

**UJI PERFORMA ROTOR SAVONIUS BERBASIS *BEZIER*  
*CURVE* MENGGUNAKAN CFD (*COMPUTATIONAL FLUID*  
*DYNAMICS*) PADA TURBIN ARUS LAUT DI SELAT SUNDA**

**Skripsi**

**Untuk memenuhi sebagian persyaratan mencapai derajat Sarjana S1  
pada Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa**



Disusun Oleh

**Alwan Habibie**

**3331200102**

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SULTAN AGENG TIRTAYASA  
CILEGON-BANTEN**

**2024**

## TUGAS AKHIR

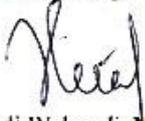
### Uji Performa Rotor Savonius Berbasis Bezier Curve Menggunakan CFD (Computational Fluids Dynamic) Pada Turbin Arus Laut Di Selat Sunda

Dipersiapkan dan disusun Oleh :

**Alwan Habibie**  
3331120102

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji  
pada tanggal, 25 Januari 2024

**Pembimbing Utama**

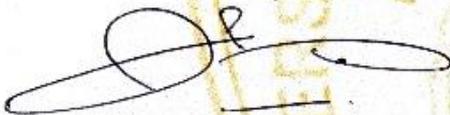


Hadi Wahyudi, MT., Ph.D.  
NIP.197101162002121001

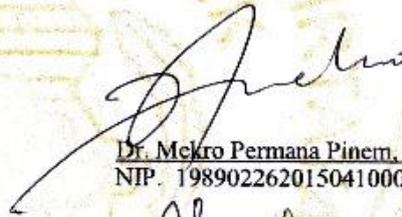
**Anggota Dewan Penguji**



Yusvardi Yusuf, S.T., M.T.  
NIP.197910302003121001



Dedy Triawan Suprayogi, ST., M. Eng., Ph. D.  
NIP.198206212022031001



Dr. Mckro Permana Pinem, ST., MT.  
NIP. 198902262015041000



Hadi Wahyudi, MT., Ph.D.  
NIP.197101162002121001



Dedy Triawan Suprayogi, ST., M. Eng., Ph. D.  
NIP.198206212022031001

**Tugas Akhir ini sudah diterima sebagai salah satu persyaratan  
untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik**



Tanggal, 14 Mei 2023  
Ketua Jurusan Teknik Mesin UNTIRTA

Dhimas Satria, S.T., M.Eng.  
NIP. 198305102012121006

## HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi

### UJI PERFORMA ROTOR SAVONIUS BERBASIS BEZIER CURVE MENGUNAKAN CFD (*COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS*) PADA TURBIN ARUS LAUT DI SELAT SUNDA

Yang dipersiapkan dan disusun oleh:

**Alwan Habibie**

**3331200102**

Telah disetujui oleh dosen pembimbing skripsi

Pada tanggal 22 Mei 2024

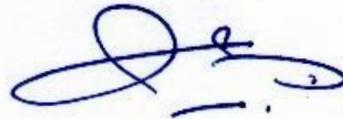
Dosen Pembimbing 1,



**Hadi Wahyudi, MT., Ph.D**

**NIP. 197101162002121001**

Dosen Pembimbing 2,



**Ir. Dedv Triawan Supravogi, S.T., MEng, Ph.D,**

**NIP. 198206212022031001**

Skripsi ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan

Untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

Tanggal 22 Mei 2024

Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa



**Ir. Dhimas Satria, S.T., M.Eng.**

**NIP. 198305102012121006**

## **PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR**

Yang bertanda tangan di bawah ini,

Nama : Alwan Habibie

NPM : 3331200102

**Judul : UJI PERFORMA ROTOR SAVONIUS BERBASIS BEZIER CURVE  
MENGUNAKAN CFD (COMPUTATIONAL FLUID DYNAMICS)  
PADA TURBIN ARUS LAUT DI SELAT SUNDA**

Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa,

### **MENYATAKAN**

Bahwa skripsi ini hasil karya sendiri dan tidak ada duplikat dengan karya orang lain, kecuali untuk yang telah disebutkan sumbernya.

Cilegon, 06 Mei 2024



**Alwan Habibie**  
**3331200102**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah Subhana Wata'ala, karena telah memberikan segala kenikmatan kepada penulis, maupun pembaca semua, karena dengan nikmat-Nya lah kita diberikan kesehatan, waktu luang, sampai dengan kasih sayang rahmat-Nya yang sangat kita rindukan. Shalawat serta salam, tak lupa kepada nabi kita yaitu Muhammad Shalallahu 'Alaihi Wasalam, yang telah berjuang dengan para sahabatnya untuk memperjuangkan islam, sehingga kita bisa merasakan manisnya kekeluargaan, manisnya kebaikan dan keindahan agama ini. Sebagaimana kita ketahui bahwa laporan ini ditujukan untuk menyelesaikan tugas akhir di jurusan Teknik Mesin Untirta, semoga dengan adanya laporan tugas akhir ini, dapat memberikan hal-hal yang bermanfaat, bagi penulis, dan tentunya bagi pembaca. Sebagai penulis kami sangat menyadari bahwa laporan ini jauh dari kata sempurna, maka dari itu penulis mengharapkan kritik dan saran yang dapat membangun hal-hal yang berkaitan dengan laporan ini. Dengan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dan bimbingannya kepada:

1. Bapak Dhimas Satria, ST., M.Eng. Selaku ketua jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa;
2. Ibu Miftahul Jannah S.T., M.T. selaku koordinator tugas akhir jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa;
3. Bapak Dr. Eng. HENDRA, ST., MT. Selaku dosen Pembimbing Akademik, yang telah membimbing seluruh kegiatan akademik saya selama ini;
4. Bapak Hadi Wahyudi, S.T., M.T., Ph.D Selaku Pembimbing pertama, yang telah memberikan bimbingan dan arahnya selama menyelesaikan tugas akhir ini;
5. Bapak Ir. Dedy Triawan Suprayogi, ST., M.Sc., Ph.D., C.Eng., IPM Selaku Pembimbing kedua, yang telah memberikan bimbingan dan arahnya selama menyelesaikan tugas akhir ini;
6. Seluruh dosen jurusan Teknik Mesin Universitas Sultan Ageng Tirtayasa;

7. Orang tua kami, yaitu Bapak Herman dan Ibu Maya Safitri serta seluruh keluarga yang senantiasa mendukung baik moral maupun materil, dan juga doa yang selalu mengikuti setiap langkah saya;
8. Seluruh teman-teman Teknik Mesin angkatan 2020 Universitas Sultan Ageng Tirtayasa;
9. Seluruh pihak yang membantu baik moral, materil, dan semangat yang tidak bisa disebutkan satu persatu.

Akhir kata, kami berharap kepada Allah untuk membalas segala kebaikan untuk seluruh pihak yang telah membantu dan andil dalam melaksanakan tugas akhir ini.

Cilegon, Maret 2024

Penulis

## ABSTRACT

Renewable energy, as described in Law No. 30 of 2007 on energy, refers to renewable energy sources, such as geothermal, wind, bioenergy, sunlight, water flow and plunge, and the movement and temperature difference of the ocean layer. In Indonesia, there are many straits that have potential current speeds of around 2.0 m/s or even more. This speed is sufficient to be utilized as electrical energy (Setiyono et al., 2019), among the straits that have sufficient potential related to ocean currents is the Sunda Strait, according to research conducted by (Serodja et al., 2022) Sunda Strait has an average potential ocean current of 0.53 m/s and the maximum current speed reaches 0.87 m/s in the middle of the strait. This research was conducted with conventional rotor geometry and dimensions taken from (Yaakob et al., 2013) entitled “Experimental Studies on Savonius-type Vertical Axis Rotore for Low Marine Current Velocity” and a four-point control Bezier geometry shape with dimensions readjusted for comparison, taken from research (Zemamou et al., 2020) entitled “A Novel Blade Blade”, 2020) entitled “A Novel Blade Design For Savonius Wind Turbine Based On Polynomial Bezier Curves For Aerodynamic Performance Enhancement” containing a comparison of conventional or semicircular savonius turbines and updating them to Bezier Curve 4 control points, with the help of CFD will determine which type gets better rotor torque, which results in torque generated Conventional gets a better value, namely getting 13.29 Nm while Bezier 12.96 Nm at an angle of  $135^\circ$  in a clockwise direction.

**Keywords:** Bezier, New Renewable Energy, Sunda Strait, Savonius

## ABSTRAK

Energi terbarukan, sebagaimana dijelaskan dalam Undang-Undang Nomor 30 tahun 2007 tentang energi, merujuk pada sumber energi yang dapat diperbaharui, seperti panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut. Di Indonesia, terdapat banyak selat yang memiliki potensi kecepatan arus yaitu sekitar 2.0 m/s atau bahkan lebih. Kecepatan ini sudah mencukupi untuk dimanfaatkan menjadi energi listrik (Setiyono et al., 2019), diantara selat yang memiliki potensi yang memadai terkait arus laut tersebut yaitu adalah Selat Sunda, menurut penelitian yang dilakukan oleh (Serodja et al., 2022) Selat Sunda memiliki potensi arus laut rata-rata sebesar 0.53 m/s dan kecepatan arus maksimum mencapai 0.87 m/s yang berada di tengah selat. Penelitian ini dilakukan dengan geometri dan dimensi rotor konvensional yang diambil dari (Yaakob et al., 2013) yang berjudul “Experimental Studies on Savonius-type Vertical Axis Rotore for Low Marine Current Velocity” dan bentuk geometri Bezier empat titik control dengan dimensi yang disesuaikan kembali untuk perbandingan, diambil dari penelitian (Zemamou et al., 2020) yang berjudul “A Novel Blade Design For Savonius Wind Turbine Based On Polynomial Bezier Curves For Aerodynamic Performance Enhancement” dengan berisikan perbandingan turbin savonius konvensional atau setengah lingkaran dan memperbaharui menjadi Bezier Curve 4 titik kontrol, dengan bantuan CFD akan menentukan jenis mana yang mendapatkan torsi rotor lebih baik, yaitu menghasilkan torsi yang dihasilkan Konvensional mendapatkan nilai yang lebih baik yaitu mendapatkan 13.29 Nm sedangkan Bezier 12.96 Nm pada sudut 135° dengan arah searah jarum jam.

**Keywords:** Bezier, Energi Baru Terbarukan, Selat Sunda, Savonius.

## DAFTAR ISI

<b>COVER</b> .....	i
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	ii
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	iii
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR</b> .....	iv
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	v
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>ABSTRAK</b> .....	viii
<b>DAFTAR ISI</b> .....	ix
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Energi Baru Terbarukan .....	5
2.1.1 Energi Laut .....	6
2.1.2 Karakteristik Selat Sunda .....	10
2.2 Rotor Savonius .....	13
2.3 Sejarah dan Perkembangan Rotor Savonius .....	15
2.4 <i>Bezier Curve</i> .....	16
2.5 <i>Computational Fluid Dynamics (CFD)</i> .....	20
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	22
3.2 Dimensi Utama .....	25
3.3 Perbandingan Hasil Uji Performa .....	28
3.3.1 Perbandingan Tingkat Rotor Konvensional .....	28
3.3.1 Perbandingan <i>Overlap Ratio</i> .....	28
3.4 ANSYS <i>Fluent</i> .....	29

3.5	Tempat Waktu Penelitian .....	31
3.6	Metode Penelitian.....	31
<b>BAB IV DATA HASIL DAN PEMBAHASAN</b>		
4.1	Hasil Pengamatan Arus Laut.....	32
4.2	Simulasi CFD .....	37
4.3	Hasil Perbandingan Tingkat Rotor Konvensional.....	40
4.4	Hasil Perbandingan Bezier dengan Konvensional .....	42
4.2.1	Perbandingan <i>Overlap</i> 0.15.....	44
4.2.2	Perbandingan <i>Overlap</i> 0.18.....	46
4.2.3	Perbandingan <i>Overlap</i> 0.21.....	47
4.5	Hasil Perbandingan Sudut dengan <i>Contours</i> .....	48
4.6	Kinerja Rotor Savonius Bezier .....	51
<b>BAB V KESIMPULAN DAN PENUTUP</b>		
5.1	Kesimpulan.....	56
5.2	Saran .....	56
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b>	Potensi Arus Laut Selat Sunda .....	1
<b>Gambar 1.2</b>	Potensi Arus Laut Selat Sunda 2 .....	2
<b>Gambar 2.1</b>	Sistem Oscillating Water Column.....	7
<b>Gambar 2.2</b>	Sistem Perbedaan Suhu Air Laut .....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Sistem Pasang Surut Air Laut .....	9
<b>Gambar 2.4</b>	Energi Laut Selat Sunda.....	12
<b>Gambar 2.5</b>	Skema Rotor Savonius susun tunggal. (a) Tampak depan; (b) Tampak atas (rotor Savonius konvensional : $e' = 0$ ) .....	13
<b>Gambar 2.6</b>	Karakteristik Turbin Savonius .....	15
<b>Gambar 2.7</b>	Contoh Kurva Bezier Kuadratik.....	18
<b>Gambar 2.8</b>	Kurva Bezier Kubik.....	19
<b>Gambar 2.9</b>	(a) Savonius Bezier Curve (b) Savonius Konvensional .....	20
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian .....	23
<b>Gambar 3.2</b>	Gambaran Survei Lokasi .....	24
<b>Gambar 3.3</b>	Rancangan Tempat Penempatan Turbin .....	26
<b>Gambar 3.4</b>	Gambaran Dimensi Utama .....	27
<b>Gambar 3.5</b>	Geometri Bezier Kubik dengan Penyesuain Dimensi .....	27
<b>Gambar 3.6</b>	Rancangan Penempatan Set Rotor .....	27
<b>Gambar 3.7</b>	(1) Contoh Satu Tingkat (2) Contoh Dua Tingkat .....	28
<b>Gambar 3.8</b>	(a) Contoh Variasi Overlap (b) Contoh Variasi Sudut .....	29
<b>Gambar 4.1</b>	Lokasi Pengamatan Arus Laut .....	32
<b>Gambar 4.2</b>	Pengamatan Arus Laut dengan Windy .....	33
<b>Gambar 4.3</b>	Diagram Alir Simulasi .....	37
<b>Gambar 4.4</b>	Meshing .....	39
<b>Gambar 4.5</b>	Mesh Metrics Spectrum .....	39
<b>Gambar 4.6</b>	(a) Rotor Satu Tingkat (b) Rotor Dua Tingkat.....	40
<b>Gambar 4.7</b>	(a) Aliran Savonius 1 tingkat (b) Aliran Savonius 2 Tingkat bagian Bawah (c) Aliran Savonius 2 Tingkat bagian. Atas .....	42
<b>Gambar 4.8</b>	Varisi Overlap .....	43

<b>Gambar 4.9</b> Paddle Sesuai Sudut .....	44
<b>Gambar 4.11</b> Diagram Torsi Konvensional Terhadap Bezier (Nm).....	46
<b>Gambar 4.15</b> (a) 0° Bezier (b) 0° Konvensional.....	48
<b>Gambar 4.16</b> (a) 45° Bezier (b) 45° Konvensional.....	49
<b>Gambar 4.17</b> Validasi Penelitian .....	49
<b>Gambar 4.18</b> (a) 90° Bezier (b) 90° Konvensional.....	50
<b>Gambar 4.19</b> (a) 135° Bezier (b) 135° Konvensional.....	51
<b>Gambar 4.20</b> Komparasi Rotor Konvensional Air dan Angin.....	53
<b>Gambar 4.21</b> Kinerja Rotor Konvensional Angin .....	55

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Potensi Energi Terbarukan di Indonesia .....	5
<b>Tabel 2.2</b> Potensi Arus Laut Selat Indonesia .....	12
<b>Tabel 3.1</b> Dimensi Utama .....	26
<b>Tabel 4.1</b> Hasil Pengamatan Arus Hari ke-1.....	33
<b>Tabel 4.2</b> Hasil Pengamatan Arus Hari ke-2.....	34
<b>Tabel 4.3</b> Hasil Pengamatan Arus Hari ke-3.....	35
<b>Tabel 4.4</b> Hasil Pengamatan Arus Hari ke-4.....	35
<b>Tabel 4.5</b> Hasil Perbandingan Satu Tingkat Rotor Konvensional .....	41
<b>Tabel 4.7</b> Dimensi Overlap .....	43
<b>Tabel 4.8</b> Hasil Simulasi Overlap 0.15 .....	44
<b>Tabel 4.9</b> Hasil Simulasi Overlap 0.18 .....	47
<b>Tabel 4.10</b> Hasil Simulasi Overlap 0.21 .....	47
<b>Tabel 4.11</b> Kinerja Rotor Konvensional Angin .....	52
<b>Tabel 4.12</b> Kinerja Rotor Konvensional Air .....	53
<b>Tabel 4.13</b> Kinerja Rotor Bezier Angin .....	54
<b>Tabel 4.14</b> Kinerja Rotor Bezier Air .....	54

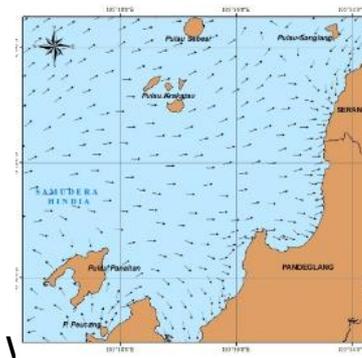
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Indonesia, dikenal sebagai negara kepulauan, sampai dengan negara maritim, yaitu dimana mengartikan indonesia memiliki wilayah dalam bentuk laut dan perairan, yang luasnya lebih lebar dibandingkan daratan, dalam hal ini Indonesia memiliki potensi yang luas untuk menghasilkan energi terbarukan pada daerah laut (Wiranata et al., 2018). Potensi laut tersebut diantaranya adalah arus laut efek pasang surut, panas laut, perbedaan salinitas dan gelombang. Energi pasang surut adalah eksploitasi energi yang muncul ketika massa air bergerak akibat perubahan pasang surut yang dipengaruhi oleh rotasi bumi dan gaya tarik gravitasi bulan (Wiranata et al., 2018). Dan arus laut merupakan pergerakan massa air laut dari satu lokasi ke lokasi lain, baik secara vertikal maupun secara horizontal (Setiyono et al., 2019).

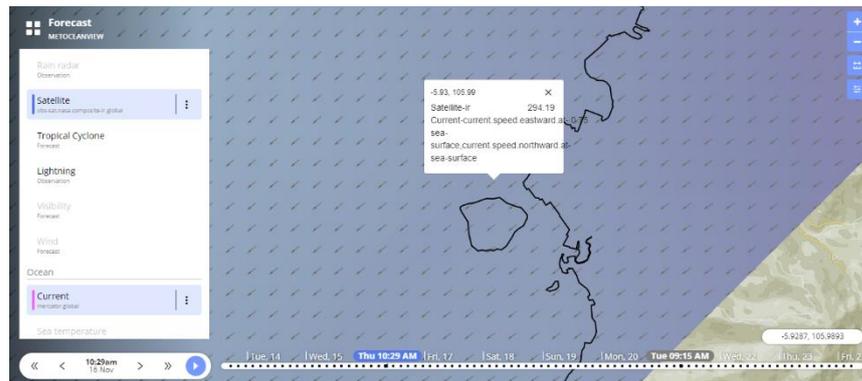
Di Indonesia, terdapat banyak selat yang memiliki potensi kecepatan arus yaitu sekitar 2.0 m/s atau bahkan lebih. Kecepatan ini sudah mencukupi untuk dimanfaatkan menjadi energi listrik (Setiyono et al., 2019), diantara selat yang memiliki potensi yang memadai terkait arus laut tersebut yaitu adalah Selat Sunda, menurut penelitian yang dilakukan oleh (Serodja et al., 2022) Selat Sunda memiliki potensi arus laut rata-rata sebesar 0.53 m/s dan kecepatan arus maksimum mencapai 0.87 m/s yang berada di tengah selat.



**Gambar 1.1** Potensi Arus Laut Selat Sunda

(Sumber: Setiyono et al., 2019)

Ditinjau dengan bantuan website metoceanview.com, dapat dilihat potensi kecepatan arus laut untuk sekitar pelabuhan merak dimana tempat tersebut merupakan termasuk Selat Sunda yang menjadi target penempatan turbin untuk selanjutnya, karena dekat dengan lokasi peneliti, yaitu memiliki perkiraan arus laut sekitar 0.75 m/s, dengan ini kita memiliki potensi untuk melakukan pengambilan data secara langsung untuk menjadi dasar penelitian, seperti pada gambar di bawah ini.



**Gambar 1.2** Potensi Arus Laut Selat Sunda 2

(Sumber: metoceanview.com )

Bersama dengan target Pemerintah Republik Indonesia melalui kementerian perekonomian memiliki Pemerintah sangat memperhatikan pengembangan Energi Baru Terbarukan (EBT) sebagai salah satu cara untuk mengurangi ketergantungan kita pada bahan bakar fosil. Mereka telah menetapkan target agar pada tahun 2025, setidaknya 23% dari energi yang kita gunakan berasal dari sumber EBT. Target ini akan terus ditingkatkan sehingga pada tahun 2050, kita berharap dapat mencapai 31% dari total energi yang berasal dari sumber EBT, yang saat ini hanya sekitar 15%. (Menko Perekonomian, 2023) dengan potensi arus laut yang dimiliki oleh Indonesia khususnya selat sunda, yang dapat dimanfaatkan dengan baik, dalam pemanfaatan ini kita dapat memanfaatkannya dengan turbin arus laut, salah satunya Turbin Savonius, karena memiliki keunggulan di kecepatan arus rendah, seperti pada penelitian (Pranatal & Beu, 2018) arus yang didapatkan yaitu 0.269 m/s kemudian mendapatkan torsi lebih dari 30 Nm.

