

Kajian Numerik Pengaruh Sudut Serang dan *Solidity* Terhadap Kinerja Turbin *Darrieus* untuk Konversi Energi Gelombang dengan Menggunakan Profil *Hydrofoil* Asimetris NACA 2410

Muhammad Sulthan Zhafran^{1*}, Burniadi Moballa^{2*}, Niki Veranda Agil Permadi^{3*}

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1*}

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²

Program Studi D-IV Teknik Permesinan Kapal, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia³

Email: sulthanzhafran22@student.ppns.ac.id^{1*}; bmoballa@ppns.ac.id^{2*}; niki.veranda@ppns.ac.id^{3*}

Abstract - Indonesian regions in some areas have the potential for renewable marine energy so that it can be utilized into clean and environmentally friendly hydrokinetic energy. The energy is divided into 4 namely sea water, sea water temperature, sea water waves, and sea water currents or tides. This research utilizes wave and current energy which is a form of renewable energy and has great potential with very large reserves, so that it can be utilized for electrical energy. *Darrieus* hydrokinetic turbine as an ocean wave energy converter device. Simulations were conducted to analyze the effect of blade profile on the value of Coefficient of Torque (CT) and Coefficient of Power (CP). In this study, wave data from one of the Southern Java Waters was used which resulted in the highest Coefficient of Torque (CT) value on the blade profile with a variation of TSR = 0.5; $\omega = 1$ and solidity 0.3 angle of attack 10° resulting in a CT value = 0.134 and the highest Coefficient of Power (CP) value on the blade profile with a variation of TSR = 2; $\omega = 4$ and solidity 0.3 angle of attack 10° resulting in a CP value = 0.257.

Keyword: Renewable Energy, Angle of Attack, Solidity, Coefficient of Torque, Coefficient of Power, Computational Fluid Dynamics

Nomenclature

λ	: Tip speed ratio
n	: Putaran turbin (RPM)
v	: Kecepatan gelombang (m/s)
Ct	: Coefficient of torque
ρ	: Massa jenis air (kg/m ³)
D	: Diameter turbin (m)
H	: Tinggi turbin (m)
Nb	: Jumlah <i>blade</i> turbin
Cd	: Coefficient drag
ω	: Kecepatan sudut turbin (rad/s)
σ	: Solidity turbin
A	: Luas penampang turbin tegak/lurus

melintang lingkaran yang ditembus oleh ujung-ujung bilah tersebut sehingga dapat memengaruhi performa aerodinamis turbin dan dapat mempengaruhi efisiensi dan karakteristik putaran. Sedangkan sudut serang mengacu pada sudut antara arah aliran angin relatif terhadap bilah turbin

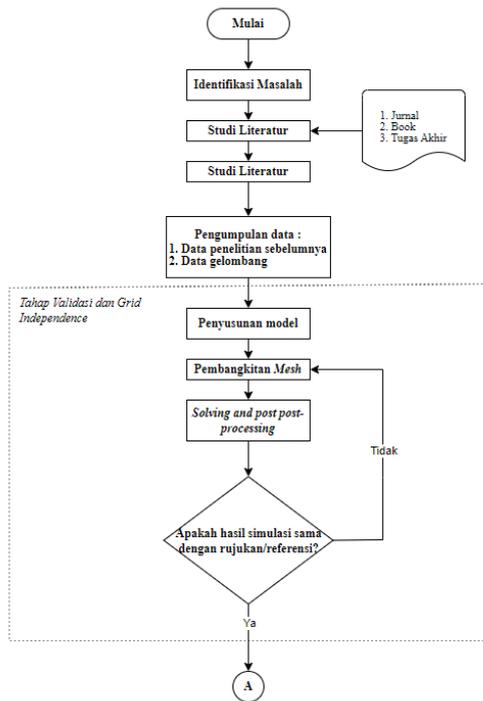
Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan turbin *Darrieus* yang dapat memanfaatkan energi gelombang laut menggunakan metode CFD (*Computational Fluid Dynamics*). CFD merupakan bidang studi dalam mekanika fluida yang memanfaatkan analisis numerik dan data terstruktur untuk menganalisis serta menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan fluida..

1. PENDAHULUAN

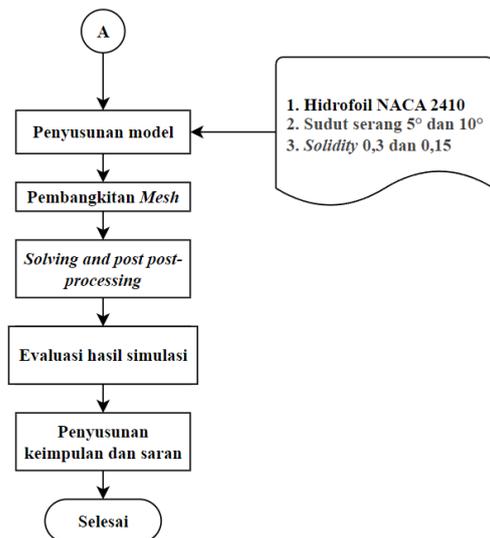
Pemanfaatan Teknologi konversi tenaga gelombang pada saat ini mungkin kurang menguntungkan secara ekonomis sama nilainya dengan sumber energi umum seperti contoh energi fosil dan energi air yang lebih umum dipakai di kawasan padat penduduk. Salah satu contoh alat konversi energi tersebut adalah turbin *darrieus*, merupakan perangkat yang mengonversi energi kinetik menjadi listrik atau mekanik. Salah satu faktor yang dapat memengaruhi performa turbin yaitu *solidity* dan sudut serang. *Solidity* mengarah pada rasio antara luas penampang melintang total dari semua bilah turbin dengan luas penampang

