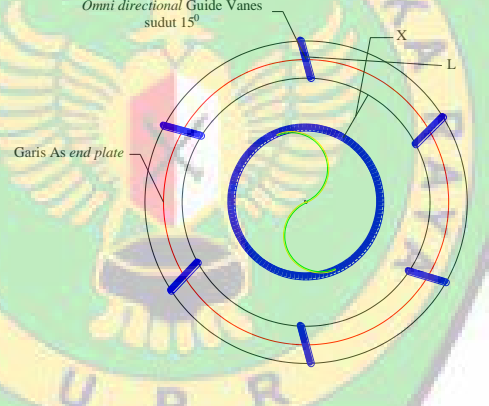
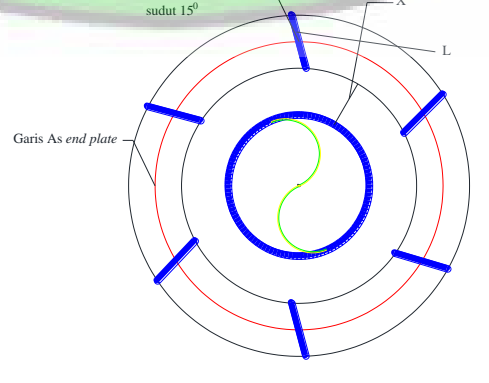
Tabel 3.4 Lanjutan

No	Nama Komponen	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $0^\circ$	Keterangan
7	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 1,5 cm</p> <p>Berjumlah 12</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
8	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 3 cm</p> <p>Berjumlah 12</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
9	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 4,5 cm</p> <p>Berjumlah 12</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>

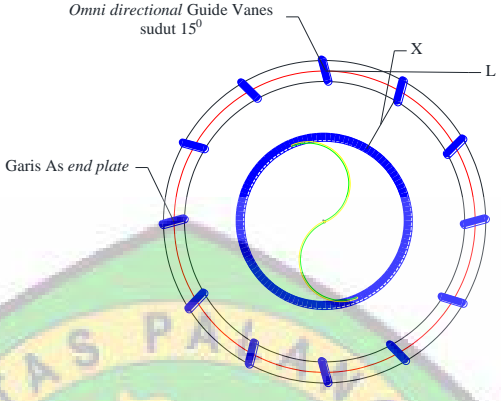
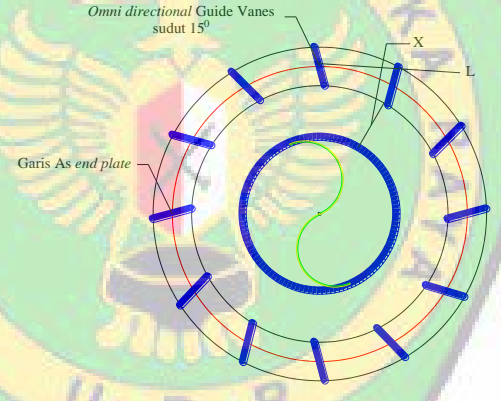
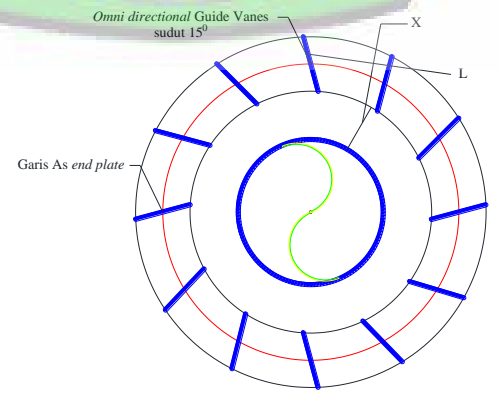
**Tabel 3.5 Komponen Variasi Turbin Savonius yang ditambahkan *Omni Directional Guide Vanes* dengan sudut  $15^\circ$**

No	Nama Komponen	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $15^\circ$	Keterangan
1	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 1,63 cm</p> <p>Berjumlah 3</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
2	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 3,25 cm</p> <p>Berjumlah 3</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
3	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 4,88 cm</p> <p>Berjumlah 3</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>