Penelitian ini dilakukan dengan geometri dan dimensi rotor konvensional yang diambil dari (Yaakob et al., 2013) yang berjudul “*Experimental Studies on Savonius-type Vertical Axis Rotore for Low Marine Current Velocity*” dan bentuk geometri Bezier empat titik control dengan dimensi yang disesuaikan kembali untuk perbandingan, diambil dari penelitian (Zemamou et al., 2020) yang berjudul “*A Novel Blade Design For Savonius Wind Turbine Based On Polynomial Bezier Curves For Aerodynamic Performance Enhancement*” dengan berisikan perbandingan turbin savonius konvensional atau setengah lingkaran dan memperbaharainya menjadi *Bezier Curve* 4 titik kontrol, pada penelitian di atas mendapatkan peningkatan efisiensi daya sebesar 29% pada *Bezier Curve*, namun dengan penerapan pada turbin angin. Dengan begitu peneliti bertujuan untuk melakukan uji performa dan membandingkan bilah rotor konvensional setengah lingkaran dengan *Bezier Curve* empat titik kontrol dengan penerapan pada turbin arus laut, khususnya pada arus yang dimiliki oleh Selat Sunda, dan juga mengetahui desain yang paling besar dalam mendapatkan torsi untuk turbin arus laut dari *Bezier Curve* tersebut, torsi diharapkan bisa mewakili rotor tersebut dalam mana bentuk yang terbaik, karena dapat menentukan daya keluaran nantinya sehingga juga bisa memanfaatkan arus laut lebih efisien (Khan et al., 2009), sedangkan gaya dapat membantu validasi simulasi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini dibuat untuk fokus menemukan solusi yang menjawab pertanyaan berikut:

1. Bagaimana hasil simulasi Torsi (Nm) keseluruhan *paddle*?
2. Bagaimana hasil simulasi lokal *Force* (N) dan Torsi (Nm) dari kedua jenis rotor?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang difungsikan sebagai pembatas dan fokus penelitian ini adalah seperti berikut:

1. Mendapatkan hasil simulasi Torsi (Nm) dari keseluruhan *paddle*.
2. Mendapatkan hasil simulasi lokal *Force* (N) dan Torsi (Nm) dari kedua jenis rotor.

### 1.4 Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini, sama halnya dengan tujuan dan rumusan masalah, dengan bertujuan untuk membatasi pada fokus-fokus tertentu, batasan masalah dari penelitian ini, yaitu:

1. Data arus untuk simulasi didapatkan dari bantuan website windy.com pada sekitar Selat Sunda.
2. Penelitian dilakukan untuk melakukan uji performa dan membandingkan kedua jenis rotor yaitu konvensional dan Bezier empat titik kontrol, dengan berbasis komputer, khususnya yaitu ANSYS *Fluent* untuk mendapatkan *Force* (N) dan Torsi (Nm).
3. Dimensi dan geometri rotor savonius konvensional diambil dari (O. B. Yaakob et al., 2013) dan *Bezier Curve* yang digunakan adalah 4 titik kontrol, referensi bentuk geometri diambil dari penelitian (Zemamou et al., 2020), dengan dimensi disesuaikan kembali dengan bilah rotor konvensional untuk Turbin Savonius Selat Sunda.

### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian yang dengan tujuan untuk mendapatkan desain terbaik mendapatkan torsi yang diterapkan pada Rotor Savonius ini memiliki beberapa manfaat antara lain:

1. Dapat mendorong inovasi terbaru terkait pemanfaatan energi terbarukan.
2. Mengetahui jenis rotor yang sesuai dengan spesifikasi terbaik untuk energi terbarukan Rotor Savonius khususnya pada energi arus laut.

## BAB II

### TINJAUN PUSTAKA

#### 2.1 Energi Baru Terbarukan

Energi terbarukan, sebagaimana dijelaskan dalam Undang-Undang Nomor 30 tahun 2007 tentang energi, merujuk pada sumber energi yang dapat diperbaharui, seperti panas bumi, angin, bioenergi, sinar matahari, aliran dan terjunan air, serta gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut. Sumber energi ini ramah lingkungan, tidak mencemari, dan tidak berkontribusi pada perubahan iklim atau pemanasan global. Konsep ini muncul karena energi tersebut dihasilkan dari proses alami yang dapat terus berlangsung, seperti panas matahari, angin, air, bahan bakar nabati, dan panas bumi (Wiranata et al., 2018).

Pentingnya energi terbarukan tidak hanya berkaitan dengan ketersediaan sumber daya, tetapi juga dengan dampak positifnya terhadap lingkungan dan ekologi. Energi yang dihasilkan dari sumber daya terbarukan tidak berdampak negatif pada lingkungan, merupakan alasan utama mengapa Energi Baru Terbarukan (EBT) sangat terkait dengan isu-isu lingkungan dan ekologi.

Indonesia, sebagai negara yang memiliki potensi besar dalam pengembangan energi terbarukan, memiliki peluang untuk memanfaatkan sumber daya ini secara optimal. Dengan begitu, negara dapat tidak hanya memenuhi kebutuhan energi, tetapi juga mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan. Oleh karena itu, pengembangan energi terbarukan di Indonesia menjadi sebuah langkah strategis untuk mencapai keberlanjutan dalam pemanfaatan sumber daya energi, Potensi ini dapat terlihat dari tabel yang disajikan di bawah ini.

**Tabel 2.1** Potensi Energi Terbarukan di Indonesia (Wiranata et al., 2018)

Jenis Energi Terbarukan	Potensi (Mega Watt)
Angin ( <i>wind</i> )	950
Surya ( <i>solar power</i> )	11.000
Air ( <i>hydro power</i> )	75.000

Biomassa	32
Biofuel	32
Energi Laut ( <i>ocean</i> )	60.000
Panas Bumi ( <i>Geothermal</i> )	29.000

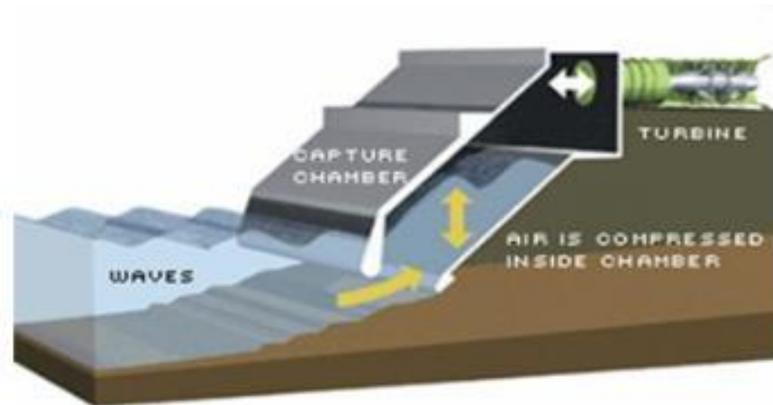
### 2.1.1 Energi Laut

Indonesia, sebagai salah satu negara dengan wilayah laut terluas di dunia, memiliki potensi energi surya yang sangat besar karena tersebar sepanjang jalur sabuk gunung api dan memiliki radiasi penyinaran sebesar 4.80 kWh/m<sup>2</sup>/hari. Energi laut, yang berasal dari gerakan dan perbedaan suhu lapisan laut, mencakup energi pasang surut, gelombang, arus laut, dan perbedaan suhu lapisan laut (Wiranata et al., 2018). Ada beberapa macam pemanfaatan yang dapat dilakukan pada potensi laut indonesia, seperti yang akan dibahas selanjutnya.

- a. Prinsip operasi dalam mengubah energi gelombang laut menjadi energi listrik melibatkan proses pengumpulan energi dari gelombang laut untuk menggerakkan turbin. Keberadaan aspek ini menjadi sangat signifikan sebagai panduan untuk memilih suatu wilayah yang memiliki potensi besar dalam akumulasi energi berdasarkan topografinya. Hingga saat ini, penelitian terus dilakukan dengan tujuan mencapai hasil optimal untuk implementasi. Salah satu alternatif dalam teknologi pembangkit listrik tenaga gelombang laut (PLTGL) yang menawarkan output energi yang stabil adalah teknologi *Oscillating Water Column*. *Teknologi Oscillating Water Column* menggunakan pergerakan naik-turun air gelombang laut sebagai daya penggerak untuk turbin (Wiranata et al., 2018). Ada beberapa pemanfaatan untuk merubah gelombang laut menjadi energi listrik, salah satunya adalah.

*Sistem Oscillating Water Column*, dimana energi kinetik yang terdapat dalam gelombang air laut dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin. Gelombang naik ke dalam ruang chamber, di mana air yang naik akan menekan udara keluar dari ruang

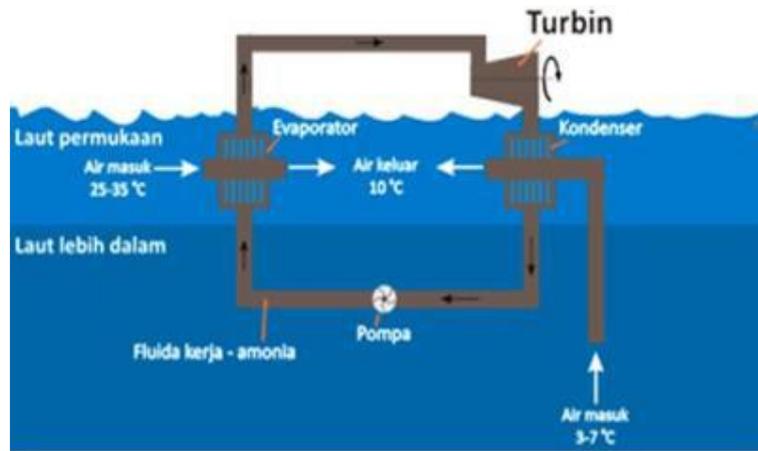
chamber tersebut. Tekanan ini menyebabkan turbin berputar ketika air turun, dan udara bertiup dari luar ke dalam ruang chamber, mengakibatkan putaran turbin kembali. Ilustrasinya dapat dilihat pada gambar di bawah ini untuk pemahaman yang lebih mendalam.



**Gambar 2.1** Sistem *Oscillating Water Column*

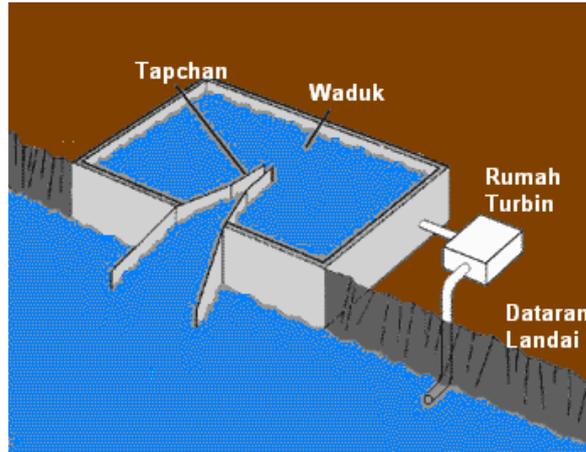
(Sumber: Wiranata et al., 2018)

- b. Perbedaan suhu air laut, adalah salah satu metode lain untuk menghasilkan listrik dari gelombang air laut dengan menggunakan perbedaan suhu di laut. Saat berenang atau menyelam, kita akan mengalami penurunan suhu air laut seiring dengan kedalaman. Semakin dalam kita menyelam, semakin rendah suhu air lautnya. Suhu yang lebih tinggi di permukaan laut disebabkan oleh paparan sinar matahari yang memanaskan permukaan laut. Namun, di bawah permukaan laut, suhu menjadi sangat dingin (Wiranata et al., 2018). Sistem yang memanfaatkan perbedaan suhu air laut dapat dilihat dalam gambar di bawah ini.



**Gambar 2.2** Sistem Perbedaan Suhu Air Laut  
(Sumber: Wiranata et al., 2018)

- c. Pasang surut air laut, salah satu cara lain untuk menggunakan energi gelombang laut adalah melalui energi pasang surut. Saat air pasang mencapai pantai, air pasang akan diakumulasi di dalam reservoir. Selanjutnya, saat air surut, air yang berada di belakang reservoir dapat dialirkan, mengikuti prinsip kerja Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) konvensional, sebagaimana terlihat dalam gambar selanjutnya. Agar sistem ini beroperasi secara optimal, diperlukan gelombang pasang yang signifikan, dengan perbedaan ketinggian sekitar 16 kaki antara gelombang pasang dan gelombang surut. Kriteria ini hanya terpenuhi di beberapa lokasi, dan sejumlah pembangkit listrik telah dioperasikan dengan menggunakan sistem ini. Sebagai contoh, pembangkit listrik di Prancis telah berhasil beroperasi dan mampu memenuhi kebutuhan listrik untuk 240.000 rumah, dapat dijelaskan oleh gambar di bawah ini.



**Gambar 2.3** Sistem Pasang Surut Air Laut  
(Sumber: Wiranata et al., 2018)

- d. Arus laut, yang merupakan pergerakan massa air laut dari satu lokasi ke lokasi lain, baik secara vertikal maupun secara horizontal. Salah satu contoh pengaruh pada pergerakan ini adalah gaya Coriolis, yang menyebabkan pembelokan arah arus akibat rotasi bumi. Pembelokan tersebut condong ke arah kanan di belahan bumi utara dan ke arah kiri di belahan bumi selatan. Fenomena ini menghasilkan aliran *Gyre* searah jarum jam di belahan bumi utara dan berlawanan arah jarum jam di belahan bumi selatan. Fenomena ini dikenal sebagai spiral Ekman, yang menggambarkan perubahan arah arus dari pengaruh angin menjadi pengaruh gaya Coriolis

Daya yang dapat dihasilkan dari pembangkit listrik arus laut dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Made et al., 2017):

$$P = 0.5 \times \rho \times A \times V^4 \dots\dots\dots(2.1)$$

dengan:

$P$  = Daya *Output* (watt)

$\rho$  = Berat Jenis ( $1025 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$ )

$A$  = luas permukaan turbin ( $\text{m}^2$ )

$V$  = Kecepatan arus (m/s)

Mengingat bahwa pembangkit energi dari arus laut mengalami kerugian pada turbinnya, persamaan daya keluaran pembangkit menjadi:

$$P = C_p \times 0.5 \times \rho \times A \times V^4 \dots\dots\dots(2.2)$$

dengan:

CP = konstanta performa turbin

Ketika kita melihat pola arus di perairan Indonesia pada kondisi pasang purnama dan pasang perbani, terlihat bahwa kecepatan arus umumnya tidak terlalu besar, kecuali di daerah Selat Bali, Selat Lombok, dan Selat Makassar.

Penggunaan arus laut untuk menghasilkan listrik telah mulai diimplementasikan dalam skala kecil oleh beberapa institusi dan perguruan tinggi. Dengan potensi termal sebesar  $2.5 \times 10^{23}$  Joule dan efisiensi konversi energi panas laut sebesar tiga persen, Indonesia memiliki potensi daya sekitar 240.000 MW di perairan dengan suhu rata-rata permukaan laut di atas 28°C.

### **2.1.2 Karakteristik Selat Sunda**

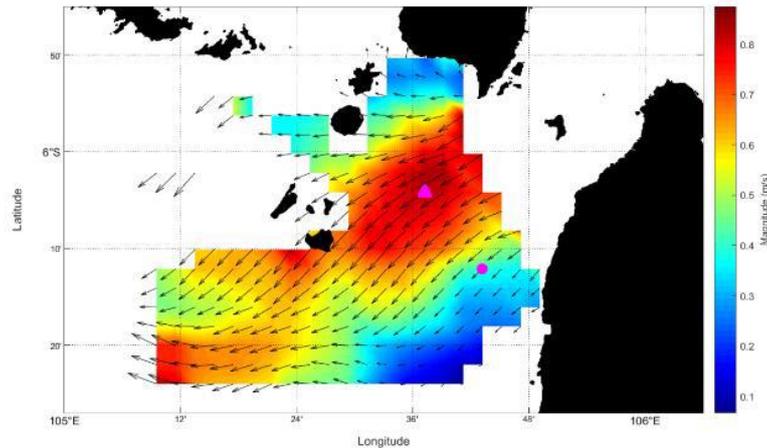
Selat Sunda memiliki signifikansi yang besar, baik dari perspektif oseanografi maupun perikanan. Dinamika massa air di wilayah ini dipengaruhi oleh aliran dua massa air utama, yaitu massa air Laut Jawa dan Samudera Hindia. Campuran kedua massa air tersebut memberikan dampak positif terhadap kualitas air di selat (Amri, 2008)

Secara topografis, Selat Sunda menunjukkan gradasi kedalaman yang signifikan dari arah timur laut ke arah barat laut. Di bagian utara selat, kedalaman laut hanya mencapai sekitar 40 meter, namun kemudian dasar laut perlahan-lahan menurun ke arah barat daya, mencapai kedalaman sekitar 75 hingga 100 meter. Selanjutnya, semakin ke arah barat daya, dasar laut tiba-tiba menurun secara drastis, menciptakan kedalaman laut yang berkisar antara 700 hingga 1200 meter.

Menurut (Pranowo, 2022) sebelah bagian selatan Jawa Barat terdapat aliran besar yang dikenal sebagai Arus Katulistiwa Selatan yang secara konsisten mengalir ke arah barat. Namun, selama musim Barat terdapat aliran sempit yang bergerak ke arah timur yang disebut Arus Pantai Jawa. Selat Sunda berperan sebagai jalur penghubung antara Laut Jawa dan Samudra Hindia, dimana terjadi pertukaran air antara kedua laut tersebut di dalam Selat Sunda.

Secara garis besar, arus air biasanya mengalir menuju Samudra Hindia karena tingginya permukaan air di Laut Jawa dibandingkan dengan Samudra Hindia. Laut Jawa dan wilayah selatan Laut Cina Selatan merupakan sumber air dengan salinitas yang rendah. Pengaruh dari sungai besar seperti di Sumatra, Kalimantan, dan Jawa memiliki dampak yang lebih besar terhadap penurunan salinitas daripada curah hujan. Di sisi lain, air di Samudra Hindia cenderung memiliki tingkat salinitas yang tinggi karena aliran air dari Laut Merah dan Teluk Persia.

Menurut (Serodja et al., 2022) arus yang dimiliki oleh selat Sunda, data pengukuran menunjukkan bahwa selama periode Mei hingga Juli 2019, yang merupakan musim timur, arus laut di Selat Sunda bergerak ke arah barat daya. Kecepatan rata-rata arus permukaan selama periode tersebut mencapai 0.53 m/s, sementara kecepatan arus maksimum mencapai 0.87 m/s dan terjadi di tengah Selat. Rincian ini dihasilkan dari penelitian yang melibatkan pengukuran langsung arus laut selama bulan Mei hingga Juli 2019 di Selat Sunda pada gambar 2.4 di bawah ini.



**Gambar 2.4** Energi Laut Selat Sunda

(Sumber: Duniaenergi.com)

Pengembangan turbin di wilayah Selat Sunda ini diharapkan dapat menjadi teladan bagi penerapannya di selat-selat lain di Indonesia. Hal ini disebabkan oleh kedekatan Selat Sunda dengan pusat riset, baik yang dimiliki oleh BRIN maupun universitas-universitas di Indonesia. Selain itu, wilayah ini juga berdekatan dengan pusat pemerintahan, sehingga memiliki potensi besar untuk menjadi proyek riset awal dalam pengembangan Turbin Arus. Seperti perbandingan potensi selat lain tahun 2019 yang disajikan pada tabel di bawah ini.

**Tabel 2.2** Potensi Arus Laut Selat Indonesia (Orhan et al., 2019)

No	Selat	Densiti Energi Kinetik (kW/m <sup>2</sup> )	Energi Pembangkit yang dihasilkan (kW)	Luas area (km <sup>2</sup> )	Total energi yang dibangkitkan dengan kecepatan aliran 0,5 m/s (MW)
1	Bali	14.75	1,459	104	1,045
2	Larantuka	10.20	1,25	6	299
3	Boling	3.49	430	106	736
4	Alas	3.07	396	403	2,258
5	Lombok	2.36	236	114	865
6	Sunda	1.56	165	145	335
7	Badung	1.52	161	162	551

## 2.2 Rotor Savonius

Rotor Savonius merupakan salah satu jenis rotor yang umumnya dipergunakan oleh daya angin yang dikenal dengan pengoperasiannya berdasarkan prinsip daya *drag*, yang menghasilkan energi mekanik dari gaya dorong angin pada bucket atau sudu yang memutar rotor. Konstruksi dasar Rotor Savonius melibatkan dua hingga tiga sudu yang disusun dalam pola khusus, memberikan tampilan seperti huruf "S" jika dilihat dari atas. Ketika angin melalui sudu-sudu ini, tekanan yang dihasilkan oleh aliran angin akan mendorong sudu-sudu tersebut, menyebabkan putaran Rotor.

Parameter penting untuk kinerja aerodinamis dari rotor Savonius adalah aspek rasio yang mewakili tinggi rotor ( $H$ ) relatif terhadap diameter ( $D$ ). Nilai rasio aspek ( $\alpha$ ) yang tinggi akan sangat meningkatkan efisiensi ini, bisa dilihat pada Gambar 2.5 berikut (Menet, 2004).

