

**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

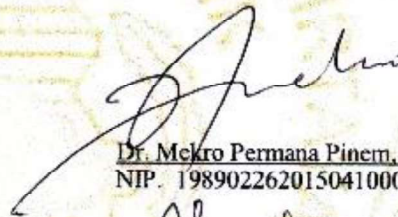
Anggota Dewan Penguji



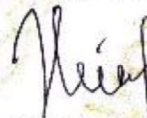
Yusvardi Yusuf, S.T., M.T.
NIP.197910302003121001



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



Dr. Mekro 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

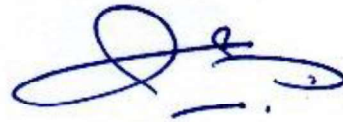
Dosen Pembimbing 1,



Hadi Wahyudi, MT., Ph.D

NIP. 197101162002121001

Dosen Pembimbing 2,



Ir. Dedy Triawan Suprayogi, 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 mengharapkn kritik dan saran yang dapat membangun hal-hal yang berkaitan dengan laporani. Dengan kerendahan hati, penulis mengucapkan terima kasih atas bantuan dan bimbinganya 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 ° 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 memperbaharuinya 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

COVER	i
HALAMAN PENGESAHAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRACT	vii
ABSTRAK	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
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
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
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
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
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
BAB IV DATA HASIL DAN PEMBAHASAN		
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
BAB V KESIMPULAN DAN PENUTUP		
5.1	Kesimpulan.....	56
5.2	Saran.....	56
DAFTAR PUSTAKA		

DAFTAR GAMBAR

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

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

DAFTAR TABEL

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

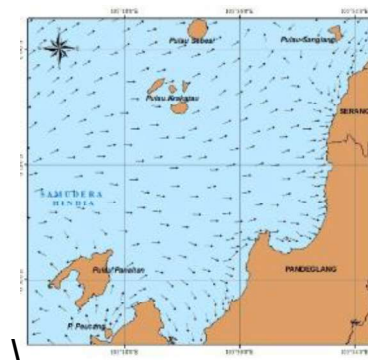
BAB I

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).

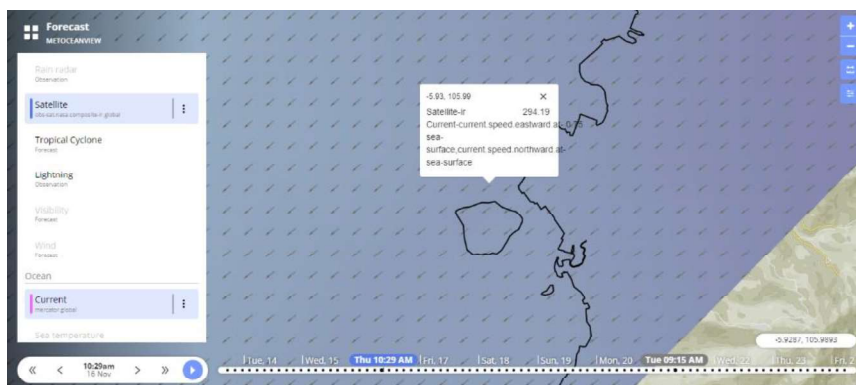
Di Indonesia, terdapat banyak selat yang memiliki potensi kecepatan arus yaitu sekitar 2.0 m/s atau bahkan lebih. Kecepatan ini sudah mencukupi untuk dimanfaatkan menjadi energi listrik (Setiyono et al., 2019), diantara selat yang memiliki potensi yang memadai terkait arus laut tersebut yaitu adalah 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 memperbaharunya 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.

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>