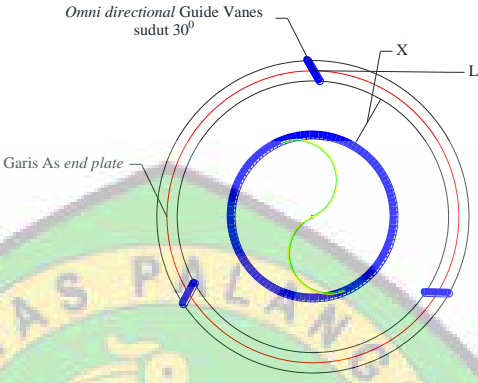
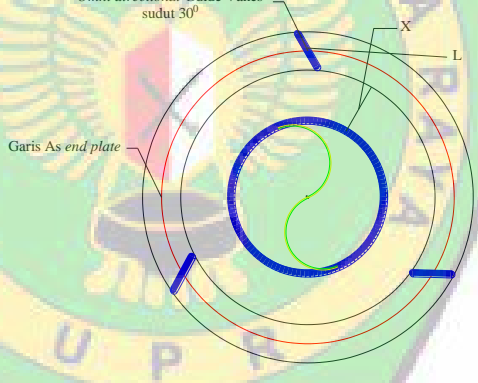
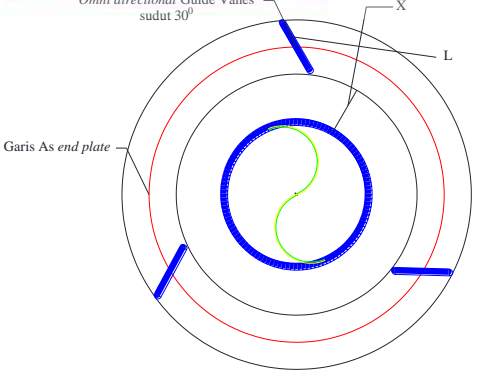
Tabel 3.5 Lanjutan

No	Nama Komponen	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $15^\circ$	Keterangan
4	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 1,63 cm</p> <p>Berjumlah 6</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
5	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 3,25 cm</p> <p>Berjumlah 6</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
6	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 4,88 cm</p> <p>Berjumlah 6</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>

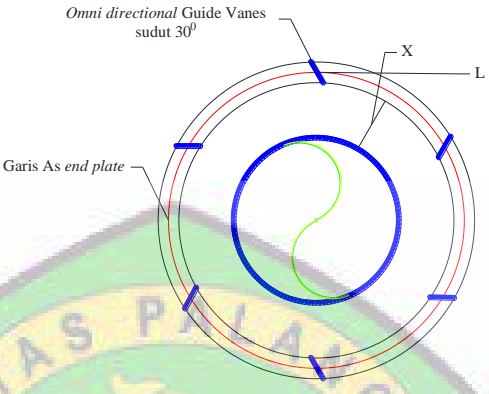
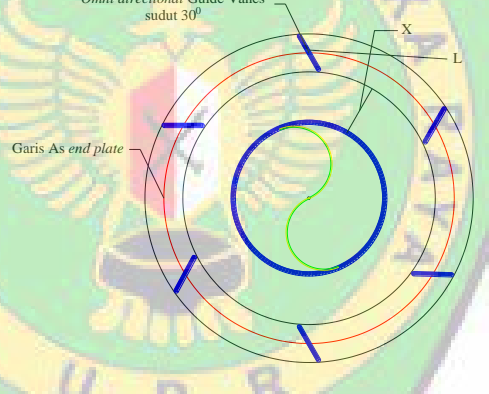
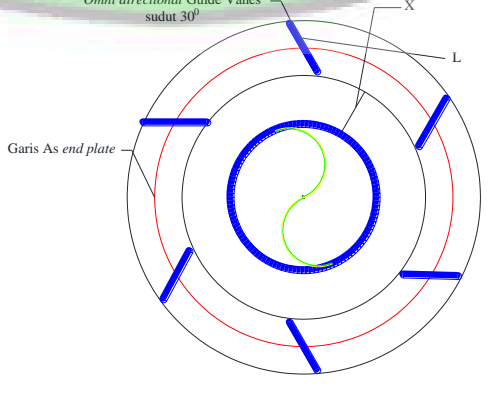
Tabel 3.5 Lanjutan

No	Nama Komponen	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $15^\circ$	Keterangan
7	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm L = 1,63 cm Berjumlah 12 <i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
8	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm L = 3,25 cm Berjumlah 12 <i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
9	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm L = 4,88 cm Berjumlah 12 <i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>