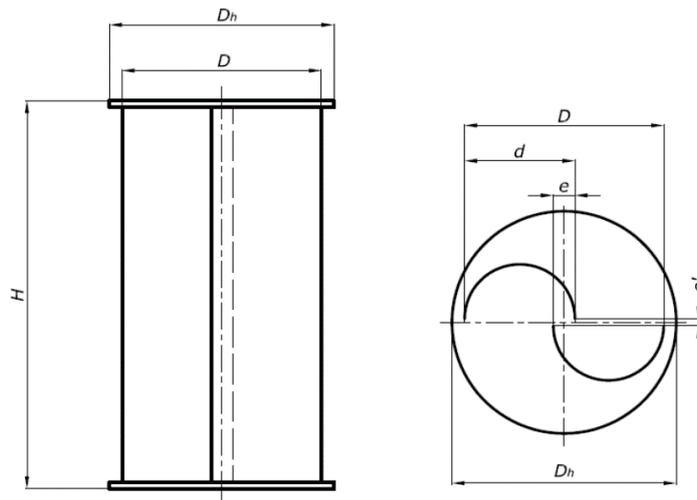
$$\alpha = \frac{H}{D} \dots \dots \dots (2.3)$$

dimana :

$\alpha$  = Sasio Aspek

$H$  = Tinggi Rotor

$D$  = Diameter Rotor



**Gambar 2.5** Skema Rotor Savonius susun tunggal. (a) Tampak depan; (b) Tampak atas (rotor Savonius konvensional :  $e' = 0$ )

(Sumber: Menet, 2004)

Parameter lainnya adalah *Overlap Ratio* ( $\beta$ ), yang mempengaruhi *Overlap* ( $e$ ) dan diameter *Paddle* ( $d$ ). Rasio *Overlap* ( $\beta$ ), dengan parameter ini juga akan dijadikan sebagai variasi pada penelitian, diberikan oleh persamaan berikut (Menet, 2004):

$$\beta = \frac{e}{d} \dots \dots \dots (2.4)$$

dimana:

$\beta$  = Rasio *Overlap*

$e$  = *Overlap* antara *Paddle*

$d$  = Diameter *Paddle*

Rasio *Overlap* ini akan mempengaruhi hasil atau efisiensi dari turbin yang diujikan, dalam penelitian Rotor Savonius arus laut dilakukan oleh (O. B. Yaakob et al., 2013) mendapatkan nilai terbaik untuk rasio *Overlap* ialah 0,21 dengan mendapatkan torsi yaitu 0,387 Nm. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh (Akwa et al., 2012) rasio *Overlap* terbaik yang didapatkan adalah 0,15 rata-rata koefisien daya sebesar 0,3161 untuk *tip speed* rasio 1,25 pada turbin Savonius angin.

Rotor Savonius memiliki ciri khas dalam bentuk koefisien daya (CP) dan tip speed ratio (TSR). Koefisien daya (CP) mengukur efisiensi Rotor dalam mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik. Nilainya berkisar antara 0.08 hingga 1.50. Di sisi lain, *Tip Speed Ratio* (TSR) adalah perbandingan antara kecepatan sudut sudu dengan kecepatan angin yang masuk. Rentang *tip speed ratio* biasanya berkisar antara 0.5 hingga 1.2 (Latif, 2013).

Untuk mengukur kemampuan Rotor Savonius dalam menghasilkan torsi yang diperlukan untuk menggerakkan generator atau perangkat lain, digunakan persamaan khusus yang mencerminkan daya torsi yang dihasilkan oleh Rotor ini (Latif, 2013).

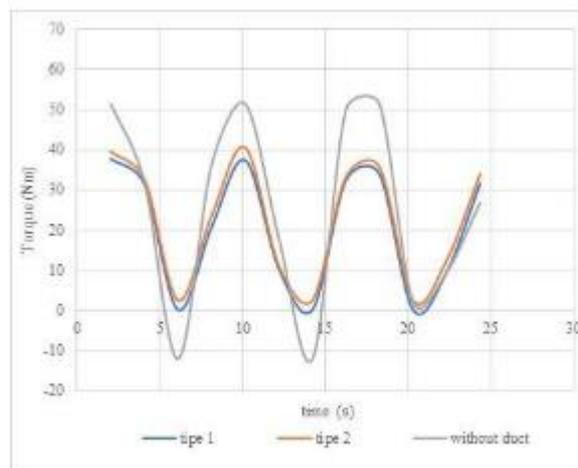
$$P_T = T \cdot \omega_m = T \cdot \frac{2\eta n_g}{60} \dots \dots \dots (2.5)$$

Karena karakteristik khasnya, Rotor Savonius memiliki aplikasi yang luas dalam bidang energi terbarukan, seperti sebagai pemecah ombak atau

dalam pembangkit listrik skala kecil, dan menawarkan alternatif yang menarik dalam upaya memanfaatkan sumber daya energi terbarukan.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa efisiensi prototipe Rotor angin Savonius pada kecepatan angin rendah adalah 4.8%. Efisiensi Rotor angin Savonius meningkat seiring dengan meningkatnya kecepatan angin. Pada kecepatan angin 6.0 m/s, efisiensi Rotor angin Savonius mencapai 14.5 % (Latif, 2013).

Dibuktikan pula dengan penelitian yang dilakukan oleh (Pranatal, 2018) melakukan penelitian pada turbin Savonius dengan kecepatan Kinerja turbin akan dievaluasi melalui pengukuran parameter  $C_p$  (koefisien daya) dan  $C_m$  (koefisien momen) pada setiap Titik Stagnasi Posisi (TSP), bersamaan dengan mempertimbangkan faktor riak torsi. Kecepatan arus laut yang dijadikan sebagai konstan adalah 0.269 m/s, yang mencerminkan kecepatan rata-rata arus laut yang tercatat di bagian barat pulau Giliyang, Madura. Dengan kecepatan arus laut tersebut, turbin mampu menghasilkan torsi yang signifikan, bahkan melebihi 30 Nm seperti pada Gambar 2.6.(Pranatal & Beu, 2018)



**Gambar 2.6** Karakteristik Turbin Savonius

(Sumber: Prantal & Beu, 2018)

### 2.3 Sejarah dan Perkembangan Rotor Savonius

Rotor angin Savonius, yang pertama kali diperkenalkan oleh insinyur Finlandia Sigurd J. Savonius pada tahun 1922, adalah Rotor angin vertikal

yang terkenal dengan sederhananya. Rotor ini mengoperasikan prinsip daya drag, yaitu dengan menghasilkan energi mekanik melalui gaya dorong angin pada sudu-sudu atau bucket yang membentuk strukturnya. Kelebihan utama Rotor ini adalah kemudahan dalam pembuatan dan pemeliharaan karena konstruksinya yang sederhana, sehingga biaya produksinya relatif terjangkau.

Sejarah Rotor angin Savonius mencapai akarnya pada abad ke-19 dengan percobaan awal tentang Rotor angin vertikal. Namun, bentuk modern dari Rotor angin Savonius muncul ketika Sigurd J. Savonius, seorang insinyur Finlandia yang bekerja untuk Angkatan Laut Finlandia, mengembangkannya pada tahun 1922. Awalnya, tujuan pengembangannya adalah untuk menyediakan sumber daya listrik bagi lampu navigasi (Raditya Yudistira et al., 2021)

Penggunaan komersial pertama Rotor angin Savonius tercatat pada tahun 1931 oleh Perusahaan Listrik Helsinki di Finlandia, di mana Rotor ini digunakan untuk memberdayakan pompa air di peternakan. Setelah itu, Rotor angin Savonius mulai digunakan secara luas di seluruh dunia dalam beragam aplikasi, termasuk pembangkit listrik, penyediaan air melalui pompa air, dan sistem ventilasi.

Turbin angin Savonius (SWT) diakui sebagai turbin sumbu vertikal yang sederhana, memiliki karakteristik awal yang sesuai, dan dapat memanfaatkan kecepatan angin rendah. Meskipun lebih cocok untuk aplikasi skala kecil karena ukurannya yang kompak, rotor Savonius memiliki kelemahan seperti efisiensi rendah, membatasi penerapannya dalam skala penuh. Upaya optimasi desain, terutama pada bilah sebagai komponen utama SWT, telah dilakukan oleh sejumlah peneliti.

#### **2.4 *Bezier Curve***

Kurva *Bezier* adalah jenis kurva polinomial yang dibentuk oleh serangkaian titik kontrol. Bentuk dari kurva ini sepenuhnya ditentukan oleh posisi dan jumlah titik kontrol yang digunakan. Kurva *Bezier* memiliki berbagai jenis dan digunakan untuk menggambarkan beragam bentuk, mulai

dari garis lurus hingga kurva yang sangat halus dan bahkan bentuk yang lebih kompleks (Juhari, 2021).

Selain kurva *Bezier*, ada beberapa jenis kurva lainnya, salah satunya adalah kurva B-Spline yang juga dibentuk menggunakan teknik pendekatan. Ada juga kurva cubic spline yang menggunakan teknik interpolasi, yang berarti kurva tersebut melewati melalui titik-titik yang telah ditentukan sebelumnya. Kelebihan kurva *Bezier* dibandingkan dengan kurva *cubic spline* adalah orde yang lebih tinggi dalam persamaan yang digunakan, yang menghasilkan kurva yang lebih halus (Dewi, 2018).

Karakteristik utama dari kurva *Bezier* adalah sebagai berikut:

1. Hanya dua titik kontrol, yaitu titik kontrol pertama dan terakhir, yang berada pada kurva itu sendiri.
2. Titik kontrol lainnya digunakan untuk menentukan orde, turunan, dan bentuk keseluruhan dari kurva.
3. Kurva *Bezier* selalu tangensial terhadap segi empat yang terbentuk oleh titik kontrol pertama dan terakhir.
4. Bentuk dari kurva *Bezier* mengikuti poligon yang dibentuk oleh segi empat yang dihubungkan oleh titik kontrol.

Ketika merancang dan menggunakan kurva *Bezier*, fleksibilitas dan kemudahan dalam menggambarkan berbagai bentuk menjadi keunggulan utamanya. Dengan memahami titik kontrol yang ditempatkan, Anda dapat menciptakan kurva yang sesuai dengan kebutuhan desain, sehingga kurva *Bezier* menjadi alat yang penting dalam dunia desain grafis dan rekayasa. *Bezier Curve* terbagi menjadi beberapa jenis tergantung derajat dan titik kontrolnya yaitu linier, kuadratik dan kubik.

Kurva *Bezier* Linier atau derajat satu memiliki dua titik kontrol. Titik kontrol pertama digunakan untuk menentukan titik awal kurva, sementara titik kontrol kedua menentukan titik akhir kurva. Kurva ini umumnya digunakan untuk menggambarkan garis lurus, sehingga kurva *Bezier* derajat satu memiliki kegunaan terbatas dalam menggambarkan bentuk yang lebih kompleks.

Mengingat titik-titik berbeda  $P_0$  dan  $P_1$ , kurva Bézier linier hanyalah sebuah garis antara dua titik tersebut.

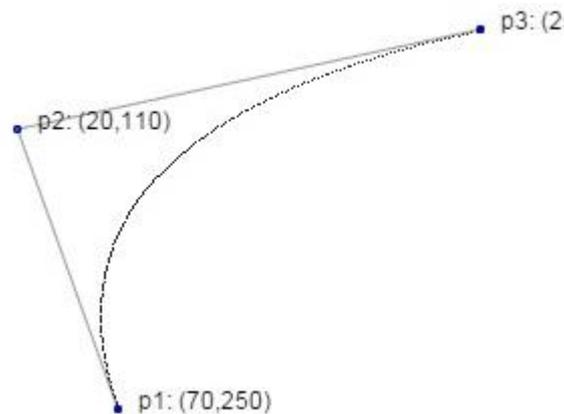
$$B(t) = P_0 + t(P_1 - P_0) = (1 - t)P_0 + tP_1, 0 \leq t \leq 1 \dots \dots \dots (2.6)$$

Setara dengan interpolasi linier, Kuantitas  $P_1 - P_0$  mewakili perpindahan dari titik awal ke titik akhir.

Kurva *Bezier* Kuadratik atau derajat dua memiliki tiga titik kontrol. Titik kontrol pertama menentukan titik awal kurva, titik kontrol kedua menentukan titik tengah kurva, dan titik kontrol ketiga menentukan titik akhir kurva.

$$B(t) = (1 - t)^2 P_0 + 2(1 - t)t P_1 + t^2 P_2, 0 \leq t \leq 1 \dots \dots \dots (2.7)$$

Kurva ini digunakan untuk menggambarkan kurva yang lebih halus, seperti lengkungan atau garis lengkung, dan memberikan lebih banyak fleksibilitas dalam mendefinisikan bentuk kurva, contoh gambar dari kurva kuadratik dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



**Gambar 2.7** Contoh Kurva *Bezier* Kuadratik

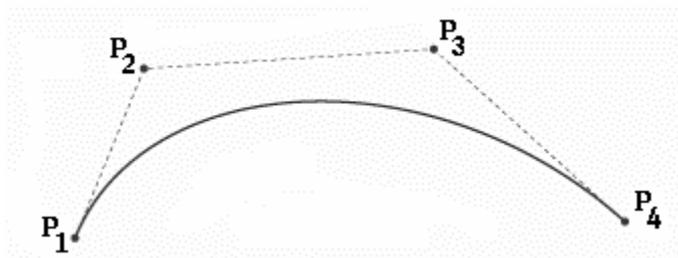
(Sumber: medium.com)

Kurva *Bezier* Kubik atau derajat tiga memiliki empat titik kontrol. Titik kontrol pertama menentukan titik awal kurva, titik kontrol kedua menentukan titik kontrol pertama, titik kontrol ketiga menentukan titik kontrol kedua, dan titik kontrol keempat menentukan titik akhir kurva. Kurva ini sangat fleksibel dan dapat digunakan untuk menggambarkan berbagai bentuk bebas yang kompleks. Kelebihan kurva *Bezier* derajat tiga adalah orde tinggi yang

digunakan dalam persamaannya, yang menghasilkan kurva yang sangat halus. Persamaannya adalah (Risikus, 2006)

$$B(t) = (1 - t)^3 P_1 + 3t(1 - t)^2 P_2 + 3t^2(1 - t) P_3 + t^3 P_4 \dots (2.8)$$

Persamaan *Bezier* adalah persamaan parametrik dalam variabel  $t$  dan bersifat simetris terhadap  $x$  dan  $y$ . Parameter  $t$ , yang bervariasi dalam interval  $[0, 1]$ , memotong segmen  $P_1$ - $P_4$  menjadi interval, sesuai dengan akurasi yang diinginkan. Ketika  $t = 0$ , hasilnya adalah  $B(0) = P_1$ . Untuk  $t = 1$ , hasilnya adalah  $B(1) = P_4$ , geometri contoh dari kurva kubik dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



**Gambar 2.8** Kurva *Bezier* Kubik

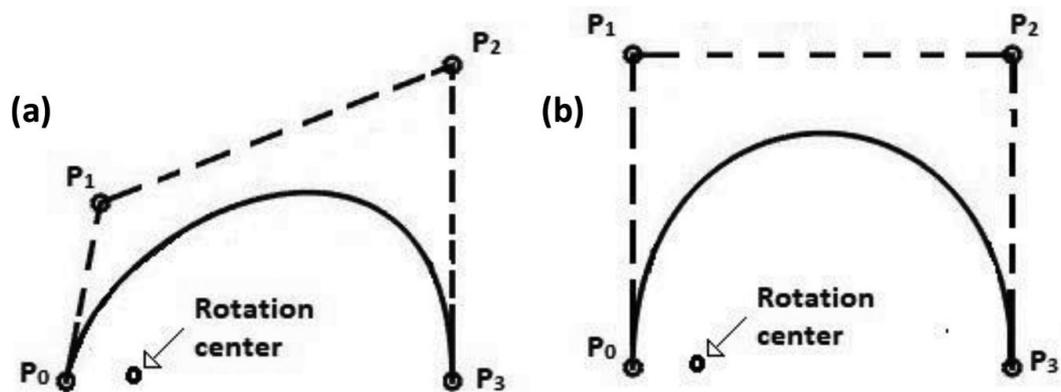
(Sumber: Riskus, 2006)

Dalam penggunaan praktis, kurva *Bezier* derajat 2 dan 3 sering digunakan dalam perangkat lunak desain grafis dan pemodelan 2D dan 3D. Mereka memberikan desainer alat yang kuat untuk menciptakan kurva yang beragam dan bentuk yang kompleks.

Penelitian (Zemamou et al., 2020) yang melibatkan bilah gabungan dengan sisi cekung elips dan sisi cembung konvensional, menghasilkan peningkatan koefisien daya sebesar 11% dan 5.5% dibandingkan dengan bilah konvensional dan bilah elips. yang mengoptimalkan ketebalan, sisi cekung, dan sisi cembung secara terpisah, meningkatkan koefisien daya maksimum sekitar 15%. Penelitian ini juga mengeksplorasi pengaruh kepenuhan bilah pada turbin angin Savonius berbilah dua, yang menghasilkan koefisien daya maksimum 0.573, meningkat 10.98% dibandingkan dengan SWT konvensional.

Dalam konteks ini, pengembangan turbin angin Savonius yang dimodifikasi dengan menggunakan *Bezier Curve* menunjukkan peningkatan

torsi. Model-model yang dihasilkan menunjukkan koefisien daya lebih tinggi dibandingkan dengan model konvensional SWT, dengan koefisien daya tertinggi mencapai 0.35, mencerminkan peningkatan sebesar 29% dibandingkan dengan model konvensional, percobaan ini dilakukan dengan konsep energi angin, namun penelitian kali ini, akan melakukan menggunakan energi arus laut, khususnya pada Selat Sunda, dengan geometri yang sama yang dilakukan penelitian sebelumnya, dengan dimensi yang disesuaikan kembali dengan rotor arus laut untuk Selat Sunda, bentuk dari geometri tersebut dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



**Gambar 2.9** (a) Savonius *Bezier Curve* (b) Savonius Konvensional

(Sumber: Zemamou et al., 2020)

## 2.5 *Computational Fluid Dynamics (CFD)*

*Computational Fluid Dynamics (CFD)* adalah sebuah metode analisis sistem yang secara holistik memperhatikan fenomena seputar aliran fluida, perpindahan panas, dan fenomena terkait lainnya, termasuk reaksi kimia, melalui simulasi berbasis komputer yang menggunakan pendekatan numerik (Akmal, 2019)

Sejarah *Computational Fluid Dynamics (CFD)* merentang dari periode tahun 1960 hingga 1970, di mana konsep awalnya lebih fokus pada penerapan CFD dalam reaksi kimia. Namun, seiring berjalannya waktu dan perkembangan teknologi, aplikasi CFD meluas ke berbagai bidang lainnya. Salah satu contoh nyata perkembangan ini adalah penerapan CFD dalam

aplikasi *Computer-Aided Design* (CAD), di mana konsep CFD digunakan untuk menganalisis stres pada desain yang sedang dikembangkan.

Penggunaan CFD di dunia industri sendiri menjadi lebih menonjol pada sekitar tahun 1990-an, khususnya dalam industri penerbangan. Pada periode ini, kemampuan CFD untuk memodelkan dan menganalisis aliran fluida di sekitar objek aerodinamis menjadi kritis untuk perancangan pesawat dan optimalisasi kinerja aerodinamisnya. Sejak saat itu, CFD terus berkembang pesat, mengintegrasikan kemajuan teknologi dan metodologi numerik, dan menjadi alat yang sangat penting dalam berbagai industri, termasuk otomotif, energi, dan manufaktur. Penerapan CFD dalam berbagai aspek desain dan analisis telah memungkinkan pengembangan produk yang lebih efisien, andal, dan inovatif.

Dalam CFD, penghitungan dilakukan melalui kontrol-kontrol tertentu yang membentuk suatu kerangka pembagian ruang, yang dikenal sebagai *meshing*. Pada setiap titik kontrol ini, aplikasi CFD akan melakukan perhitungan dengan mematuhi batasan domain dan kondisi tepi yang telah ditentukan sebelumnya. Prinsip ini merupakan dasar yang umumnya digunakan dalam proses perhitungan dengan bantuan komputasi komputer.