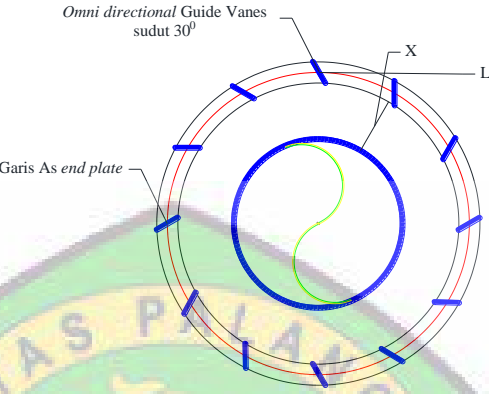
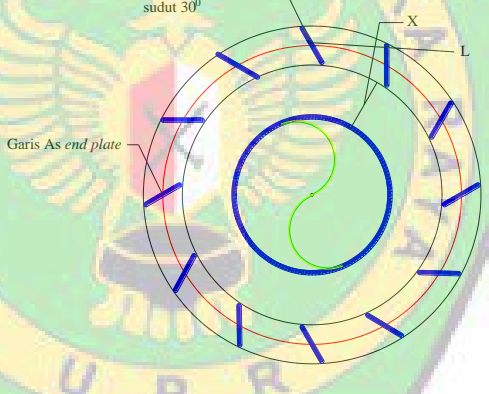
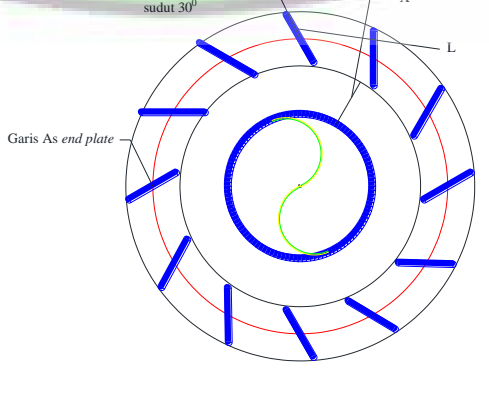
**Tabel 3.6 Komponen Variasi Turbin Savonius yang ditambahkan *Omni Directional Guide Vanes* dengan sudut  $30^\circ$**

No	Nama Komponen	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $30^\circ$	Keterangan
1	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 2,1 cm</p> <p>Berjumlah 3</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
2	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 4,7 cm</p> <p>Berjumlah 3</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
3	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 6,6 cm</p> <p>Berjumlah 3</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>

Tabel 3.6 Lanjutan

No	Nama Komponen	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $30^\circ$	Keterangan
4	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 2,1 cm</p> <p>Berjumlah 6</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
5	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 4,7 cm</p> <p>Berjumlah 6</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
6	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 6,6 cm</p> <p>Berjumlah 6</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>

Tabel 3.6 Lanjutan

No	Nama Komponen	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i> dengan sudut $30^\circ$	Keterangan
7	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 2,1 cm</p> <p>Berjumlah 12</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
8	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 4,7 cm</p> <p>Berjumlah 12</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>
9	Turbin hidrokinetik Savonius yang ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i>		<p>X= 4 cm</p> <p>L = 6,6 cm</p> <p>Berjumlah 12</p> <p><i>Omni Directional Guide Vanes</i></p>

### **3.4 Pembuatan Turbin Savonius, *End Plate*, dan *Omni Directional Guide Vanes***

Turbin Savonius dan ODGV dibuat dengan bahan besi ringan tipis dengan desain yang telah direncanakan dimensinya, yaitu turbin 12 cm, tinggi 21,6 cm, dan jarak antara turbin dengan ODGV adalah 4 cm. Variasi *End plate* pada ODGV adalah 1,5 cm, 3 cm dan 4,5 cm. Variasi sudut pada ODGV adalah  $0^{\circ}$ ,  $15^{\circ}$  dan  $30^{\circ}$ .

### **3.5 Variasi Pengujian**

Pengujian yang digunakan pada penelitian ini yaitu menggunakan debit yang konstan, dan memvariasikan kecepatan air pada kinerja turbin hidrokinetik Savonius dengan turbin hidrokinetik Savonius yang telah ditambahkan *Omni Directional Guide Vanes* dengan sudut yang bervariasi untuk mengamati perilaku dari masing-masing turbin. Data variasi nantinya akan diolah menggunakan rumus-rumus yang sudah ada dan dimasukkan ke dalam bentuk grafik hubungan antar parameter penting dalam penelitian Skripsi ini.

### **3.6 Instrumentasi Pengukuran**

Pada pelaksanaan pengukuran diperlukannya beberapa peralatan untuk mendukung pelaksanaan pengukuran bisa dilihat pada tabel berikut ini:



Tabel 3.7 Instrumentasi Pengukuran

No	Nama Alat	Fungsi
1	 <p data-bbox="613 1196 781 1234"><i>Point Gauge</i></p>	<p data-bbox="1045 461 1398 1234"><i>Point Gauge</i> berfungsi untuk mengukur kedalaman aliran air saat kondisi aliran sudah stabil. Pengambilan data kedalaman aliran dilakukan pada beberapa variasi, lalu data tersebut akan digunakan untuk perhitungan dan pembuatan grafik.</p>
2	 <p data-bbox="646 1798 748 1832">Kamera</p>	<p data-bbox="1045 1429 1398 1608">Kamera digunakan untuk mendokumentasikan pelaksanaan pengujian.</p>

Tabel 3.7 Lanjutan

No	Nama Alat	Fungsi
3	 <p data-bbox="625 1261 781 1294"><i>Tachometer</i></p>	<p data-bbox="1047 461 1385 1301">Merupakan alat yang digunakan untuk mendapatkan nilai RPM pada saat pengujian kinerja dari setiap turbin. Data RPM selanjutnya akan di masukkan dalam form pengujian, kemudian data tersebut akan digunakan untuk perhitungan dan pada pembuatan grafik.</p>
4	 <p data-bbox="625 1758 764 1792"><i>Stopwatch</i></p>	<p data-bbox="1047 1346 1385 1738">Merupakan alat yang digunakan untuk mengukur waktu, pada saat pengambilan data, ketika pengujian sedang dilakukan.</p>