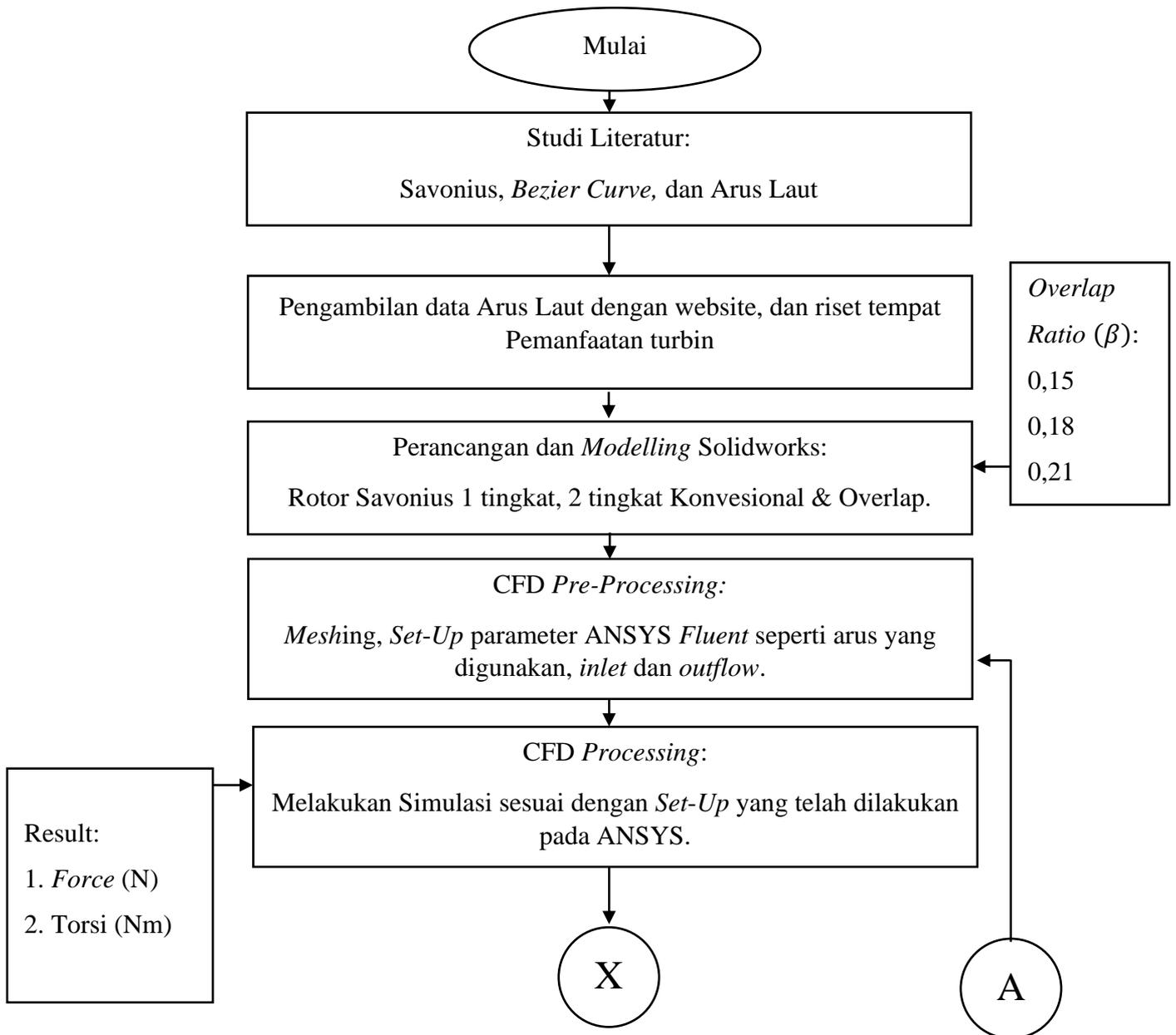
*Meshing* ini adalah proses membagi objek besar menjadi bagian-bagian kecil yang disebut "*mesh*" agar lebih mudah dianalisis atau dimanipulasi. Ini penting dalam dunia komputasi, seperti dalam simulasi fluida atau analisis struktur, di mana memecah objek memungkinkan perhitungan yang lebih akurat dan efisien pada setiap bagian. Semakin rapat *mesh* tersebut, maka semakin banyak jumlah cell tersebut, sehingga semakin akurat. Dan juga ada *Non-orthogonality* yaitu ketidaksesuaian sudut antara dua vektor pada titik-titik tetangga dalam *mesh*. Ini terjadi ketika garis yang menghubungkan pusat dua sel tidak tegak lurus secara sempurna. Ketidaksesuaian ini dapat mempengaruhi perhitungan yang melibatkan penyebaran, seperti penyebaran panas atau cairan dalam simulasi. Dengan kata lain, semakin besar ketidaksesuaian sudutnya, semakin besar pengaruhnya terhadap akurasi perhitungan (Aqilah et al., 2018).

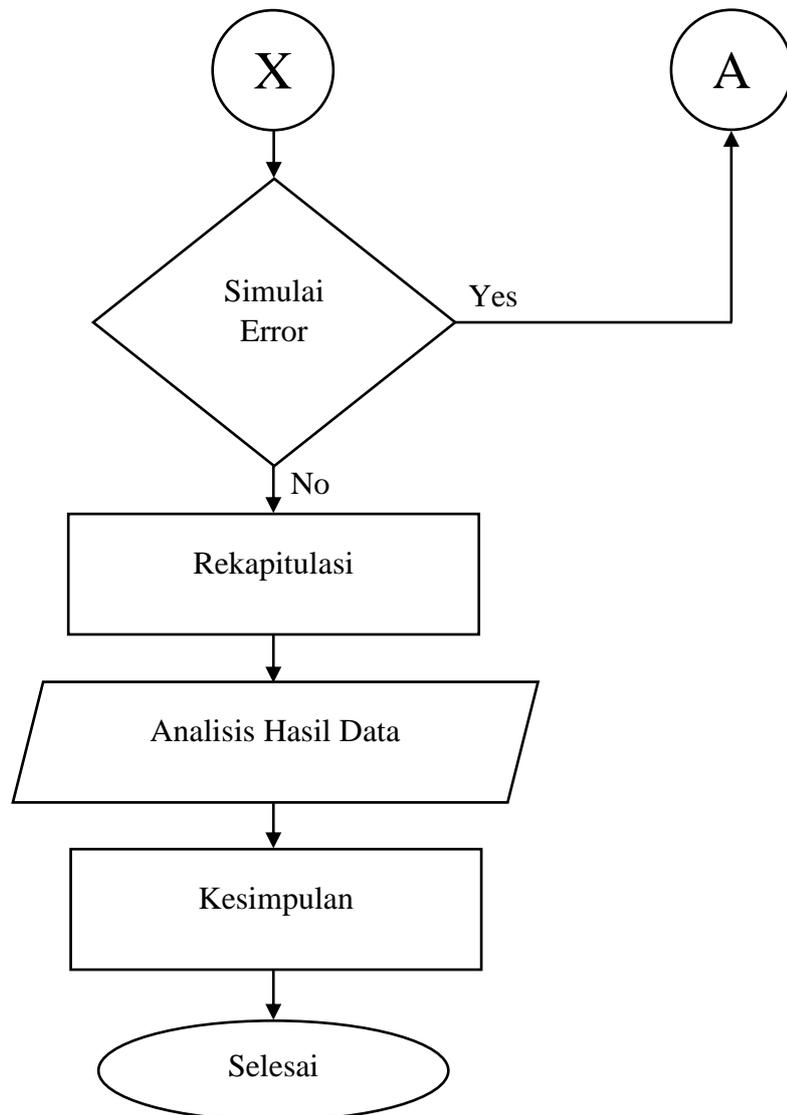
# BAB III

## METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian difungsikan sebagai dasar acuan untuk melakukan penelitian, langkah-langkah target yang akan digunakan selama penelitian berlangsung, berikut diagram alir dari penelitian ini:





**Gambar 3.1** Diagram Alir Penelitian

Diagram di atas dipergunakan sebagaimana mestinya sebagai acuan untuk prosedur dan alur keseluruhan dalam penelitian saat ini, yaitu dimana membahas uji performa dari desain yang dapat digunakan dalam rotor vertikal, Savonius *Semi Circular* dengan *Bezier Curve*, penjelasan detail dan rinci terkait diagram alir diatas, dapat dilihat di bawah ini:

1. Mulai, dalam proses ini peneliti memulai penelitian yang dilakukan, kegiatan seterusnya akan dipergunakan acuan sesuai dengan apa yang

direncanakan, sehingga kesalahan dan kekurangan yang terjadi akan mendapatkan solusi yang lebih cepat dan terarah.

2. Studi Literatur, proses ini digunakan sebagai landasan memulai penelitian, studi literatur yang baik akan mempengaruhi penelitian yang lainnya, studi literatur ini difokuskan pada jenis Rotor Savonius, dengan *Semi Circular* dan juga *Bezier Curve*, khususnya bentuk dasar dan bentuk yang akan digunakan sebagai bahan penelitian.
3. Pengambilan data arus laut, yang difokuskan pada sekitaran daerah Selat Sunda, dengan bantuan website beberapa, khususnya windy.com kemudian juga melakukan survei terkait perkiraan pemanfaatan turbin, sehingga dapat mencocokkan desain yang sesuai.



**Gambar 3.2** Gambaran Survei Lokasi

4. Perancangan dan *Modeling*, setelah ditemukannya bahan dalam penelitian yaitu bentuk dari Rotor Konvensional dan *Bezier Curve* dengan empat titik kontrol yang akan dipergunakan dalam bilah rotor, kemudian peneliti membangunnya menjadi suatu *modeling* menggunakan bantuan aplikasi Solidworks sehingga terlihat bentuk 3D, dan juga dapat dilanjutkan untuk melakukan simulasi.
5. *CFD Pre-Processing*, perancangan berbentuk 3D didapatkan dari Solidworks, kemudian kita bisa atur untuk aplikasi selanjutnya yaitu ANSYS 2020 yang saya gunakan, yang diawali dengan melakukan pengaturan domain kemudian *meshing*, sampai dengan pengaturan kecepatan arus setelah *switch to solution*.

6. *CFD Processing*, pengaturan yang menunjang dilakukannya simulasi telah dilaksanakan, selanjutnya kita bisa melakukan simulasi pada ANSYS 2020, kita bisa *Calculate*, dan selanjutnya *Run Calculation* sampai selesai.
7. Hasil Simulasi, jika mengalami *error* maka perlu melakukan pengaturan ulang, dan jika tidak dapat dilanjutkan, setelah dilakukannya proses simulasi, data yang dibutuhkan berupa *force* (N) dan torsi (Nm) dari keseluruhan rotor dan lokal *paddle*.
8. Rekapitulasi, hasil simulasi disamakan dengan simulasi yang lain dengan niat memudahkan dalam membandingkan seluruh jenis rotor, setelah didapatkan hasil simulasi yang sama, peneliti bisa melakukan rekapitulasi data dan pengumpulan menjadi satu, sehingga memudahkan proses selanjutnya.
9. Analisis Hasil Data, data yang sama, dengan parameter dan variabel yang sama, disusun secara rapih, akan mempermudahnya melakukan analisis pada data yang dihasilkan dirahapkan mendapatkan hasil yang memuaskan secara akurat.
10. Kesimpulan, setelah dilakukannya analisis hasil data, peneliti dapat menyimpulkan sesuai dengan tujuan dan rumusan masalah yang telah dibuat pada bab sebelumnya.
11. Selesai, tahap demi tahap telah dilaksanakan, berakhir pada kesimpulan yang menjawab tujuan dan rumusan masalah, sehingga peneliti dapat menyelesaikan dan mengakhiri penelitian ini.

### **3.2 Dimensi Utama**

Penentuan dimensi utama merupakan langkah krusial dalam memproyeksikan hasil daya turbin. Dimensi utama ini mencakup tinggi, rasio aspek, dan diameter rotor. Tinggi rotor (H) ditetapkan berdasarkan kedalaman lokasi dan desain mekanis rotor, termasuk desain poros, platform, dan penyangga rotor. Ketinggian rotor (H) juga digunakan dalam menghitung rasio aspek untuk menentukan diameter rotor. Rasio aspek ( $\alpha$ ) menjadi salah satu kriteria krusial dalam performa aerodinamis rotor Savonius. Secara

umum, peningkatan nilai  $\alpha$  diharapkan dapat secara signifikan meningkatkan efisiensi. Menurut (Menet, 2004), nilai  $\alpha$  sebesar empat dikemukakan sebagai parameter yang memberikan koefisien daya terbaik untuk rotor Savonius, berikut data spesifik dimensi utama dijelaskan pada tabel, dan bentuk geometri Bezier yang diambil dari jurnal (Zemamou et al., 2020) sebagai referensi untuk diterapkan pada sulat sunda, khususnya di daerah pelabuhan merak, terdapat pemecah ombak pelabuhan merak, dimana tempat itu bisa menjadi tempat untuk penelitian selanjutnya yang menjadi landasan rotor untuk ditempatkan di daerah tersebut, seperti pada gambar di bawah ini.

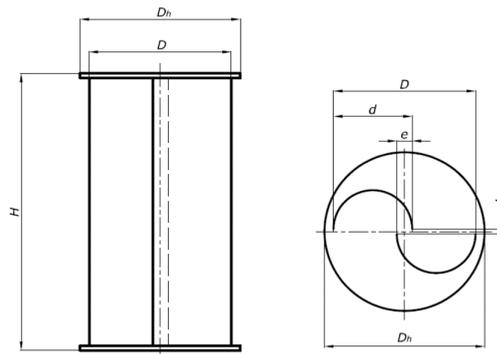
**Gambar 3.3** Rancangan Tempat Penempatan Turbin



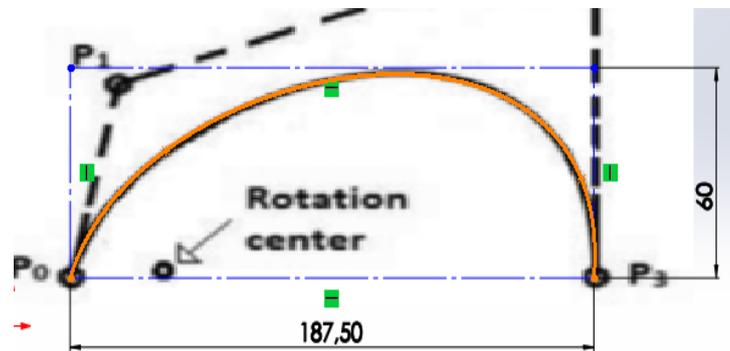
Gambar di atas adalah tempat pemecah ombak pelabuhan merak, dari celah-celah tersebut dapat dijadikan sebagai penempatan turbin atau rotor nantinya, kemudian sesuai dengan batasan masalah didapatkan dimensi dari penelitian (O. B. Yaakob et al., 2013) mendapatkan dimensi rotor seperti dipaparkan gambar di bawah ini.

**Tabel 3.1** Dimensi Utama

No	Spesifikasi	Nilai
1	Ketinggian rotor ( $H_p$ )	1.5 m
2	Diameter Rotor ( $D$ )	0.375 m
3	Rasio aspek ( $\alpha$ )	4



**Gambar 3.4** Gambaran Dimensi Utama



**Gambar 3.5** Geometri Bezier Kubik dengan Penyesuain Dimensi

Dengan dimensi bilah rotor, ketinggian dan lainnya telah ditentukan, dari referensi (Suprayogi, 2010) untuk bentuk baiknya, perancangan bentuk dari penempatan turbin dapat divisualisasikan seperti berikut:



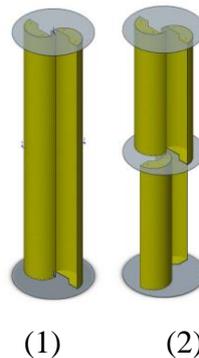
**Gambar 3.6** Rancangan Penempatan Set Rotor

### 3.3 Perbandingan Hasil Uji Performa

Dilakukanya simulasi pada dasarnya untuk mengetahui dan membandingkan dari paramater serta variasi yang dilakukan dalam penelelitian, perbandingan tersebut antara lain seperti berikut.

#### 3.3.1 Perbandingan Tingkat Rotor Konvensional

Tujuan dan analisa pertama adalah dengan membandingkan perbedaan susunan atau tingkat dari bilah atau rotor untuk dijadikan sebagai turbin arus laut Selat Sunda, dengan adanya perbandingan ini diharapkan putaran rotor akan menjadi teratur dan lebih stabil. Data yang dituju yaitu *Force* (N) dan Torsi (Nm) pada setiap bilahnya, rasio *Overlap* yang digunakan akan menggunakan salah satunya yaitu 0.15, berikut contoh gambaran yang dituju.



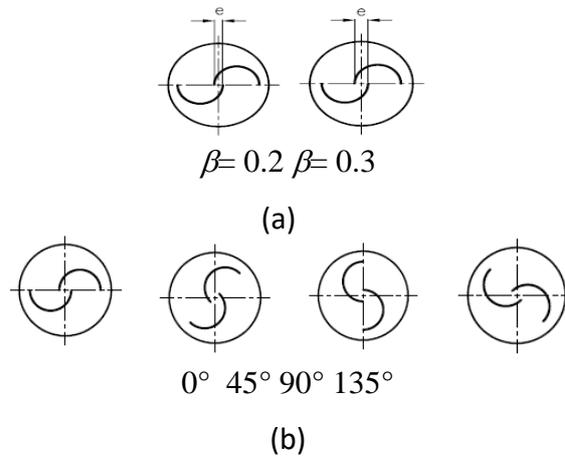
**Gambar 3.7** (1) Contoh Satu Tingkat (2) Contoh Dua Tingkat

(Sumber: Yaakob et al., 2013)

#### 3.3.1 Perbandingan *Overlap Ratio*

Tujuan dan analisa kedua adalah dengan membandingkan perbedaan *Overlap Ratio* yaitu 0.15, 0.18, dan 0.21, menggunakan rotor dua tingkat, dari masing-masing jenis, yaitu Savonius konvensional dengan *Bezier Curve* yang memiliki empat titik kontrol atau kubik, melalui berbagai sudut  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ , dan  $135^\circ$  dengan tujuan hasil dari simulasi adalah *Force* (N) dan juga Torsi (Nm) dari setiap bilahnya,

dengan contoh gambaran perbedaan *Overlap*, sudut dan data yang dituju dapat dilihat di bawah ini.



**Gambar 3.8** (a) Contoh Variasi *Overlap* (b) Contoh Variasi Sudut  
(Sumber: Yaakob et al., 2013)

### 3.4 ANSYS *Fluent*

Pada penelitian ini, peneliti melakukan perancangan dan simulasi berbasis komputer, yaitu solidworks dan ANSYS 2020 R1, ANSYS *Fluent* adalah perangkat lunak simulasi dinamika fluida komputasional yang dikembangkan oleh ANSYS, Inc. Digunakan secara luas di berbagai industri, perangkat lunak ini memungkinkan analisis mendalam terhadap aliran fluida, perpindahan panas, dan reaksi kimia dalam berbagai aplikasi. Dengan kemampuan simulasi aliran fluida, ANSYS *Fluent* memodelkan berbagai kondisi dan geometri, termasuk aliran laminar dan turbulen, serta aliran kompresibel dan inkompresibel. Tak hanya fokus pada simulasi aliran, ANSYS *Fluent* juga mencakup analisis transfer panas dengan mempertimbangkan konduksi, konveksi, dan radiasi (Ansys, 2020).

Keunggulan lainnya adalah kemampuannya dalam menangani simulasi reaksi kimia, khususnya dalam konteks proses seperti pembakaran dan reaksi kimia lainnya. Dengan menyediakan alat mesin otomatis untuk pembuatan grid atau jala, perangkat lunak ini mempermudah persiapan simulasi pada geometri yang kompleks. Selain itu, ANSYS *Fluent* memberikan kemampuan visualisasi dan analisis data yang kuat, memungkinkan pengguna

untuk memahami dengan jelas hasil simulasi seperti profil aliran, distribusi suhu, dan tekanan. Selain digunakan sebagai alat analisis, ANSYS *Fluent* juga mendukung pengoptimalan desain dengan melakukan analisis sensitivitas terhadap parameter desain tertentu, membantu insinyur meningkatkan kinerja produk atau sistem. Dengan demikian, ANSYS *Fluent* memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan produk dan pemahaman perilaku sistem fluida di berbagai sektor industri.

Proses simulasi dalam ANSYS *Fluent* melibatkan tiga tahap utama: *pre-processing*, *processing* dan *post-processing*.

- a. *Pre-Processing*, dimulai dengan mendefinisikan atau mengimpor geometri sistem yang akan dianalisis. Selanjutnya, dilakukan generasi *mesh* untuk membagi geometri menjadi elemen-elemen kecil, dengan kualitas *mesh* yang memengaruhi akurasi simulasi. Selain itu, kondisi batas juga ditetapkan, termasuk kondisi aliran masuk, keluar, properti dinding, dan kondisi awal lainnya. Pengaturan *solver* seperti jenis aliran fluida, model turbulensi, dan kriteria konvergensi juga diatur pada tahap ini.
- b. *Processing* atau eksekusi *solver*, dilakukan inisialisasi dengan menentukan kondisi awal seperti kecepatan, suhu, dan tekanan awal. *Solver* kemudian dijalankan untuk melakukan simulasi, menghitung medan aliran, distribusi suhu, dan parameter lainnya seiring waktu. Penting untuk memantau konvergensi selama simulasi dan menyesuaikan pengaturan *solver* jika diperlukan agar simulasi konvergen menuju solusi yang stabil.
- c. *Post-Processing*, hasil simulasi diekstrak, termasuk profil kecepatan, distribusi tekanan, dan kontur suhu. Alat-alat pascaproses digunakan untuk visualisasi hasil dalam bentuk plot kontur, vektor, animasi, dan sebagainya. Laporan dan dokumentasi dibuat untuk merangkum pengaturan simulasi, hasil, dan kesimpulan. Tahapan ini bersifat iteratif, memungkinkan revisi pada *pre-processing* atau penyesuaian *solver* berdasarkan temuan pada *post-processing*. ANSYS *Fluent*

memberikan lingkungan yang komprehensif untuk eksplorasi perilaku aliran fluida dan transfer panas dalam berbagai konteks aplikasi.

### **3.5 Tempat Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di area kampus peneliti yaitu Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, khususnya Fakultas Teknik, dengan pengambilan data kecepatan arus Selat Sunda dengan bantuan situs web untuk arus, penelitian ini dilakukan dari November 2023 sampai dengan Maret 2024.

### **3.6 Metode Penelitian**

Metode dalam penelitian ini diawali dan didasari dengan studi literatur, baik jurnal, buku dan website, yang tersedia tentunya dapat dijadikan acuan dan diterima oleh khalayak ramai, metode ini digunakan untuk menjadi dasar dan acuan simulasi dan perbandingan, sehingga meminimalisir kesalahan, yang juga menggunakan studi lapangan untuk lokasi rencana penempatan dan arus laut laut Selat Sunda untuk variabel simulasi dengan bantuan situs web.