Tabel 3.7 Lanjutan

No	Nama Alat	Fungsi
5	 <p data-bbox="630 954 760 987">Bak Ukur</p>	<p data-bbox="1049 524 1382 925">Berfungsi untuk mendapatkan nilai debit pada saat pengujian dengan dibantu data yang diambil dengan menggunakan <i>stopwatch</i>.</p>
6	 <p data-bbox="602 1845 789 1879"><i>Current meter</i></p>	<p data-bbox="1049 1028 1382 1944">Digunakan untuk pengukuran kecepatan aliran pada flume saat kondisi aliran sudah konstan atau stabil. Data kecepatan aliran akan dibagi dalam beberapa variasi kemudian data tersebut di masukkan ke form pengujian yang nantinya akan digunakan untuk perhitungan dan pembuatan grafik.</p>


Tabel 3.7 Lanjutan

No	Nama Alat	Fungsi
7	 <p data-bbox="641 958 732 992">Pompa</p>	<p data-bbox="1027 488 1382 887">Berfungsi untuk mengalirkan air dari Bak Penampungan/Tandon ke dalam <i>flume</i>, jumlah pompa yang digunakan adalah 3 buah pompa.</p>
8	 <p data-bbox="646 1749 727 1783">Papan</p>	<p data-bbox="1027 1133 1382 1675">Merupakan bagian dari <i>flume</i> untuk membantu mengatur kedalaman aliran agar tetap konstan walaupun kecepatan aliran berubah, sehingga ketinggian dari papan dapat diatur.</p>

Tabel 3.7 Lanjutan

No	Nama Alat	Fungsi
9	 <p data-bbox="597 1025 799 1057">Torque Wrench</p>	<p data-bbox="1052 600 1383 922">Torque Wrench adalah alat yang digunakan untuk mengukur torsi dari setiap turbin pada saat pengujian dilakukan</p>
10	 <p data-bbox="652 1908 743 1939">Turbin</p>	<p data-bbox="1052 1137 1383 1832">Turbin merupakan alat yang akan ditinjau kinerjanya pada saat pengujian dilakukan, turbin terletak di dalam flume. Turbin yang akan diuji adalah Turbin Hidrokinetik arah Vertikal berjenis Savonius.</p>

Tabel 3.7 Lanjutan

No	Nama Alat	Fungsi
11	 <p data-bbox="678 1182 764 1216"><i>Flume</i></p>	<p data-bbox="1105 450 1385 775"><i>Flume</i> berfungsi sebagai saluran tempat mengalirnya air pada saat pengujian dilaksanakan,</p> <p data-bbox="1105 887 1385 1211">saluran <i>Flume</i> memiliki dimensi tinggi 44 cm, lebar 46 cm, dan panjang 440 cm.</p>
12	 <p data-bbox="402 1733 1040 1771">Turbin Savonius dengan <i>Omni Directional Guide</i></p> <p data-bbox="743 1809 824 1843"><i>Vanes</i></p>	<p data-bbox="1105 1323 1385 1872">Tampak atas dan tampak samping pemasangan Turbin Savonius dengan ditambahkan <i>Omni Directional Guide Vanes</i> pada saluran <i>flume</i>.</p>

### 3.7 Parameter yang Diukur

Parameter yang diukur dapat dilihat seperti yang ditunjukkan pada formulir pengujian yaitu Tabel 3.8. Pengukuran kedalaman aliran diukur menggunakan *Point Gauge*. Pengukuran debit ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) menggunakan bak ukur. Pengukuran nilai torsi menggunakan *Torque Wrench* (alat pengukur gaya). Pengukuran nilai jumlah putaran turbin menggunakan *Tachometer*.

### 3.8 Perbandingan Kinerja

Pengaruh perbandingan kinerja dari penambahan besar sudut *Omni Directional Guide Vanes* terhadap kinerja turbin Hidrokinetik arah vertikal berjenis Savonius.

1. Hubungan antara variasi kecepatan aliran air dengan  $\frac{y}{D}$ .
2. Hubungan antara RPM terhadap variasi kecepatan aliran air.
3. Hubungan antara Torsi terhadap variasi sudut.
4. Hubungan antara RPM terhadap Torsi.
5. Hubungan antara Torsi terhadap variasi kecepatan aliran air.
6. Hubungan antara  $C_p$  (*Coefficient of Power*) dan *Tip Speed Ratio* (TSR).