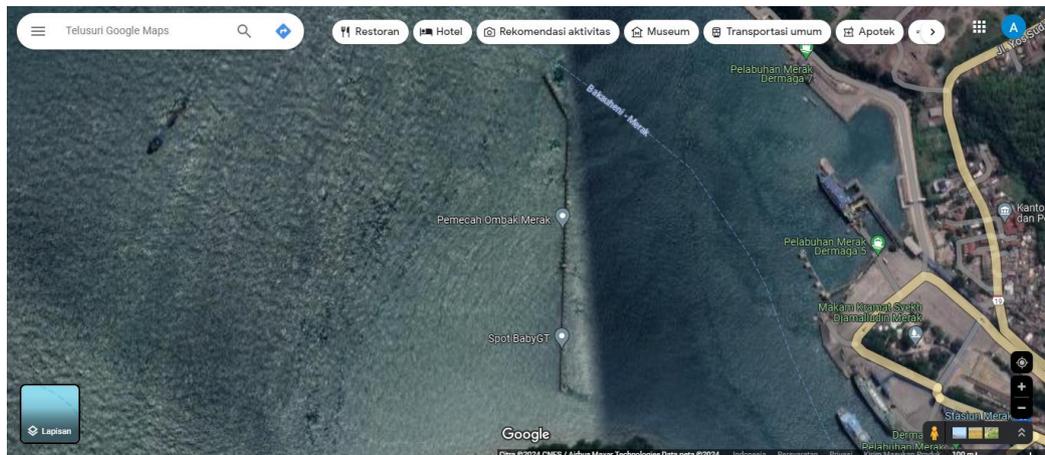
## BAB IV

### DATA HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil Pengamatan Arus Laut

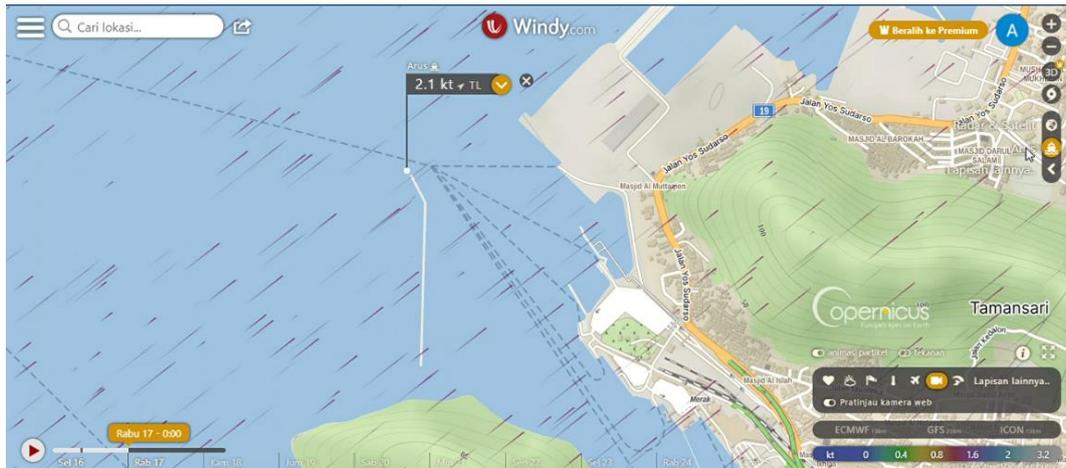
Pengamatan arus laut difungsikan untuk menjadi salah satu parameter yang digunakan untuk melakukan simulasi, dimana pada simulasi ini akan digunakan arus masuk, hal tersebut diambil dari bantuan situs web berupa windy.com, dengan bantuan situs web tersebut, kita bisa mengamati beberapa hari di lokasi tertentu.

Pada lokasi yang telah ditentukan, yaitu perairan Selat Sunda, khususnya di area Pemecah Ombak Pelabuhan Merak, dikarenakan jika penelitian ini dilanjutkan lokasi tersebut akan dijadikan sebagai lokasi tempat penempatan turbin atau rotor, sesuai dijelaskan di bab sebelumnya, seperti pada gambar di bawah ini.



**Gambar 4.1** Lokasi Pengamatan Arus Laut

Setelah didapatkan sasaran lokasi untuk sekiranya ditempatkan turbin savonius tersebut, kita bisa melakukan pengamatan arus laut di sekitar pemecah ombak tersebut dengan bantuan situs web, situs web yang kami gunakan adalah windy.com, dimana pada situs ini dapat memberikan beragam informasi terkait laut, dari angin, ombak, dan juga arus, contoh pengamatan dapat dilihat seperti gambar di bawah ini.



**Gambar 4.2** Pengamatan Arus Laut dengan Windy

Pengambilan data yang diambil dari situ windy tersebut, dikhususkan hanya untuk mendapatkan arus laut, dimana arus laut ini dijadikan sebagai dasar arus laut untuk simulasi, pengambilan data ini dilakukan dalam beberapa hari, dikarenakan keterbatasan dengan website, dalam satu hari dimulai dari 00.00 sampai dengan 23.00 dilakukan rata-rata, sehingga akan mendapatkan arus rata-rata pada hari tersebut, dari keempat harinya juga dilakukan rata-rata, sehingga akan mendapatkan nilai arus yang lebih aktual, dipaparkan dalam tabel di bawah ini.

**Tabel 4.1** Hasil Pengamatan Arus Hari ke-1

Sabtu, 13 Januari 2024				
No	Waktu	Arus		Arah
		(Kt)	(m/s)	
1	00.00-01.00	3.4	1.74911	TL
2	01.00-02.00	3.3	1.69767	TL
3	02.00-03.00	3.1	1.59478	TL
4	03.00-04.00	3.1	1.59478	TL
5	04.00-05.00	2.1	1.08033	TL
6	05.00-06.00	1.9	0.97744	TL
7	06.00-07.00	1.9	0.97744	TL
8	07.00-08.00	1.7	0.87456	TL
9	08.00-09.00	1.6	0.82311	TL
10	09.00-10.00	1.4	0.72022	TL
11	10.00-11.00	1.3	0.66878	TL
12	11.00-12.00	1.1	0.56589	TL
13	12.00-13.00	1.1	0.56589	TL

14	13.00-14.00	0.5	0.25722	U
15	14.00-15.00	0.5	0.25722	U
16	15.00-16.00	0.3	0.15433	U
17	16.00-17.00	0.3	0.15433	U
18	17.00-18.00	0.3	0.15433	U
19	18.00-19.00	0.3	0.15433	TL
20	19.00-20.00	0.3	0.15433	TL
21	20.00-21.00	1.5	0.77167	TL
22	21.00-22.00	2.2	1.13178	TL
23	22.00-23.00	2.8	1.44044	TL
24	23.00-24.00	3.1	1.59478	TL
Rata-Rata Arus		1.62917	0.83812	

**Tabel 4.2** Hasil Pengamatan Arus Hari ke-2

Senin, 15 Januari 2024				
No	Waktu	Arus		Arah
		(Kt)	(m/s)	
1	00.00-01.00	2.7	1.389	TL
2	01.00-02.00	2.8	1.44044	TL
3	02.00-03.00	2.7	1.389	TL
4	03.00-04.00	2.5	1.28611	TL
5	04.00-05.00	1.8	0.926	TL
6	05.00-06.00	1.8	0.926	TL
7	06.00-07.00	1.6	0.82311	TL
8	07.00-08.00	1.3	0.66878	TL
9	08.00-09.00	1.1	0.56589	TL
10	09.00-10.00	1.2	0.61733	TL
11	10.00-11.00	1.2	0.61733	TL
12	11.00-12.00	1.2	0.61733	TL
13	12.00-13.00	1.1	0.56589	TL
14	13.00-14.00	0.9	0.463	TL
15	14.00-15.00	0.9	0.463	TL
16	15.00-16.00	0.6	0.30867	TL
17	16.00-17.00	0.5	0.25722	TL
18	17.00-18.00	0.5	0.25722	TL
19	18.00-19.00	0.5	0.25722	TL
20	19.00-20.00	0.7	0.36011	TL
21	20.00-21.00	1	0.51444	TL
22	21.00-22.00	1.8	0.926	TL
23	22.00-23.00	1.8	0.926	TL

24	23.00-24.00	2.3	1.18322	TL
Rata-Rata Arus		1.4375	0.73951	

**Tabel 4.3** Hasil Pengamatan Arus Hari ke-3

Rabu, 17 Januari 2024				
No	Waktu	Arus		Arah
		(Kt)	(m/s)	
1	00.00-01.00	2.1	1.08033	TL
2	01.00-02.00	2.3	1.18322	TL
3	02.00-03.00	2.4	1.23467	TL
4	03.00-04.00	2.3	1.18322	TL
5	04.00-05.00	1.9	0.97744	TL
6	05.00-06.00	1.7	0.87456	TL
7	06.00-07.00	1.3	0.66878	TL
8	07.00-08.00	0.8	0.41156	TL
9	08.00-09.00	0.7	0.36011	TL
10	09.00-10.00	0.7	0.36011	TL
11	10.00-11.00	0.8	0.41156	TL
12	11.00-12.00	1	0.51444	TL
13	12.00-13.00	1.1	0.56589	TL
14	13.00-14.00	1.2	0.61733	TL
15	14.00-15.00	1.4	0.72022	TL
16	15.00-16.00	1.5	0.77167	TL
17	16.00-17.00	1.4	0.72022	TL
18	17.00-18.00	1.3	0.66878	TL
19	18.00-19.00	1.3	0.66878	TL
20	19.00-20.00	1.2	0.61733	TL
21	20.00-21.00	1.2	0.61733	TL
22	21.00-22.00	1.3	0.66878	TL
23	22.00-23.00	1.4	0.72022	TL
24	23.00-24.00	1.6	0.82311	TL
Rata-Rata Arus		1.4125	0.72665	

**Tabel 4.4** Hasil Pengamatan Arus Hari ke-4

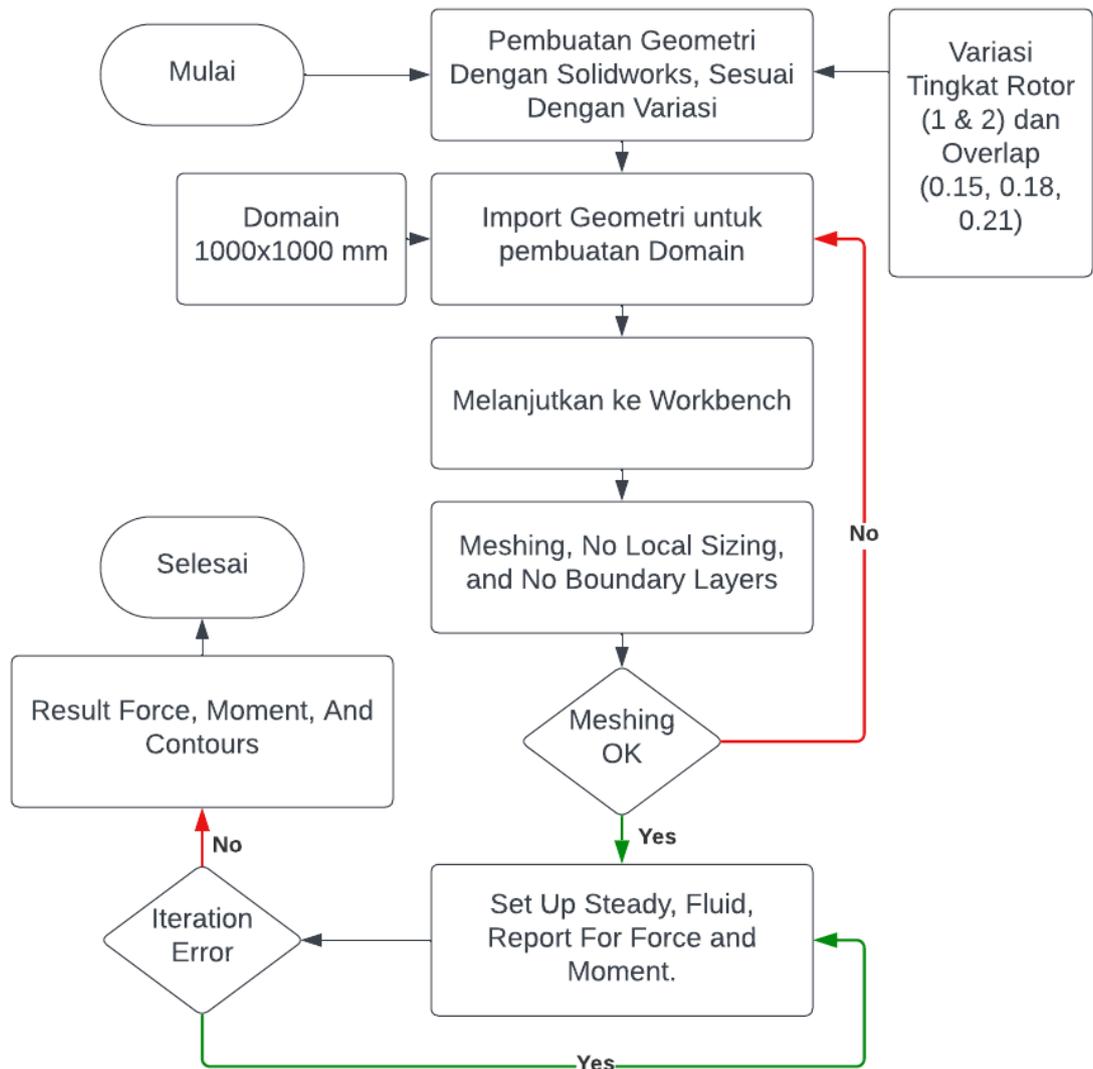
Kamis, 18 Januari 2024				
No	Waktu	Arus		Arah
		(Kt)	(m/s)	
1	00.00-01.00	1.9	0.97744	TL
2	01.00-02.00	2.1	1.08033	TL
3	02.00-03.00	2.1	1.08033	TL

4	03.00-04.00	2.1	1.08033	TL
5	04.00-05.00	1.9	0.97744	TL
6	05.00-06.00	1.6	0.82311	TL
7	06.00-07.00	1.3	0.66878	TL
8	07.00-08.00	1	0.51444	TL
9	08.00-09.00	0.7	0.36011	TL
10	09.00-10.00	0.7	0.36011	TL
11	10.00-11.00	0.6	0.30867	TL
12	11.00-12.00	0.8	0.41156	TL
13	12.00-13.00	1	0.51444	TL
14	13.00-14.00	1.3	0.66878	TL
15	14.00-15.00	1.6	0.82311	TL
16	15.00-16.00	1.8	0.926	TL
17	16.00-17.00	1.9	0.97744	TL
18	17.00-18.00	1.9	0.97744	TL
19	18.00-19.00	1.9	0.97744	TL
20	19.00-20.00	1.9	0.97744	TL
21	20.00-21.00	1.8	0.926	TL
22	21.00-22.00	1.7	0.87456	TL
23	22.00-23.00	1.8	0,926	TL
24	23.00-24.00	1.9	0.97744	TL
Rata-Rata Arus		1.55417	0.79953	

Rata-rata dari arus per hari tersebut kemudian dijadikan rata-rata kembali, sehingga mendapatkan arus yang lebih aktual dari total hari, sehingga mendapatkan arus masuk untuk simulasi adalah 0.77 m/s, pada dasarnya arus ini tidak terlalu berpengaruh pada karakteristik setiap rotor atau perbandingan keduanya, namun tentu saja, arus berpengaruh kepada hasil gaya atau torsi yang didapatkan pada rotor, sehingga arus semakin tinggi maka gaya atau torsi dapat semakin tinggi pula, namun pastinya tidak akan merubah jenis rotor mana yang lebih baik khususnya fokus kita dalam mendapatkan torsinya, dengan arus yang lebih tinggi pula akan lebih terlihat perbedaan dan karakteristiknya dalam menganalisa.

## 4.2 Simulasi CFD

Simulasi CFD ini dilakukan untuk mendapatkan atau membantu kita menuju tujuan utama, yaitu mencari tahu atau menguji dari performa rotor dari Konvensional dan juga Bezier, terkait hal tersebut perlu adanya pembahasan terkait pengaturan simulasi yang akan dilakukan, berikut adalah diagram alir simulasi yang dijadikan acuan peneliti untuk melakukan simulasi.

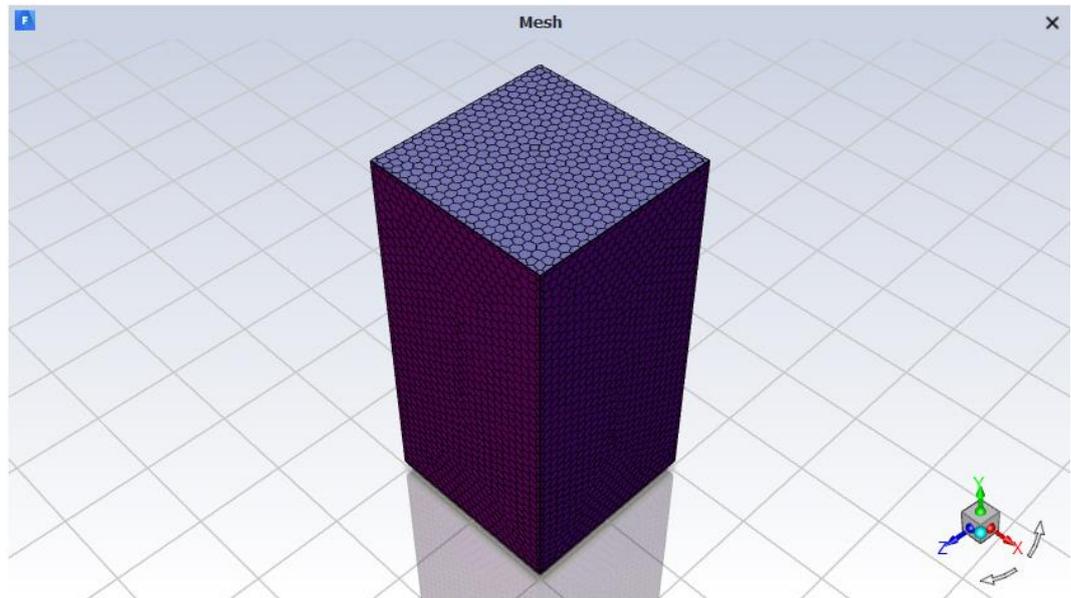


**Gambar 4.3** Diagram Alir Simulasi

Dari diagram alir tersebut dapat kita bahas dari awal sampai akhir, sehingga dapat memudahkan kita memahami alur dari pengaturan dan jalanya simulasi, untuk membandingkan atau menguji performa dari rotor konvensional dan juga bezier.

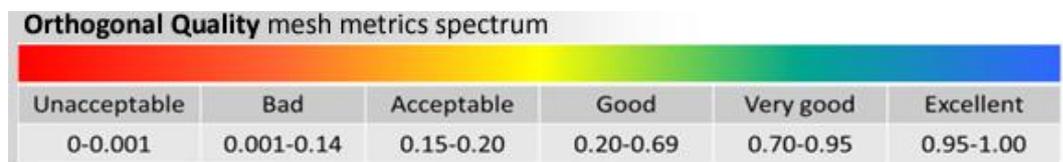
1. Hal pertama dalam mempersiapkan simulasi CFD adalah geometri, geometri yang kami buat dibantu dengan aplikasi lain, yaitu Solidworks, dikarenakan peneliti lebih memahami sehingga dapat mempersingkat waktu untuk melakukan penelitian, dengan variasi yang sudah ditentukan, yaitu rotor konvensional yang memiliki satu tingkat dan dua tingkat, kemudian variasi tumpang tindih dari 0.15, 0.18, dan 0.21. variasi ini telah dibahas pada bab sebelumnya.
2. Geometri dapat di-*import* ke aplikasi *spaceclaim* Ansys, yang dimana pada tahapan ini digunakan untuk membuat domain, dimulai dengan menempatkan geometri pada titik 0 dari x, y, dan z, sehingga berada pada tengah-tengah geometri tersebut, kemudian kita bisa membuat domain dengan dimensi 1000x1000mm, dengan tinggi 2000mm. Setelah itu kita bisa melakukan penamaan pada setiap dinding khususnya pada bilah untuk memudahkan kita dalam melihat hasil dari simulasi.
3. *Meshing*, dimana pada tahapan setelah dibuatnya domain, kita bisa melanjutkan pada *workbench* untuk *import* geometri, pada tahapan ini melewati opsi *add local sizing* dan juga *add boundary layers* dengan alasan, geometri dari penelitian ini tidak terlalu kompleks, dan juga kurangnya sumber daya pada komputer, dengan target mencukupi simulasi.
4. *Decision*, pada tahapan ini adanya pengecekan kualitas yang dihasilkan dari *meshing*, ada beberapa cara untuk mengetahui kualitas tersebut, untuk menentukan apakah dapat dilanjutkan dan akan mendapatkan hasil yang baik, hal yang paling umum adalah jumlah *cells*, pada bab dua telah dibahas bahwa semakin banyak jumlah *cells* maka semakin rapat dan akurat perhitungan atau simulasi yang dilakukan, pada penelitian ini *meshing* yang didapatkan adalah rata-rata 800000-

900000, maka penelitian ini dapat dikatakan cukup dan dapat diterima, dibandingkan dengan penelitian yang lain yaitu seperti (Kerikous & Thévenin, 2019) dimana melakukan simulasi savonius CFD bentuk yang sama yaitu Savonius dengan 400000 *cells*, juga dengan penelitian (Suroño et al., 2023) yang mendapatkan total *cells* adalah 600000.



**Gambar 4.4** *Meshing*

Kemudian kita bisa melihat dari *Minimum Orthogonal Quality*, penelitian ini mendapatkan nilai 0.18918, jika dilihat dari toleransinya bahwa nilai tersebut dapat diterima, bahkan mendekati baik. seperti gambar di bawah ini yang dipaparkan oleh Ansys itu sendiri.