Tabel 3.8 Formulir Pengambilan Data Perbandingan Hasil Pengujian Turbin Savonius dengan penambahan *Omni Directional Guide Vanes*

No	Variasi	V Terukur			V Hitung (m/s)	v (m/s)	h (m)	Parameter Yang Diukur		
		0.2	0.6	0.8				Q (m <sup>3</sup> /dtk)	Torsi (Nm)	RPM
1	TS V1									
2	TS L1 B1 S1 V1									
3	TS L1 B1 S2 V1									
4	TS L1 B1 S3 V1									
5	TS L1 B2 S1 V1									
6	TS L1 B2 S2 V1									
7	TS L1 B2 S3 V1									
8	TS L1 B3 S1 V1									
9	TS L1 B3 S2 V1									
10	TS L1 B3 S3 V1									
11	TS L2 B1 S1 V1									
12	TS L2 B1 S2 V1									
13	TS L2 B1 S3 V1									
14	TS L2 B2 S1 V1									
15	TS L2 B2 S2 V1									
16	TS L2 B2 S3 V1									
17	TS L2 B3 S1 V1									
18	TS L2 B3 S2 V1									
19	TS L2 B3 S3 V1									
20	TS L3 B1 S1 V1									
21	TS L3 B1 S2 V1									
22	TS L3 B1 S3 V1									
23	TS L3 B2 S1 V1									
24	TS L3 B2 S2 V1									
25	TS L3 B2 S3 V1									
26	TS L3 B3 S1 V1									
27	TS L3 B3 S2 V1									
28	TS L3 B3 S3 V1									

Tabel 3.8 (Lanjutan)

No	Variasi	V Terukur			V Hitung (m/s)	v (m/s)	h (m)	Parameter Yang Diukur		
		0.2	0.6	0.8				Q (m <sup>3</sup> /dtk)	Torsi (Nm)	RPM
29	TS V2									
30	TS L1 B1 S1 V2									
31	TS L1 B1 S2 V2									
32	TS L1 B1 S3 V2									
33	TS L1 B2 S1 V2									
34	TS L1 B2 S2 V2									
35	TS L1 B2 S3 V2									
36	TS L1 B3 S1 V2									
37	TS L1 B3 S2 V2									
38	TS L1 B3 S3 V2									
39	TS L2 B1 S1 V2									
40	TS L2 B1 S2 V2									
41	TS L2 B1 S3 V2									
42	TS L2 B2 S1 V2									
43	TS L2 B2 S2 V2									
44	TS L2 B2 S3 V2									
45	TS L2 B3 S1 V2									
46	TS L2 B3 S2 V2									
47	TS L2 B3 S3 V2									
48	TS L3 B1 S1 V2									
49	TS L3 B1 S2 V2									
50	TS L3 B1 S3 V2									
51	TS L3 B2 S1 V2									
52	TS L3 B2 S2 V2									
53	TS L3 B2 S3 V2									
54	TS L3 B3 S1 V2									
55	TS L3 B3 S2 V2									
56	TS L3 B3 S3 V2									

Tabel 3.8 (Lanjutan)

No	Variasi	V Terukur			V Hitung (m/s)	v (m/s)	h (m)	Parameter Yang Diukur		
		0.2	0.6	0.8				Q (m <sup>3</sup> /dtk)	Torsi (Nm)	RPM
57	TS V3									
58	TS L1 B1 S1 V3									
59	TS L1 B1 S2 V3									
60	TS L1 B1 S3 V3									
61	TS L1 B2 S1 V3									
62	TS L1 B2 S2 V3									
63	TS L1 B2 S3 V3									
64	TS L1 B3 S1 V3									
65	TS L1 B3 S2 V3									
66	TS L1 B3 S3 V3									
67	TS L2 B1 S1 V3									
68	TS L2 B1 S2 V3									
69	TS L2 B1 S3 V3									
70	TS L2 B2 S1 V3									
71	TS L2 B2 S2 V3									
72	TS L2 B2 S3 V3									
73	TS L2 B3 S1 V3									
74	TS L2 B3 S2 V3									
75	TS L2 B3 S3 V3									
76	TS L3 B1 S1 V3									
77	TS L3 B1 S2 V3									
78	TS L3 B1 S3 V3									
79	TS L3 B2 S1 V3									
80	TS L3 B2 S2 V3									
81	TS L3 B2 S3 V3									
82	TS L3 B3 S1 V3									
83	TS L3 B3 S2 V3									
84	TS L3 B3 S3 V3									

KETERANGAN :

- L = LEBAR OMNI DIRECTIONAL GUIDE VANES (cm)
- B = JUMLAH BILAH OMNI DIRECTIONAL GUIDE VANES (Bh)
- S = SUDUT KEMIRINGAN OMNI DIRECTIONAL GUIDE VANES (°)
- V = KECEPATAN ALIRAN (m/s)