**Gambar 4.5** *Mesh Metrics Spectrum*

(Sumber: Ansys.com)

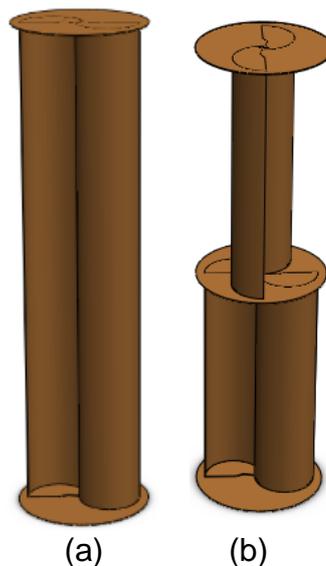
5. Kualitas *meshing* telah diverifikasi mendapatkan hasil yang cukup akurat untuk melakukan simulasi, sehingga kita bisa melakukan pengaturan selanjutnya, dimana pada tahapan ini dilakukan dengan metode waktu *Steady* metode ini diasumsikan bahwa aliran konstan

terhadap waktu, sehingga cukup untuk hanya mengetahui performa dari kedua jenis rotor. Mengatur fluida supaya cocok dengan arus laut yaitu dengan *Density* 1025 (kg/m<sup>3</sup>) dan *Viskositas* 0.00085 (kg/m-s) dengan suhu 28°C, dengan mengabaikan material dari rotor.

6. *Decision*, dapat dilihat apakah pada tahapan dijalankannya simulasi apakah terjadi *error* atau berjalan lancar, seluruh simulasi yang telah dilakukan berjalan dengan baik, sehingga dapat dilanjutkan.
7. Hasil simulasi ditampilkan dari *report definitions* dengan hasil Force (N) dan Torsi, juga dapat dilihat total dari Force (N) dan Torsi (Nm) sesuai dengan bidang yang kita pilih, kita juga dapat memberikan visualisasi arus atau *velocity* dengan bantuan *contours*.
8. Selesai.

#### 4.3 Hasil Perbandingan Tingkat Rotor Konvensional

Penelitian ini adalah mengetahui karakteristik terkait rotor savonius yang akhir-akhir ini populer, dengan bantuan CFD, dimana peneliti pada tahap ini melakukan simulasi dengan membandingkan perbedaan tingkat bilah rotor, dimana rotor yang memiliki satu tingkat hanya memiliki dua buah bilah, dan rotor yang memiliki dua tingkat akan memiliki empat buah bilah, seperti pada gambar di bawah ini:



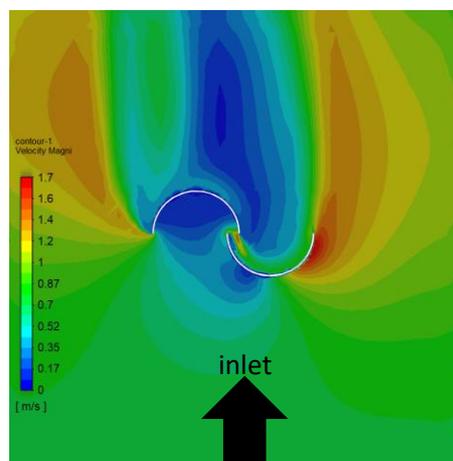
**Gambar 4.6** (a) Rotor Satu Tingkat (b) Rotor Dua Tingkat

Simulasi ini dilakukan dengan mencari tahu terlebih dahulu mana yang terbaik dari dua tingkat dan satu tingkat, dengan percobaan menggunakan bentuk konvensional dengan *Overlap Ratio* pertama yaitu 0.15 dan sudut 0 derajat, dengan begitu mendapatkan hasil simulasi Force (N) dan Torsi (Nm) dari *report* lokal dan total secara langsung seperti berikut berikut:

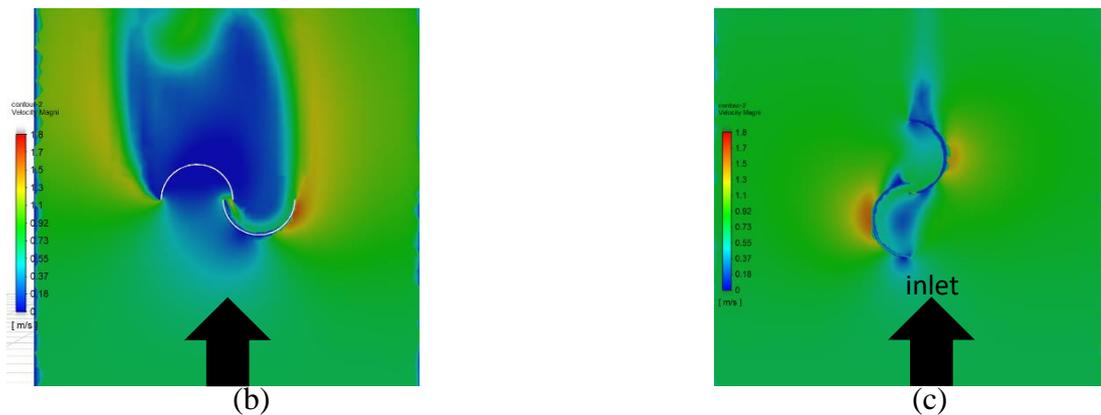
**Tabel 4.5** Hasil Perbandingan Satu Tingkat Rotor Konvensional

Overlap 0,15						
No	Tingkat	Sudut	Paddle	Force (N)	Torsi (Nm)	Total Torsi
1	Satu	0'	1	-7.32	-14.59	-10.404
			2	174.92	4.19	
2	Dua	0'	1	-69.45	-5.53	-10.9
			2	10.56	-0.87	
			3	-3.48	-4.9	
			4	75.88	0.4	

Hasil tabel di atas menunjukkan bahwa untuk melakukan kinerja yang baik dalam penggunaannya nanti untuk turbin arus laut, didapatkan yang terbaik adalah untuk rotor dua tingkat yang mendapatkan torsi 10.92 Nm, dengan negatif mengartikan arah putar rotor yaitu searah jarum jam (Tahir et al., 2016), sesuai pula dengan penelitian yang dilakukan oleh (O. B. Yaakob et al., 2013) bahwa dalam mendapatkan torsi terbaik dari jumlah tingkat rotor adalah dua tingkat dengan negatif mengartikan berlawanan dengan arah masuknya tekanan atau gaya (Ansys, 2009).



(a)



**Gambar 4.7** (a) Aliran Savonius 1 tingkat (b) Aliran Savonius 2 Tingkat bagian Bawah (c) Aliran Savonius 2 Tingkat bagian Atas

Hasil yang telah didapatkan juga bisa kita visualisasikan dengan bantuan *contours* dari ansys, dimana pada aplikasi ini difungsikan untuk melihat aliran fluida atau arus laut yang melewati atau kontak terhadap *mesh* tertentu, dapat dilihat bahwa gambar di atas (a) merupakan tingkat satu, hal ini dapat disimpulkan akan ada arus terbangun atau tertahan dalam satu rotor dengan dimensi yang sama, berbeda dengan (b) dan (c) dimana ada yang melakukan penahanan ada juga yang membuang arus jika memang tidak diperlukan, perlu diingat bahwa penelitian ini disimulasikan rotor secara diam, sehingga dianggap sebagai dinding dan opsi pada *meshing* yaitu *no boundary layers* sehingga dibelakang *paddle* tidak ada turbulensi, akan dijelaskan lebih lanjut di sub bab selanjutnya.

Beralih pada fokus utama yaitu membandingkan dan mencari tahu terkait pembaharuan rotor savonius yaitu memiliki bentuk dengan berdasarkan *Bezier Curve*, dimana telah dipopulerkan salah satunya oleh (Zemamou et al., 2020) dimana pada penelitiannya untuk turbin angin turbin bezier savonius ini memiliki keunggulan.

#### 4.4 Hasil Perbandingan Bezier dengan Konvensional

Perbandingan selanjutnya yaitu perbandingan utama atau mencari karakteristik dan efisiensi terbaik khususnya pada torsi untuk dibuat menjadi

turbin arust laut, pada penelitian ini yaitu dibandingkan antara bentuk savonius *Bezier Curve* dengan Konvensional atau setengah lingkaran, manakah yang terbaik diantara keduanya, dilakukan juga variasi *Overlap* untuk menguatkan penelitian.

*Overlap* yang digunakan divariasikan menjadi tiga, yaitu 0.15, 0.18, dan juga 0.21 dimana *Overlap* ini disesuaikan pada *base* setiap rotor atau bilah, sehingga terdapat celah yang difungsikan untuk mengeluarkan arus yang terjebak didalam bilah-bilah, nilai dimensi dari ketiga *Overlap* didapatkan dari perhitungan sesuai rumus, seperti berikut:

$$\beta = \frac{e}{d}$$

dimana:

$\beta$  = Rasio *Overlap*

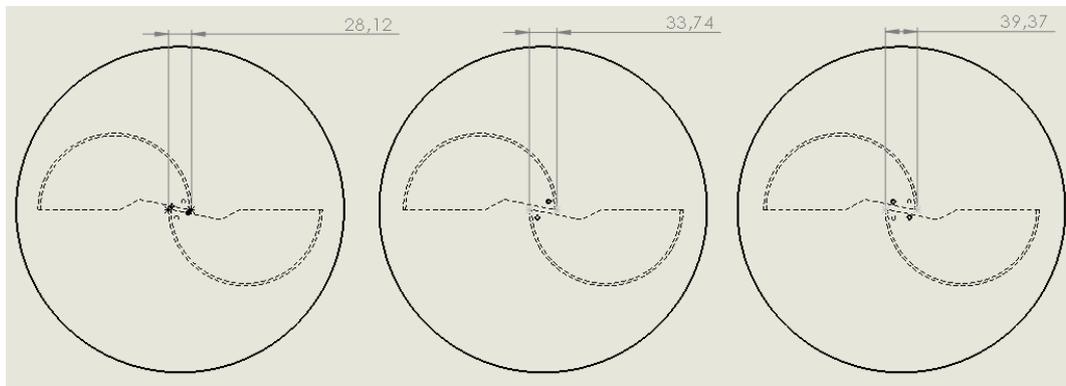
$e$  = *Overlap* antara *Paddle*

$d$  = Diameter *Paddle*

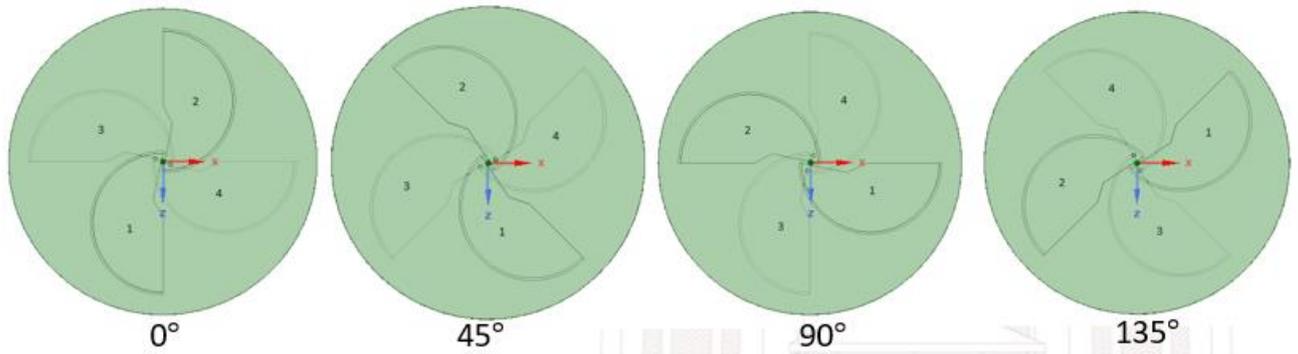
**Tabel 4.6** Dimensi *Overlap*

No	Variasi <i>Overlap</i> ( $\beta$ )	Dimensi <i>Overlap</i> ( $e$ )
1.	0.15	28.12 mm
2.	0.18	33.75 mm
3.	0.21	39.37 mm

bentuk dari ketiga *Overlap* seperti berikut:



**Gambar 4.8** Variasi *Overlap*



**Gambar 4.9** *Paddle* Sesuai Sudut

*Paddle* dari berbagai sudut dapat divisualisasikan seperti di atas, dengan *paddle* 1 dan 2 berada di bagian atas rotor, 3 dan 4 berada di bagian bawah rotor dua tingkat.

#### 4.2.1 Perbandingan *Overlap* 0.15

Berikut adalah hasil dari simulasi CFD yang dilakukan pada varisasi *Overlap* 0.15, dimana bentuk perbedaan celah dapat dilihat pada gambar sub bab di atas, didapatkan beberapa variasi seperti pada tabel di bawa ini:

**Tabel 4.7** Hasil Simulasi *Overlap* 0.15

<b><i>Overlap</i> 0,15</b>						
<b>No</b>	<b>Bentuk</b>	<b>Sudut</b>	<b>Paddle</b>	<b>Force (N)</b>	<b>Torsi (Nm)</b>	<b>Total Torsi</b>
1	Bezier	0'	1	-50.78	-5.65	-11.63
			2	28.25	-2.08	
			3	85.57	2.34	
			4	-3.92	-6.24	
2	Konvensional	0'	1	-69.45	-5.53	-10.9
			2	10.56	-0.87	
			3	-3.48	-4.9	
			4	75.88	0.4	
3	Bezier	45'	1	2.36	1.28	-12.31
			2	23.68	-3.52	
			3	94.85	-5.61	
			4	-41.70	-4.46	
4	Konvensional	45'	1	16.22	3.24	-13.72

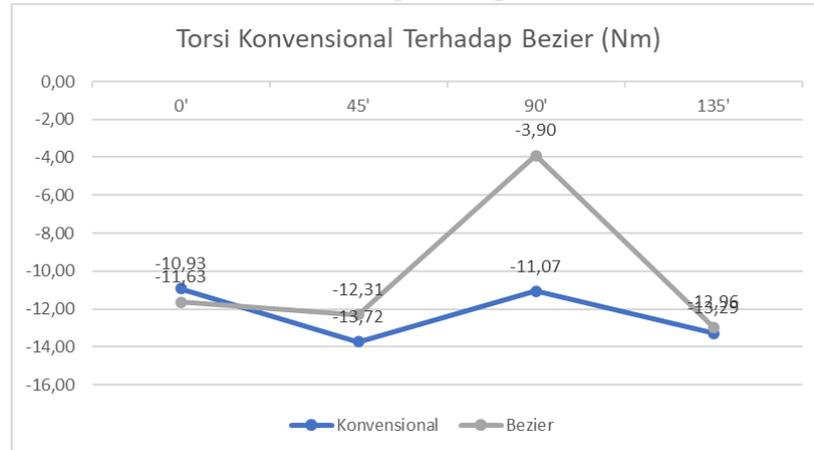
			2	42.75	-5.45	
			3	-59.58	-6.49	
			4	108.87	-5.02	
5	Bezier	90'	1	85.80	2.77	-3.90
			2	-3.87	-6.69	
			3	24.88	-2.76	
			4	-24.19	2.77	
6	Konvensional	90'	1	-20.37	-5.40	-11.07
			2	-8.74	-1.00	
			3	-61.24	-4.94	
			4	-4.44	0.27	
7	Bezier	135'	1	131.68	-7.84	-12.96
			2	-32.19	-3.41	
			3	38.55	4.17	
			4	53.58	-5.87	
8	Konvensional	135'	1	135.03	-8.03	-13.29
			2	-33.07	-3.51	
			3	39.57	4.28	
			4	54.96	-6.02	

Dapat dilihat bahwa dalam melakukan simulasi rotor savonius ada berbagai macam variasi, diantara rasio *Overlap* yang telah dibahas juga ada sudut, untuk menyimpulkan berbagai macam kemungkinan dari beberapa bilah mendapatkan tekanan dari arus laut tersebut, dari data tersebut pula telah didapatkan berbagai hasil gaya dan torsi yang didapatkan dari beberapa sudut arus laut, dimana arus masuk tetap sama.

Menariknya berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh (Zemamou et al., 2020) dimana pada penelitiannya menjelaskan bahwa bilah dari rotor savonius berbasis bezier lebih baik dibandingkan dengan konvensional atau setengah lingkaran, yang mereka lakukan pada turbin angin.

Penelitian yang kami lakukan mendapatkan hasil yang berbeda dari penelitian tersebut, menggambarkan dan menyimpulkan dari data yang didapatkan untuk variasi *Overlap* 0.15 bahwa nilai yang terbaik dan lebih tinggi dari torsi (Nm) adalah tetap pada jenis konvensional yaitu

bilah rotor yang memiliki bentuk setengah lingkaran, walaupun tidak semua sudut, namun tidak menutup kesimpulan tersebut.



**Gambar 4.10** Diagram Torsi Konvensional Terhadap Bezier (Nm)

Torsi yang didapatkan oleh savonius berbasis konvensional atau berbentuk setengah lingkaran pun sama, mendapatkan nilai yang lebih baik, dibandingkan dengan savonius berbasis *Bezier Curve*, bahkan dalam keseluruhan total bilah konvensional mendapatkan torsi yang lebih baik, menandakan bahwa rotor jenis ini lebih baik.

Melihat dari dari berbagai variasi sudut rotor yang didapatkan dari kedua jenis, yaitu rotor savonius berbasis bezier dan juga konvensional di atas, dengan variasi 0°, 45°, 90° dan 135° di atas bahwa sudut rotor yang mendapatkan nilai terbaik adalah 45° dan 135°, dimana pada konvensional berbeda tipis, yaitu 45° yang memiliki nilai terbaik, namun pada bezier yaitu pada nilai 135°, namun hasil ini tetap menjelaskan bahwa fakta sudut terbaik adalah 135°.

Dari hasil sudut terbaik di atas, peneliti melakukan penelitian selanjutnya yaitu variasi rasio *Overlap* 0.18 dan 0.21 untuk menguatkan hasil dari jenis bilah terbaik, menggunakan sudut yang mendapatkan nilai terbaik yaitu 135° saja.

#### 4.2.2 Perbandingan *Overlap* 0.18

Perbandingan selanjutnya adalah dari rasio *Overlap* 0.18, dimana pada simulasi ini dilakukan hanya pada sudut 135° saja, yaitu sudut

yang memiliki hasil terbaik, diambil dari kesimpulan rasio variasi 0.15, dipaparkan dengan tabel di bawah ini.

**Tabel 4.8** Hasil Simulasi *Overlap* 0.18

<b>Overlap 0,18</b>						
<b>No</b>	<b>Bentuk</b>	<b>Sudut</b>	<b>Paddle</b>	<b>Force (N)</b>	<b>Torsi (Nm)</b>	<b>R. Torsi</b>
9	Bezier	135'	1	77.38	-3.46	-8.04
			2	-51.14	-2.68	
			3	12.58	1.02	
			4	28.31	-2.91	
10	Konvensional	135'	1	26.22	-1.88	-11.18
			2	-62.78	-5.81	
			3	6.38	1.35	
			4	23.33	-3.20	

Dapat dilihat bahwa pada tahap simulasi ini pun menariknya bahwa savonius berbentuk konvensional atau setengah lingkaran memiliki nilai atau hasil yang lebih baik dibandingkan dengan Bezier, dari segi torsi, yaitu mendapatkan nilai 9.53 Nm dengan arah searah jarum jam.

#### 4.2.3 Perbandingan *Overlap* 0.21

Perbandingan terakhir adalah dari rasio *Overlap* 0.21, dimana pada simulasi ini dilakukan hanya pada sudut 135° saja, yaitu sudut yang memiliki hasil terbaik, diambil dari kesimpulan rasio variasi 0.15, dipaparkan dengan tabel di bawah ini.

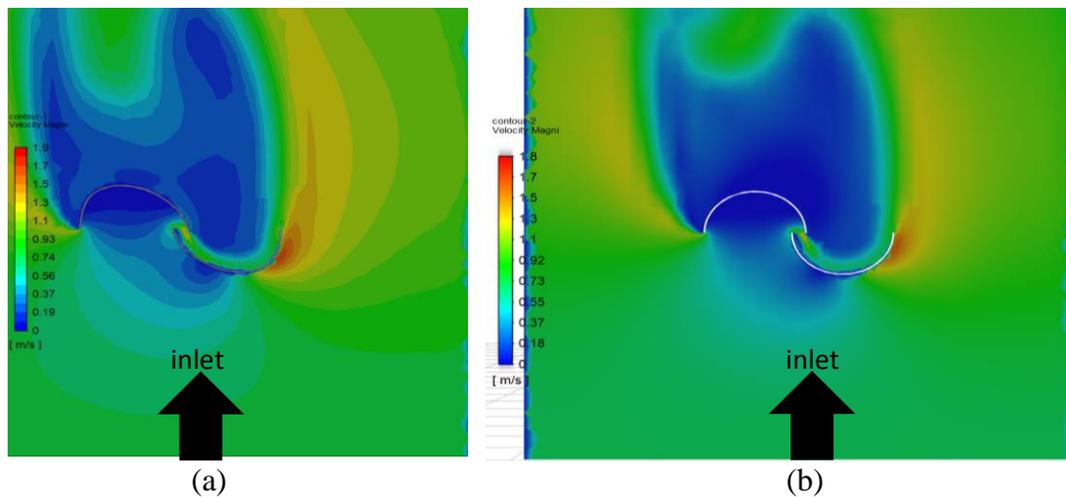
**Tabel 4.9** Hasil Simulasi *Overlap* 0.21

<b>Overlap 0,21</b>						
<b>No</b>	<b>Bentuk</b>	<b>Sudut</b>	<b>Paddle</b>	<b>Force (N)</b>	<b>Torsi (Nm)</b>	<b>Total Torsi</b>
9	Bezier	135'	1	2.48	-0.02	-6.12
			2	-41.19	-4.04	
			3	29.17	2.70	
			4	46.61	-4.75	
10	Konvensional	135'	1	18.82	-1.82	-9.19
			2	-53.43	-5.37	
			3	13.45	1.21	
			4	32.47	-3.20	

Terlihat kembali hasil yang didapatkan dari simulasi rasio ini mendapatkan nilai terbaik dari segi torsi (Nm) didapatkan oleh jenis konvensional dengan hasil 9.19 Nm serah jarum jam.