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian serta pembahasan hasil pengujian perbandingan kinerja turbin hidrokinetik Savonius dengan atau tanpa penambahan variasi sudut ODGV dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain turbin hidrokinetik Savonius dengan penambahan variasi sudut ODGV adalah sebagai berikut:
  - a) Turbin hidrokinetik Savonius memiliki dimensi yaitu tinggi turbin = 21,6 cm dan dengan diameter turbin ( $D$ ) = 12 cm. Turbin hidrokinetik Savonius konvensional memiliki dimensi yang sama dengan Turbin Savonius dengan penambahan ODGV. Penambahan variasi ODGV dapat dilepas pasang sesuai kebutuhan.
  - b) Dimensi *end plate* yaitu  $1/4$ ,  $1/2$  dan  $3/4$  dari jari – jari turbin. *Rectifier* merupakan bagian dari ODGV.
  - c) Variasi sudut yang digunakan pada ODGV yaitu sudut  $0^\circ$ ,  $15^\circ$  dan  $30^\circ$  dengan kemiringan berlawanan arah jarum jam.
2. Perbandingan kinerja turbin hidrokinetik Savonius dengan atau tanpa penambahan variasi sudut ODGV adalah sebagai berikut:

- a) Turbin hidrokinetik Savonius memiliki kinerja yang lebih besar dari pada turbin angin disebabkan oleh nilai densitas pada air dapat meningkatkan gaya dorong yang dimiliki.
- b) Penambahan variasi sudut pada ODGV memperkecil putaran turbin hidrokinetik Savonius. Semakin kecil kemiringan sudut pada *rectifier* maka nilai RPM semakin tinggi. Namun dalam kondisi tertentu pada variasi penambahan *guide vanes* kemiringan sudut  $15^\circ$  dan  $30^\circ$  dapat meningkatkan nilai RPM turbin hidrokinetik Savonius dengan ODGV.
- c) Penambahan *guide vanes* terbukti dapat meningkatkan torsi positif pada turbin hidrokinetik Savonius sehingga dapat meningkatkan kinerja yang dimiliki turbin hidrokinetik Savonius. Namun dengan kemiringan sudut pada ODGV mengakibatkan nilai torsi pada turbin hidrokinetik Savonius mengalami penurunan.
- d) Variasi sudut  $0^\circ$  pada ODGV mempengaruhi kecepatan yang diterima *blade* turbin hidrokinetik Savonius sehingga dapat meningkatkan nilai *coefficient of power* ( $C_p$ ). Namun pada beberapa variasi, putaran yang dihasilkan turbin lebih kecil sehingga menurunkan nilai *tip speed ratio* (TSR).
- e) Pada variasi sudut  $0^\circ$  dengan lebar *end plate*  $1/2$  pada seluruh *rectifier* 3, 6 dan 12 *blade* dari jari-jari turbin memiliki kinerja yang paling baik dari variasi yang lainnya.

## 5.2 Saran

Dari hasil pengujian di laboratorium, disarankan untuk melakukan penelitian lanjutan dengan variasi jarak pada ODGV dan turbin Savonius serta variasi ukuran *blade rectifier* pada ODGV untuk mengetahui seberapa besar pengaruh penambahan ODGV pada kinerja turbin hidrokinetik Savonius.



## DAFTAR PUSTAKA

- Alexander, A. S., Santhanakrishnan, A. (2018) 'Trapped Cylindrical Flow with Multiple Inlets for Savonius Vertical Axis Wind Turbines', *Journal of Fluids Engineering, Transactions of the ASME*, 140(4). doi: 10.1115/1.4038166.
- Altan, B. D., Atilgan, M., Özdamar, A. (2008) 'An Experimental Study on Improvement of a Savonius Rotor Performance with Curtaining', *Experimental Thermal and Fluid Science*, 32(8), pp. 1673–1678. doi: 10.1016/j.expthermflusci.2008.06.006.
- Altan, B. D., Atilgan, M. (2010) 'The use of a curtain design to increase the performance level of a Savonius wind rotors', *Renewable Energy*, 35(4), pp. 821–829. doi: 10.1016/j.renene.2009.08.025.
- Altan, B. D., Atilgan, M. (2012) 'A study on increasing the performance of Savonius wind rotors', *Journal of Mechanical Science and Technology*, 26(5), pp. 1493–1499. doi: 10.1007/s12206-012-0313-y.
- Antomo, T., Kamiana, I. M., Nindito, D. A. (2020) 'Analisis pengembangan hidrokinetik turbin gorlov akibat penambahan luas bidang tangkap', *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 16(2), pp. 159. doi: 10.36055/tjst.v16i2.9186.
- Chen, C. A., Huang, T. Y., Chen, C. H. (2015) 'Novel plant development of a parallel matrix system of Savonius wind rotors with wind deflector', *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 7(1), pp. 1–15. doi: 10.1063/1.4906978.
- El-Askary, W. A., Nasef M. H., AbdEl-hamid, A. A., Gad, H. E. (2015) 'Harvesting wind energy for improving performance of savonius rotor', *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. Elsevier, 139, pp. 8–15. doi: 10.1016/j.jweia.2015.01.003.
- Elbatran, A. H., Ahmed, Y. M., Shehata, A. S. (2017) 'Performance study of ducted nozzle Savonius water turbine, comparison with conventional Savonius turbine', *Energy*. Elsevier Ltd, 134, pp. 566–584. doi: 10.1016/j.energy.2017.06.041.
- Golecha, K., Eldho, T. I., Prabhu, S. V. (2011) 'Influence of the deflector plate on the performance of modified Savonius water turbine', *Applied Energy*. Elsevier Ltd, 88(9), pp. 3207–3217. doi: 10.1016/j.apenergy.2011.03.025.
- Hantoro, R., Prananda J., Mahmashani, A.W., Pelz, P., Metzler, M., Rat, C. L., Prostean, O., Filip, I. (2018) 'Innovation in Vertical Axis Hydrokinetic Turbine -

Straight Blade Cascaded (VAHT-SBC) Design and Testing for Low Current Speed Power Generation', in *Journal of Physics: Conference Series*. doi: 10.1088/1742-6596/1022/1/012023.

Ichsan, N., Nindito, D. A., Saputra, R. H. (2021) 'Uji Eksperimental Pengaruh Dimensi Lebar Rectifier Guide Vanes terhadap Kinerja Turbin Hidrokinetik Savonius', *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 7(2), pp. 96–107. doi: 10.26760/rekaracana.v7i2.96.

Iio, S., Katayama, Y., Uchiyama, F., Sato, E., Ikeda, T. (2011) 'Influence of setting condition on characteristics of Savonius hydraulic turbine with a shield plate', *Journal of Thermal Science*, 20(3), pp. 224–228. doi: 10.1007/s11630-011-0462-9.

Kailash, G., Eldho, T. I., Prabhu, S. V. (2012) 'Performance study of modified savonius water turbine with two deflector plates', *International Journal of Rotating Machinery*, 2012. doi: 10.1155/2012/679247.

Kang, C., Opare, W., Pan, C., Zou, Z. (2018) 'Upstream flow control for the savonius rotor under various operation conditions', *Energies*, 11(6), pp. 1–20. doi: 10.3390/en11061482.

Kumar, D., Sarkar, S. (2016) 'Numerical investigation of hydraulic load and stress induced in Savonius hydrokinetic turbine with the effects of augmentation techniques through fluid-structure interaction analysis', *Energy*. Elsevier Ltd, 116, pp. 609–618. doi: 10.1016/j.energy.2016.10.012.

Maldonado, R. D., Huerta, E., Corona, J. E., Ceh, O., León-Castillo, A. I., Gómez-Acosta, M. P., Mendoza-Andrade, E. (2014) 'Design, Simulation and Construction of a Savonius Wind Rotor for Subsidized Houses in Mexico', *Energy Procedia*. Elsevier B.V., 57, pp. 691–697. doi: 10.1016/j.egypro.2014.10.224.

Mohamed, M. H., Janiga, G., Pap, E., Thèvenin, D. (2010) 'Optimization of Savonius turbines using an obstacle shielding the returning blade', *Renewable Energy*. Elsevier Ltd, 35(11), pp. 2618–2626. doi: 10.1016/j.renene.2010.04.007.

Mohamed, M. H., Janiga, G., Pap, E., Thèvenin, D. (2011) 'Optimal blade shape of a modified Savonius turbine using an obstacle shielding the returning blade', *Energy Conversion and Management*. Elsevier Ltd, 52(1), pp. 236–242. doi: 10.1016/j.enconman.2010.06.070.