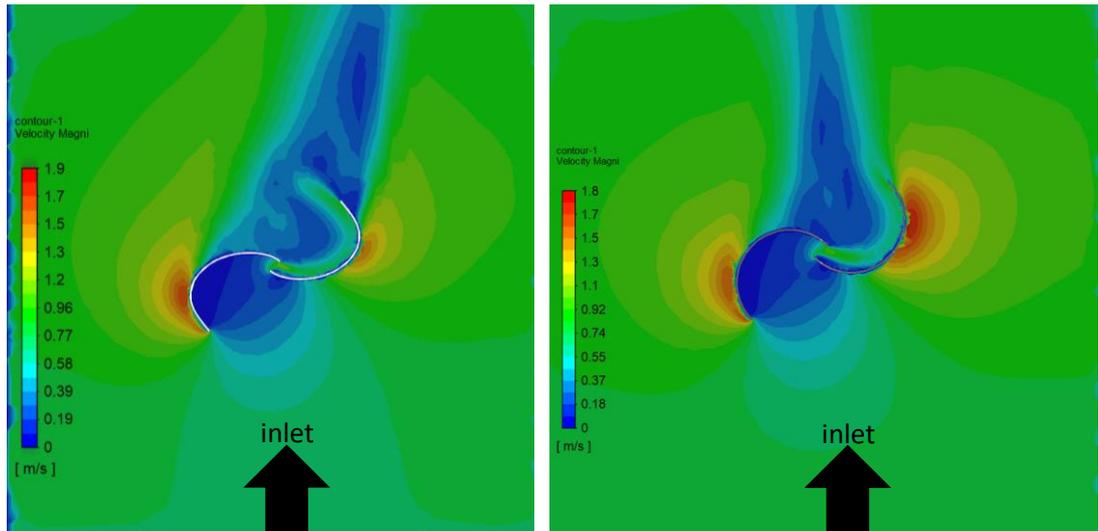
#### 4.5 Hasil Perbandingan Sudut dengan *Contours*

Tahap selanjutnya kita bisa menganalisa atau membahas terkait sudut dari bilah-bilah yang diterima ketika dilakukanya simulasi, dimana pada setiap sudut mendapatkan perlakuan dan karakteristik sendiri, contohnya dalam mengelola arus yang diterima dan arus yang dibuang, dalam hal ini kita dapat melakukan visualisasinya dengan menggunakan *Contours*, seperti beberapa gambar di bawah ini.



**Gambar 4.11** (a) 0° Bezier (b) 0° Konvensional

Gambar di atas mevisualisasikan dari sudut 0° dari jenis Bezier dan juga Konvensional dimana arus atau *velocity* yang dialami atau diterima dari bilah rotor tersebut, dapat terlihat bahwa sedikit sekali perbedaan dari bentuk ataupun warna yang tertera pada kedua gambar tersebut, namun jika kita lihat pada aliran masuk bentuk dari gambar (a) memiliki lebaran arus rendah yang lebih kecil, sehingga memungkinkan mendapatkan gaya yang lebih baik, karena buangan dari arus yang cepat pula dapat dilihat dari celah bilah.

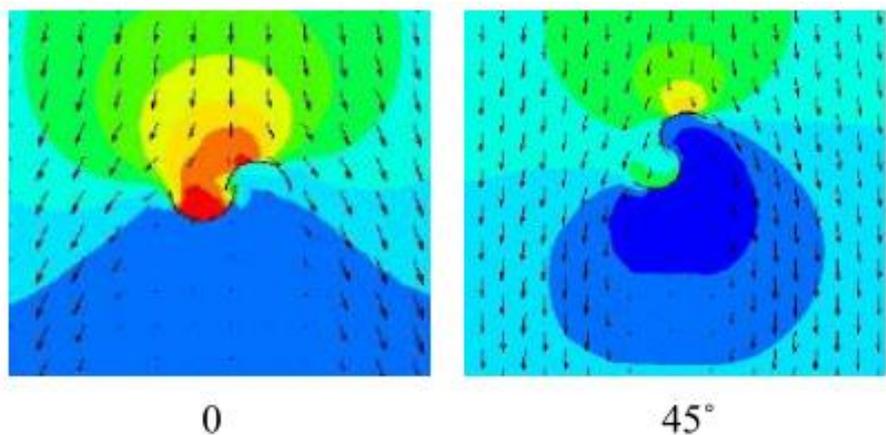


(a)

(b)

**Gambar 4.12** (a) 45° Bezier (b) 45° Konvensional

Terlihat dari gambar di atas, kedua gambar tersebut memiliki arah arus rendah yang berbeda, pada gambar (a) arah arus rendah yaitu sedikit ke kanan, dikarenakan bentuk itu sendiri, sedangkan gambar (b) seperti menahan seluruh aliran yang masuk, sehingga memungkinkan memiliki atau mendapatkan gaya yang diterima lebih baik. Untuk melakukan validasi pada hasil aliran, dapat dilihat pada penelitian (O. Bin Yaakob et al., 2010) pada gambar di bawah ini.



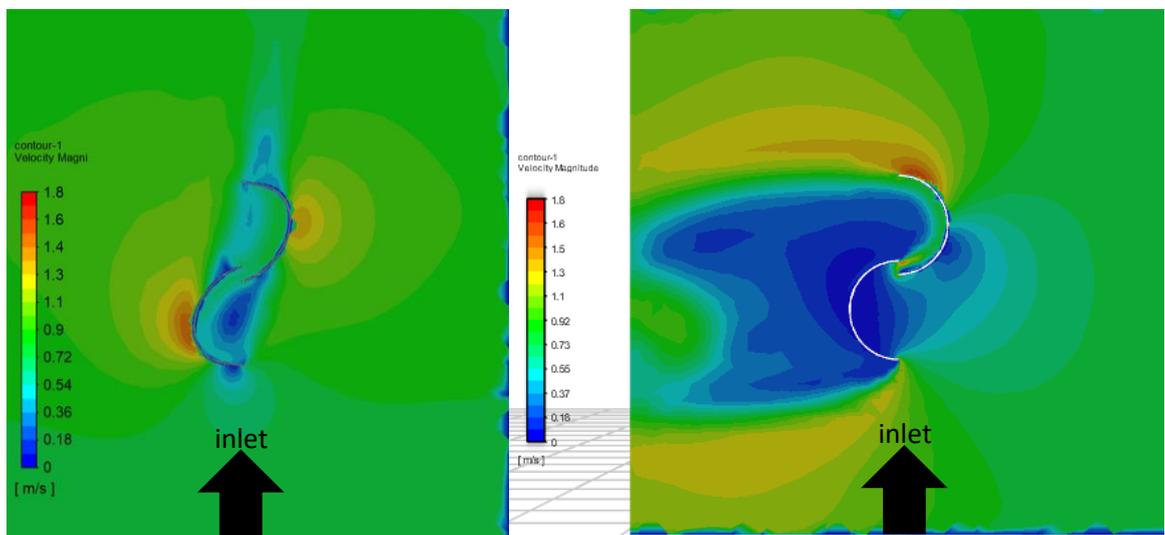
0

45°

**Gambar 4.13** Validasi Penelitian

(Sumber: (O. Bin Yaakob et al., 2010))

Dapat dilihat bahwa hasil gambar *contour* memiliki kesamaan yaitu tidak adanya turbulensi, dengan atau arus yang berada di belakang *paddle* mendapatkan arus mendekati 0 m/s, dikarenakan penelitian ini mensimulasikanya dalam keadaan diam dan juga *no boundary layers* sehingga tidak terdapat turbulensi, dikarenakan fungsi dari penelitian ini mengetahui torsi yang didapatkan oleh *paddle* rotor, sehingga tidak perlu mendapatkan secara aktualnya dalam bergerak, rotor yang disimulasikan dalam keadaan diam pun dapat dijadikan sebagai referensi pengujian, sehingga mendapatkan karakteristik dari rotor tersebut.

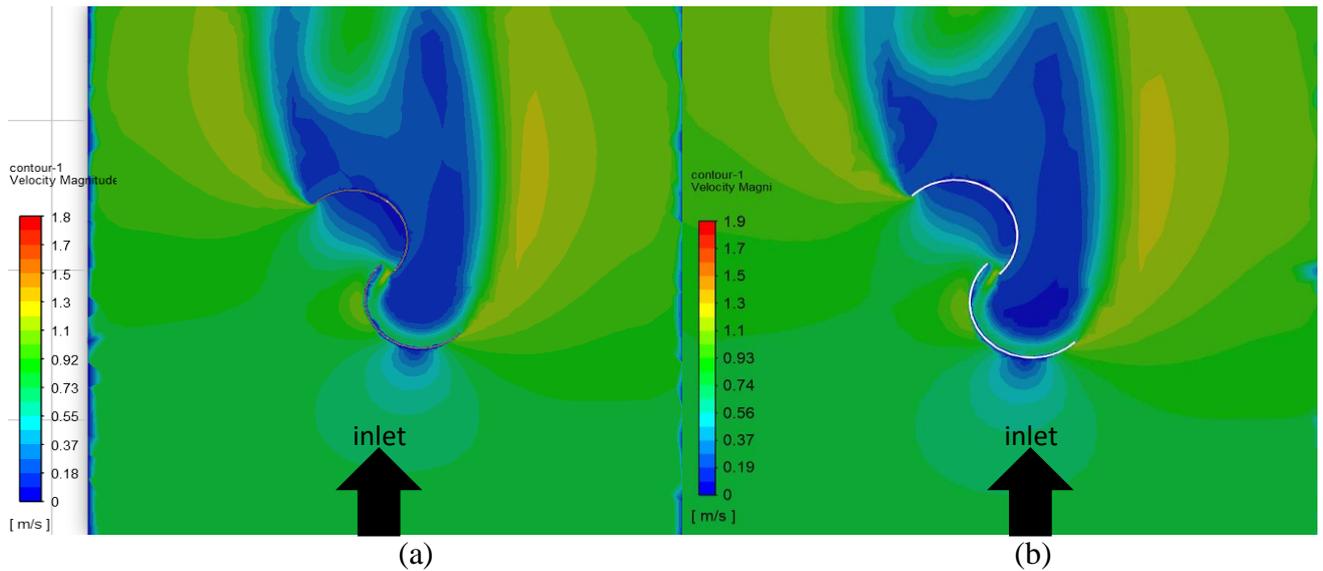


(a)

(b)

**Gambar 4.14** (a) 90° Bezier (b) 90° Konvensional

Gambar di atas merupakan hasil visualisasi dari *velocity* atau kecepatan arus di sekitar rotor, dapat terlihat pada sudut yang sama terdapat perbedaan yang signifikan yang dialami atau respon dari kedua jenis rotor tersebut, pada gambar (a) memiliki arus rendah di sekitar rotor yang lebih sedikit, hal ini mengartikan sedikit arus yang tertahan sehingga mengakibatkan gaya yang kecil, juga dapat dilihat bahwa aliran masuk tidak bervariasi dan memiliki arus yang tidak begitu cepat, dibandingkan dengan gambar (b) terdapat arus yang tertahan dan arus yang masuk dengan kecepatan tinggi pada rotor aliran masuk.



**Gambar 4.15** (a) 135° Bezier (b) 135° Konvensional

Kedua gambar di atas tidak terlalu berbeda satu sama lain, padahal memiliki bentuk yang berbeda, pun sama dengan hasilnya, dapat dilihat dari rasio 0,15 dengan sudut yang sama, kedua jenis rotor tersebut, mendapatkan perbedaan 1 nilai saja dari gaya yang diterima kedua jenis bilah tersebut. Hal ini mengartikan bahwa sudut ini pada kedua jenis rotor tidak terlalu berpengaruh sehingga ketika dibandingkan dengan hasil yang didapatkan berbeda, tetap gambar (b) memiliki nilai yang lebih baik.

#### 4.6 Kinerja Rotor Savonius Bezier

Kinerja Rotor savonius dikenal dengan beberapa istilah antaranya lain yang paling sering kita temukan adalah, Koefisien Torsi ( $C_t$ ), Koefisien Daya ( $C_p$ ). Istilah ini dapat ditemukan jika pada penelitian atau pengujian mendapatkan *tip speed ratio* (TSR) dan  $C_t$  ditemukan. Rumus tersebut diantara lain (Suprayogi, 2010):

$$C_t = \frac{4 \cdot T}{(\rho \cdot V_m^2 \cdot D_m^2 \cdot H)}$$

$$\lambda = \frac{\omega \cdot r}{V_m}$$

$$C_p = C_t \cdot \lambda$$

Dimana:

$T$  = Torsi (Nm)

$\rho = 1025$  (kg/m<sup>3</sup>)

$V_m$  = Kecepatan Aliran (m/s)

$D_m$  = Diameter Rotor (m)

$r$  = Jari-jari (m)

$H$  = Tinggi Rotor (1,5)

$\omega$  = Kecepatan Sudut (rad/s)

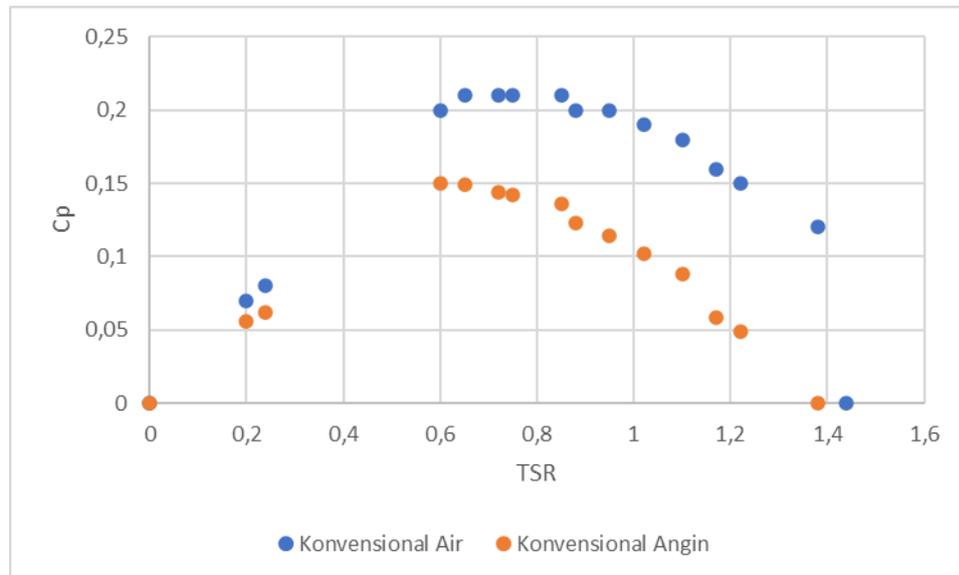
Simulasi CFD tidak dapat memberikan kecepatan rotor atau RPM sehingga TSR tidak dapat ditentukan, simulasi juga hanya memberikan satu nilai torsi saja, sehingga koefisien torsi tidak dapat ditentukan, untuk mendapatkan nilai akhir perbandingan yaitu koefisien daya ( $C_p$ ). Sehingga untuk mendapatkan hal tersebut kita bisa mengambil data untuk disesuaikan kembali dari penelitian (Sarkar & Bhattacharyya, 2012), sehingga mendapatkan beberapa data tabel dan grafik berikut:

**Tabel 4.10** Kinerja Rotor Konvensional Angin (Sarkar & Bhattacharyya, 2012)

NO	Tip Speed Ratio	$C_t$	$\omega$	RPM	$T_{sw}$	$C_p$
1	0	0.17	0	0	0.26	0
2	0.2	0.28	0.18	1.73	0.43	0.056
3	0.24	0.26	0.22	2.08	0.4	0.0624
4	0.6	0.25	0.54	5.20	0.38	0.15
5	0.65	0.23	0.59	5.63	0.35	0.1495
6	0.72	0.2	0.65	6.24	0.3	0.144
7	0.75	0.19	0.68	6.50	0.29	0.1425
8	0.85	0.16	0.77	7.36	0.24	0.136
9	0.88	0.14	0.8	7.62	0.21	0.1232
10	0.95	0.12	0.86	8.23	0.18	0.114
11	1.02	0.1	0.92	8.84	0.15	0.102
12	1.1	0.08	1.00	9.53	0.12	0.088
13	1.17	0.05	1.06	10.14	0.08	0.0585
14	1.22	0.04	1.11	10.57	0.06	0.0488
15	1.38	0	1.25	11.95	0	0

**Tabel 4.11** Kinerja Rotor Konvensional Air (Suprayogi, 2010)

No	Tip Speed Ratio	RPM	$T_{sim}$	$C_t$	$C_p$
1	0	0	0.387	0.25	0
2	0.2	1.73	0.56	0.37	0.07
3	0.24	2.08	0.53	0.35	0.08
4	0.6	5.20	0.51	0.34	0.2
5	0.65	5.63	0.48	0.32	0.21
6	0.72	6.24	0.43	0.29	0.21
7	0.75	6.50	0.42	0.28	0.21
8	0.85	7.36	0.37	0.25	0.21
9	0.88	7.62	0.34	0.23	0.2
10	0.95	8.23	0.31	0.21	0.2
11	1.02	8.84	0.28	0.19	0.19
12	1.10	9.53	0.25	0.17	0.18
13	1.17	10.14	0.21	0.14	0.16
14	1.22	10.57	0.19	0.13	0.15
15	1.38	11.95	0.13	0.09	0.12
16	1.44	12.47	0	0	0



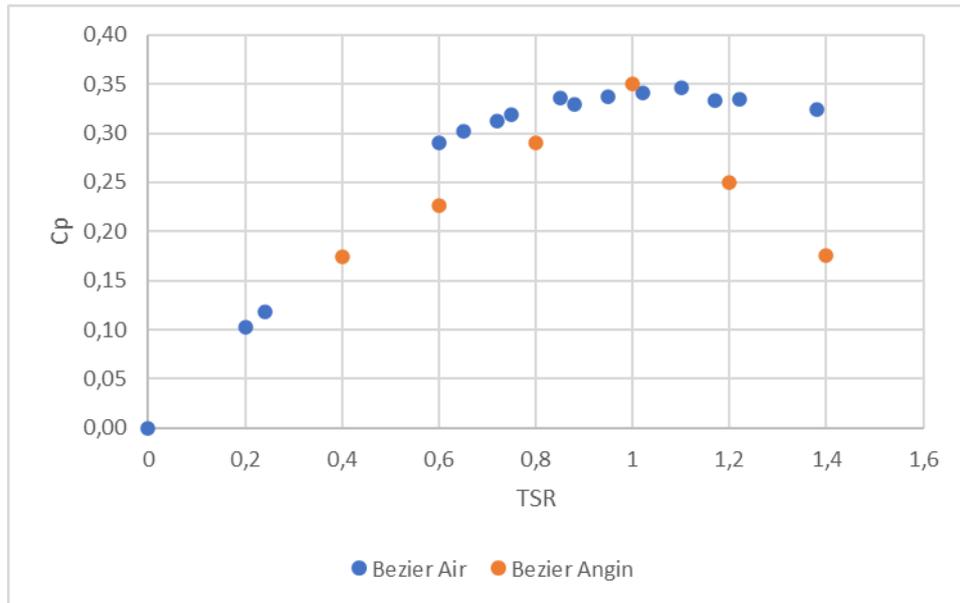
**Gambar 4.16** Komparasi Rotor Konvensional Air dan Angin

**Tabel 4.12** Kinerja Rotor Bezier Angin (Zemamou et al., 2020)

No	Tip Speed Ratio	Cp
1	0.4	0.174
2	0.6	0.226
3	0.8	0.29
4	1	0.35
5	1.2	0.25
6	1.4	0.176

**Tabel 4.13** Kinerja Rotor Bezier Air

No	Tip Speed Ratio	RPM	<i>Tsim</i>	Ct	Cp
1	0	0.00	12.960	0.40	0.00
2	0.2	7.85	16.49	0.51	0.10
3	0.24	9.42	15.84	0.49	0.12
4	0.6	23.54	15.52	0.48	0.29
5	0.65	25.50	14.88	0.46	0.30
6	0.72	28.25	13.92	0.43	0.31
7	0.75	29.43	13.60	0.42	0.32
8	0.85	33.35	12.64	0.39	0.34
9	0.88	34.53	12.00	0.37	0.33
10	0.95	37.27	11.36	0.35	0.34
11	1.02	40.02	10.72	0.33	0.34
12	1.1	43.16	10.08	0.31	0.35
13	1.17	45.91	9.11	0.28	0.33
14	1.22	47.87	8.79	0.27	0.33
15	1.38	54.15	7.51	0.23	0.32



**Gambar 4.17** Kinerja Rotor Konvensional Angin

Kita dapat lihat bahwa pada kedua jenis rotor ini memiliki beberapa karakteristik sama walaupun dengan media yang berbeda, yaitu pada angin dan air. Contoh pada konvensional dengan media angin dan air, rata-rata nilai yang tertinggi dari  $C_p$  adalah 0.2 dan dibawahnya, sedangkan nilai  $C_p$  yang dimiliki oleh rotor bezier yaitu rata-rata nilai maksimalnya adalah 0.35 pun dengan nilai TSR yang rata-rata sama, yaitu pada nilai 1.