- Monika, Y., Nindito, D. A., Yupi, H. M. (2022) 'Efek Sudut ODGV Terhadap Profil Distribusi Kecepatan Aliran Di Hilir Turbin Hidrokinetik Savonius', *PROTEKSI (Program Studi Teknik Sipil)*, 6(1), pp. 42–48.
- Nindito, D. A. (2009) 'Pengaruh Profil Distribusi Kecepatan Terhadap Hasil Perhitungan Kecepatan Gesek pada Aliran Bersedimen di Lokasi Pengukuran Arah Transversal Saluran Tampang Segiempat', *PROTEKSI (Program Studi Teknik Sipil)*, pp. 8–15.
- Nindito, D. A., Istiarto, I., Kironoto, B. A. (2008) 'Simulasi Numeris Tiga Dimensi Kantong Lumpur Bendung Sapon', *Civil Engineering Forum Teknik Sipil*, XVIII(1), pp. 712–724.
- Nindito, D. A., Kamiana, I. M. (2010) 'Perencanaan Model Plta Skala Kecil Berbasis Teknologi Lokal di Daerah Pemukiman Tepi Sungai', *PROTEKSI (Program Studi Teknik Sipil)*, pp. 1–7.
- Octauria, E. P., Nindito, D. A., Saputra, R. H. (2021) 'Uji Eksperimental Pengaruh Sudut Omni Directional Guide Vanes Terhadap Performa Turbin Hidrokinetik Darrieus', *EKSERGI Jurnal Teknik Energi*, 17(2), pp. 95–108. doi: 10.32497/eksergi.v17i2.2581.
- Prasetyo, A., Kristiawan B., Danardono, D., Hadi, S. (2018) 'The Effect of Deflector Angle in Savonius Water Turbine with Horizontal Axis on the Power Output of Water Flow in Pipe', *Journal of Physics: Conference Series*, 979(1), pp. 1–6. doi: 10.1088/1742-6596/979/1/012043.
- Pratama, A., Nindito, D. A., Saputra, R. H. (2021) 'Studi Eksperimental Sistem Pengarah Aliran Pada Turbin Hidrokinetik Archimedes Spiral', *Jurnal Teknik*, 19(1), pp. 1–11. doi: 10.37031/jt.v19i1.
- Rianti, D., Nindito, D. A., Saputra, R. H. (2021) 'Pengaruh Kemiringan Straight Blade Terhadap Peningkatan Kemampuan Self-Starting Turbin Hidrokinetik Articulating H-Rotor', *Teknika: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 16(2), pp. 78–88. doi: /10.26623/teknika.v14i2.kodeartikel.
- Roy, S., Saha, U. K. (2013) 'Review of Experimental Investigations into the Design, Performance and Optimization of the Savonius Rotor', *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy*, 227(4), pp. 528–542. doi: 10.1177/0957650913480992.

- Sahim, K., Ihtisan, K., Santoso, D., Sipahutar, R. (2014) 'Experimental Study of Darrieus-Savonius Water Turbine with Deflector: Effect of Deflector on the Performance', *International Journal of Rotating Machinery*, 2014. doi: 10.1155/2014/203108.
- Siregar, I. H., Effendy, M., Rasyid, A. (2020) 'Effect of the Number of Vanes in the Omnidirectional Guide Vane on Performance of Swirling Savonius Rotor', *International Journal of Advanced Science and Technology*, (September). doi: 10.18178/ijmerr.10.8.464-468.
- Sucie, E., Nindito, D. A., Jaya, A. R. (2022a) 'Kinerja Turbin Hidrokinetik Ventilator', *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan*, 5(2), pp. 59–64.
- Sucie, E., Nindito, D. A., Jaya, A. R. (2022b) 'Uji Eksperimental Pengaruh Konfigurasi Bilah Terhadap Performa Turbin Ventilator di Air', *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 08(3), pp. 144–153. doi: 10.26760/rekaracana.v8i3.144
- Tang, Z. P., Yao, Y. X., Zhou, L., Yao, Q. (2012) 'Optimal design of a new type of savonius rotor using simulation analysis', *Key Engineering Materials*, 499, pp. 120–125. doi: 10.4028/www.scientific.net/KEM.499.120.
- Tartuferi, M., D'Alessandro, V., Montelpare, S., Ricci, R. (2015) 'Enhancement of savonius wind rotor aerodynamic performance: A computational study of new blade shapes and curtain systems', *Energy*. Elsevier Ltd, 79(C), pp. 371–384. doi: 10.1016/j.energy.2014.11.023.
- Wardani, C. S., Nindito, D. A., Jaya, A. R. (2020) 'Inovasi Dan Desain Turbin Hidrokinetik Darrieus Berdasarkan Bentuk Distribusi Kecepatan Aliran', *Media Ilmiah Teknik Sipil*, 9(1), pp. 32–43. doi: 10.33084/mits.v9i1.1771.
- Wicaksono, Y. A., Tjahjana, D. D. D. P. (2017) 'Computational Study: The Influence of Omni-Directional Guide Vane on the Flow Pattern Characteristic Around Savonius Wind Turbine', *AIP Conference Proceedings*, 1788. doi: 10.1063/1.4968269.
- Yudistira, R., Nindito, D. A., Saputra, R. H. (2021a) 'Kinerja Turbin Hidrokinetik Tornado Savonius', *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Keteknikan*, 4(2), pp. 181–186. doi: 10.52868/jt.v4i2.2732.
- Yudistira, R., Nindito, D. A., Saputra, R. H. (2021b) 'Uji Eksperimental Pengembangan Turbin Hidrokinetik Savonius Berdasarkan Bentuk Profil

Distribusi Kecepatan Aliran', *RekaRacana: Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), pp. 215–225. doi: 10.26760/rekaracana.v7i1.215.

Zhipeng, T., Yingxue, Y., Liang, Z., Jinming, W., Bowen, Y. (2013) 'Simulation analysis of savonius turbine with self-rotating blades', in *Advanced Materials Research*. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.614-615.480.