Dari hal ini dapat dikatakan bahwa rotor bezier ini layak untuk tetap dilanjutkan untuk dilakukan penelitian, karena tren ini memungkinkan mendapatkan nilai yang lebih besar atau efisien. Hal ini juga mengartikan bahwa simulasi yang kami lakukan pada penelitian ini mengalami hasil yang sama atau dapat divalidasi menggunakan beberapa pada penelitian di atas.

## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Penelitian telah dilakukan, analisa dan pembahasan juga telah dilakukan, ada beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini, yang menjawab dari tujuan, seperti berikut:

1. Dari penelitian torsi yang dihasilkan Konvensional mendapatkan nilai yang lebih baik yaitu mendapatkan 13.29 Nm sedangkan Bezier 12.96 Nm pada sudut  $135^\circ$  dengan arah searah jarum jam. Hal ini mengartikan dalam penelitian distribusi gaya yang dilakukan oleh Konvensional lebih baik.
2. Dilihat dari hasil gaya yang didapatkan setiap bilahnya berbagai macam dan beragam nilai yang didapatkan, hal ini dipengaruhi dari sudut bilah tersebut, bilah rotor yang luas penampang paling besarnya berhadapan dengan aliran masuk akan mendapatkan nilai gaya yang besar, dan sudut terbaik tersebut adalah  $45^\circ$  dan  $135^\circ$  yaitu jika kita lihat contohnya pada rasio 0.15 pada sudut  $135^\circ$  Bezier dan Konvensional mendapatkan nilai gaya terbesar pada bilah 1, dimana terdapat aliran buangan dari bilah 2 yang menangkap semua aliran, sehingga memberikan tekanan yang lebih besar, begitu juga dengan torsi terbesar yaitu 7.84 Nm dan 8.03 Nm berturut-turut searah jarum jam.

#### **5.2 Saran**

Sebuah penelitian tidak ada yang sempurna, ada beberapa saran yang didapatkan peneliti dimana difungsikan untuk menyempurnakan atau mendapatkan hasil yang lebih baik, beberapa saran dari peneliti yang dapat digunakan sebagai dasar untuk melakukan penelitian lebih lanjut adalah seperti berikut:

1. Dalam melakukan perbandingan Bezier lebih baik gunakan berbagai macam bentuk dari Bezier tersebut, untuk mencari lebih banyak bentuk

yang dapat melakukan pendistribusian gaya yang lebih baik, seperti pada hasil kinerja rotor, sehingga mendapatkan torsi yang lebih baik, dengan banyaknya simulasi mendapatkan saran kedua.

2. Komputer atau komponen yang mumpuni sangat disarankan dari penelitian ini, walaupun kompleksitas dari bentuk rotor tidak terlalu sulit, namun dalam mendapatkan hasil yang lebih baik, cepat dan akurat juga bisa menggunakan metode *transient* dan dengan kualitas *meshing* yang lebih besar, sehingga dapat memperhitungkan semua kemungkinan yang ada.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akmal, S. Z. N. I. (2019). Analisa Profil Aliran Fluida Cair dan Pressure Drop pada Pipa L Menggunakan Metode Simulasi Computational Fluid Dynamic (CFD). *Teknologi Kimia Unimal*, 97–108.
- Amri, K. (2008). *Analisis Hubungan Kondisi Oseanografi Dengan Fluktuasi Hasil Tangkapan Ikan Pelagis Di Selat Sunda*, 55-58.
- Akwa, J. V., Alves Da Silva Júnior, G., & Petry, A. P. (2012). Discussion on the verification of the overlap ratio influence on performance coefficients of a Savonius wind rotor using computational fluid dynamics. *Renewable Energy*, 38(1), 141–149. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2011.07.013>
- Ansys. (2009). *Force Reports Dialog Box*. Ansys.  
<https://www.afs.enea.it/project/neptunius/docs/fluent/html/ug/node1233.htm>
- Aqilah, F., Islam, M., Juretic, F., Guerrero, J., Wood, D., & Nasir Ani, F. (2018). Study of Mesh Quality Improvement for. *IIUM Engineering Journal*, 19(2), 203–212.
- Kerikous, E., & Thévenin, D. (2019). Optimal shape of thick blades for a hydraulic Savonius turbine. *Renewable Energy*, 134, 629–638.  
<https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.11.037>
- Khan, M. N. I., Tariq Iqbal, M., Hinchey, M., & Masek, V. (2009). Performance of savonius rotor as a water current turbine. *Journal of Ocean Technology*, 4(2), 71–83.
- Made, I., Mahardiananta, A., Hartati, R. S., Dharma, A., & Elektro, J. T. (2017). I Made Agus Mahardiananta, Rukmi Sari Hartati, Agus Dharma 15. In *E-Journal SPEKTRUM* (Vol. 4, Issue 1).
- Sarkar, J., & Bhattacharyya, S. (2012). Application of graphene and graphene-based materials in clean energy-related devices Minghui. *Archives of Thermodynamics*, 33(4), 23–40. <https://doi.org/10.1002/er>
- Setiyono, H., Atmodjo, W., Subardjo, P., & Ismanto, A. (2019). *Potensi Energi Arus Laut di Perairan Selat Sunda*. 01, 4–11.
- Suprayogi, D. T. (2010). *Savonius Rotor Vertical Axis Marine Current Turbine*

- For Renewable Energy Application* (p. 49). University Teknologi Malaysia.
- Surono, B., Mesin, J. T., Teknik, F., Tarakan, U. B., Amal, J., No, L., Utara, K., Studi, J., Mesin, T., Teknik, F., Metro, U. M., Ki, J., Dewantara, H., & Metro, A. K. (2023). *MENGGUNAKAN CFD dengan dua sudu . Peningkatan kinerja rotor turbin savonius telah diteliti dengan metode pada Gambar 1 . Kajian pustaka yang didapatkan rencana penelitian dengan untuk sudu digambar dengan menggunakan*. *12(02)*, 385–390.
- Tahir, Z., Jamil, M., Liaqat, S. A., Mubarak, L., Tahir, W., & Gilani, S. O. (2016). State Space System Modeling of a Quad Copter UAV. *Indian Journal of Science and Technology*, *9(27)*.  
<https://doi.org/10.17485/ijst/2016/v9i27/96613>
- Wiranata, I. G. A., Boedoyo, M. S., & Kuntjoro, Y. D. (2018). Potensi Pemanfaatan Rumput Laut Sebagai Sumber Energi Baru Terbarukan Untuk Mendukung Ketahanan Energi Daerah (Studi Di Provinsi Bali). *Jurnal Ketahanan Energi*, *4(2)*, 21–45.
- Yaakob, O. Bin, Tawi, K. B., & Sunanto, D. T. S. (2010). Computer simulation studies on the effect overlap ratio for savonius type vertical axis marine current turbine. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, *23(1)*, 79–88.
- Yaakob, O. B., Suprayogi, D. T., Abdul Ghani, M. P., & Tawi, K. B. (2013). Experimental studies on savonius-type vertical axis turbine for low marine current velocity. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, *26(1)*, 91–98. <https://doi.org/10.5829/idosi.ije.2013.26.01a.12>
- Zemamou, M., Toumi, A., Mrigua, K., Lahlou, Y., & Aggour, M. (2020). A novel blade design for Savonius wind turbine based on polynomial bezier curves for aerodynamic performance enhancement. *International Journal of Green Energy*, *17(11)*, 652–665. <https://doi.org/10.1080/15435075.2020.1779077>
- Dewi, D. K. P. H. (2018). Rekayasa Balik Sudu Turbin dengan Perangkat Lunak Catia Menggunakan Kurva Bezier. *MIPI*, 1–8.
- Latif, M. (2013). Eisiensi Prototipe Turbin Savonius pada Kecepatan Angin Rendah. In *Jurnal Rekayasa Elektrika* (Vol. 10, Issue 3).

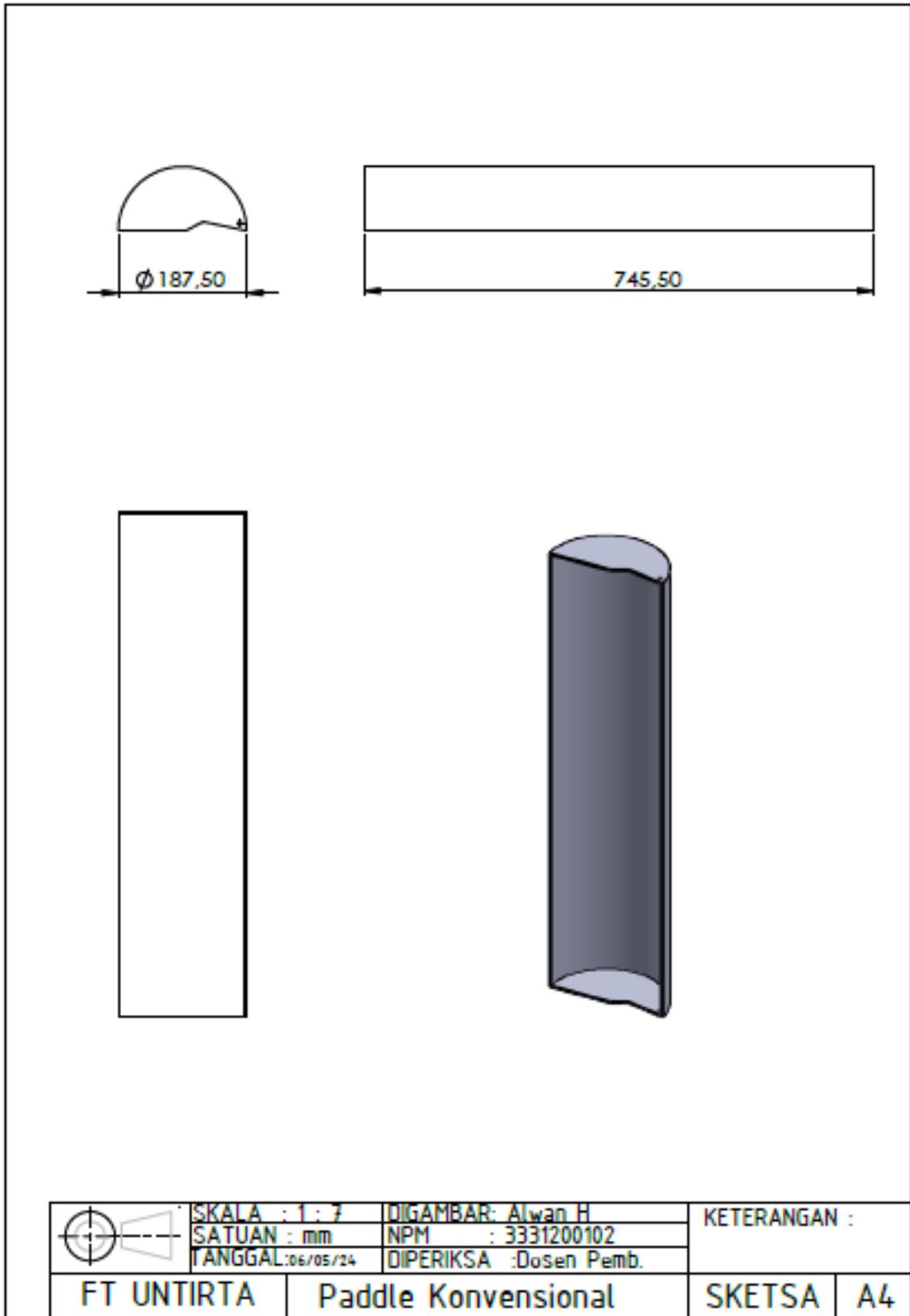
- Menet, J. L. (2004). A double-step Savonius rotor for local production of electricity: A design study. *Renewable Energy*, 29(11), 1843–1862. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.02.011>
- Menko Perekonomian. (2023, July 13). *Miliki Perhatian Serius pada Energi Baru Terbarukan, Pemerintah Berkomitmen Menjaga Ketersediaan Energi Nasional Berkelanjutan*. Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian Republik Indonesia. <https://www.ekon.go.id/publikasi/detail/5250/miliki-perhatian-serius-pada-energi-baru-terbarukan-pemerintah-berkomitmen-menjaga-ketersediaan-energi-nasional-berkelanjutan>
- Orhan, K., Mayerle, R., & Mayer, B. (2019). About The Influence Of Density-Induced Flow On Tidal Stream Power Generation In The Sunda Strait, Indonesia. *Proceedings of the IAHR World Congress*, 5960–5969. <https://doi.org/10.3850/38WC092019-1725>
- Potensi, A., Pasang, E., Laut, S. A., Selat, D., Serangan, P., Made, I., Mahardiananta, A., Hartati, R. S., Dharma, A., & Elektro, J. T. (2017). I Made Agus Mahardiananta, Rukmi Sari Hartati, Agus Dharma 15. In *E-Journal SPEKTRUM* (Vol. 4, Issue 1).
- Pranatal, E., & Beu, M. M. Z. (2018). Analisa CFD Penggunaan Duct pada Turbin Kombinasi Darrieus-Savonius. *Jurnal IPTEK*, 22(1), 63. <https://doi.org/10.31284/j.iptek.2018.v22i1.239>
- Pranowo, W. S. (2022). *Karakteristik Arus Musiman Di Selat Sunda Characteristics Of Seasonal Currents In The Sunda Strait*. <https://doi.org/https://doi.org/10.37875/chartdatum.v8i2.146>
- Raditya Yudistira, Dwi Anung Nindito, & Raden Haryo Saputra. (2021). KINERJA TURBIN HIDROKINETIK TORNADO SAVONIUS. *Jurnal Teknika: Jurnal Teoritis Dan Terapan Bidang Keteknikan*, 4(2), 181–186. <https://doi.org/10.52868/jt.v4i2.2732>
- Riškus, A. (2006). Approximation of a cubic *Bezier Curve* by circular arcs and vice versa. In *Information Technology And Control* (Vol. 35, Issue 4). <https://www.researchgate.net/publication/265893293>
- Serodja, C. M., Ismanto, A., Hakim, A. R., & Ramdhani, D. A. (2022). Pengaruh Angin Monsoon Timur Terhadap Arus Permukaan Berdasarkan Data HF

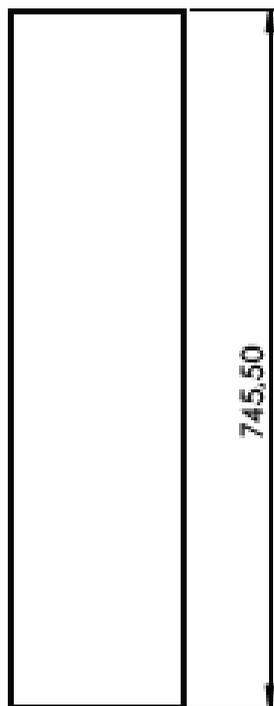
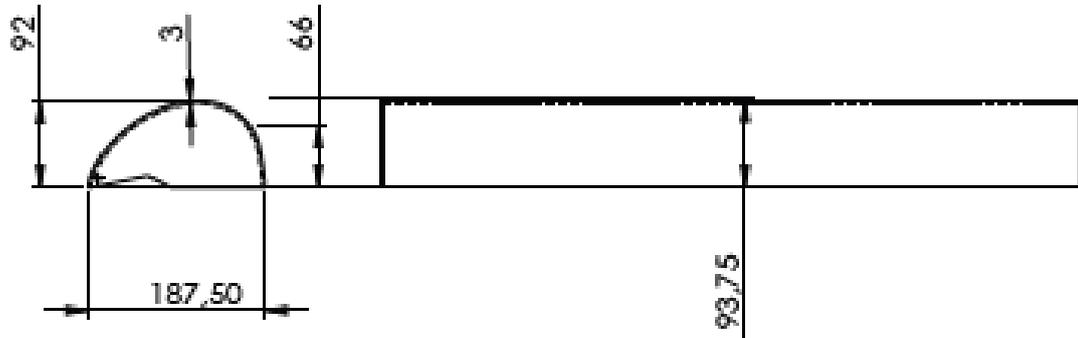
Radar di Perairan Selat Sunda. In *Bandung Ocean Technology Research and Management (BOTRAM) Jl. Kelewih No* (Vol. 04, Issue 2).  
<https://ejournal2.undip.ac.id/index.php/ijoce>

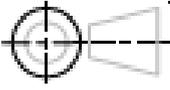
Yaakob, O. B., Suprayogi, D. T., Abdul Ghani, M. P., & Tawi, K. B. (2013). Experimental studies on savonius-type vertical axis turbine for low marine current velocity. *International Journal of Engineering, Transactions A: Basics*, 26(1), 91–98. <https://doi.org/10.5829/idosi.ije.2013.26.01a.12>

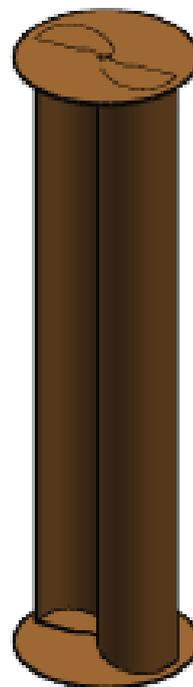
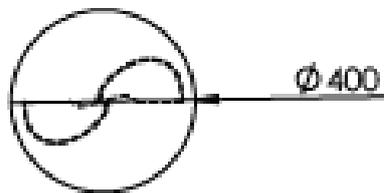
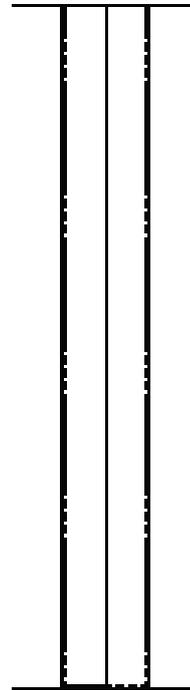
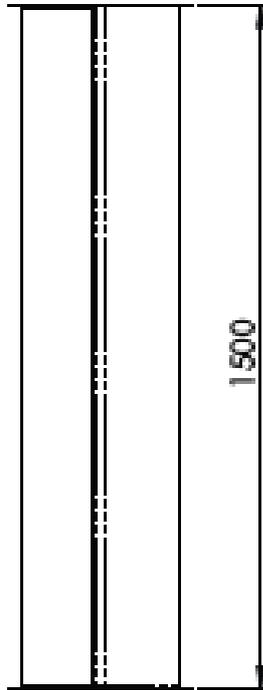
Zemamou, M., Toumi, A., Mrigua, K., Lahlou, Y., & Aggour, M. (2020). A novel blade design for Savonius wind turbine based on polynomial *Bezier Curves* for aerodynamic performance enhancement. *International Journal of Green Energy*, 17(11), 652–665. <https://doi.org/10.1080/15435075.2020.1779077>

Lampiran

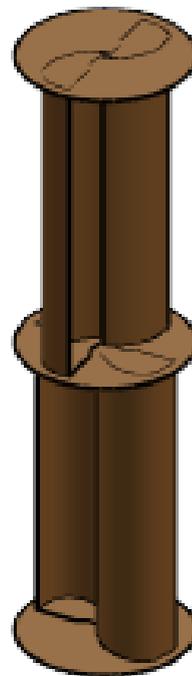
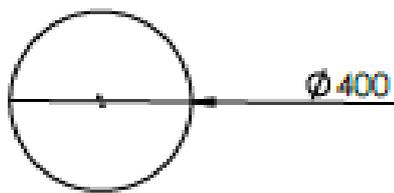
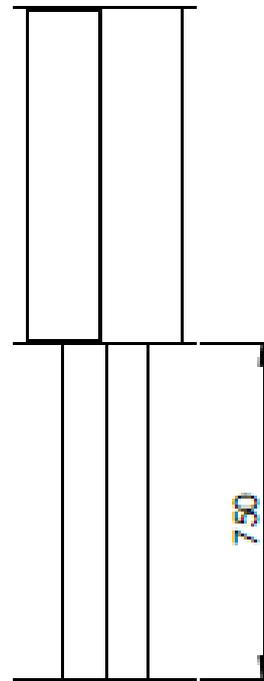
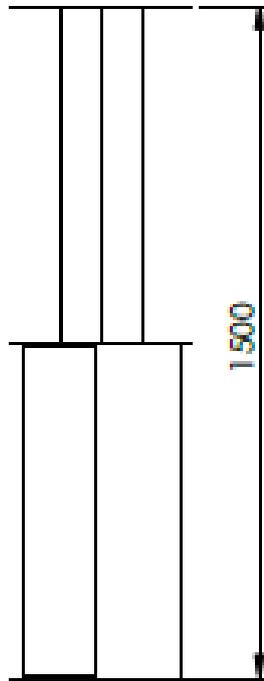




	SKALA : 1 : 7	DIGAMBAR: Alwan H	KETERANGAN :	
	SATUAN : mm	NPM : 3331200102		
	TANGGAL: 06/05/24	DIPERIKSA : Dosen Pemb.		
FT UNTIRTA	Paddle Bezier		SKETSA	A4



	SKALA : 1 : 15	DIGAMBAR: Alwan H	KETERANGAN :	
	SATUAN : mm	NPM : 3331200102		
	TANGGAL: 06/05/24	DIPERIKSA : Dosen Pemb.		
FT UNTIRTA	Satu Tingkat	SKETSA	A4	



SKALA : 1 : 15  
 SATUAN : mm  
 TANGGAL: 06/05/24

DIGAMBAR: Alwan H  
 NPM : 3331200102  
 DIPERIKSA : Dosen Pemb.

KETERANGAN :

FT UNTIRTA

Dua Tingkat

SKETSA

A4