2. METODOLOGI

Pada penelitian ini di dapat dirangkai menjadi diagram alir agar dapat dimengerti dengan mudah dan dapat mengikuti prosesnya. Pada Gambar 1 menunjukkan alur proses penelitian.



Gambar 1. Skema Aliran Penelitian

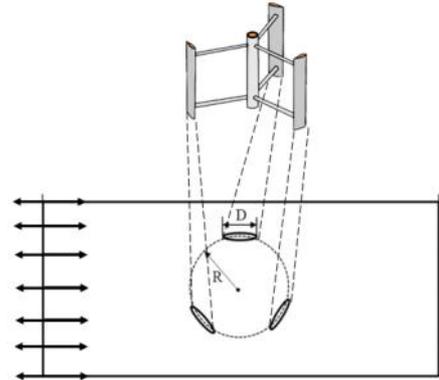


Gambar 2. Skema Aliran Penelitian (lanjutan)

2.1. Teori Simulasi Berbasis Numerik

Dalam studi ini, pemodelan kuantitatif dibuat dengan memakai dinamika fluida komputasional (CFD) diturbin hidrokinetik

Darrieus yang menggambarkan Gerakan gelombang air yang bersifat osilasi



Gambar 3. Konsep representasi turbin Darrieus dua dimensi

Pada gambar 3 merupakan tampilan representasi 3D turbin Darrieus tipe-H yang digambarkan ke dalam domain pemodelan dan kondisi batas dalam tampilan 2D dari atas. Simulasi turbin ini menggunakan profil NACA 2410 dengan variasi sudut serang 5° dan 10°.

2.2. Pengumpulan Data Gelombang

Pada penelitian ini akan memakai salah satu dari data gelombang lokasi pada penelitian (Andhika, 2021). Parameter pemilihan pantai tersebut didasarkan pada tinggi gelombang rata-rata terendah. Berikut ini data gelombang pada lokasi perairan pantai Selatan Jawa Timur.

Tabel 1: Data Gelombang Perairan Pantai Selatan Jawa timur (Andhika, 2021)

Lokasi	Max H _i (m)	Min H _i (m)	Re rata H _i (m)	Max T _e (s)	Max T _r (s)	Re rata T _r (m)
Tanjung Bili Malang	1.69	0.56	0.96	15.89	4.66	10.49

2.3. Persamaan Coefficient Torque

Persamaan dalam mencari nilai dari Ct pada turbin hidrokinetik Darrieus dapat dilihat pada persamaan berikut.

$$C_T = \frac{M}{\frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^2 \times D} \quad /1(1)$$

2.4. Computational Fluid Dynamic

Metode dinamika fluida komputasional (CFD) adalah metode perhitungan yang menghitung setiap elemen yang tersegmentasi dengan menggunakan pengaturan dimensi, luas, dan volume menggunakan dukungan komputer. Prinsip utamanya adalah membagi ruang yang mengandung fluida yang akan dianalisis menjadi beberapa bagian, yang sering disebut sebagai sel, dalam proses yang disebut meshing. Bagian-bagian ini berfungsi sebagai kontrol perhitungan, dan pembagian ruang atau meshing adalah kontrol perhitungan ini. Pada setiap titik kontrol perhitungan, analisis dilakukan menggunakan batasan domain dan kondisi batas. Perangkat lunak

SALOME untuk tahap preprocessing, perangkat lunak OpenFOAM untuk tahap processing, dan perangkat lunak ParaView untuk tahap postprocessing digunakan untuk simulasi ini.

3. HASIL DAN ANALISIS

3.1 Perhitungan Data Gelombang pada Perairan Dangkal

Dilakukan penghitungan pada data gelombang *shallow water* dapat dilihat sebagai berikut.

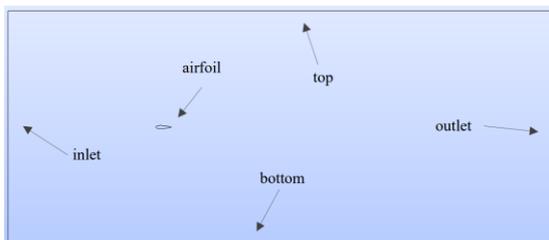
3.2 Validasi dan *grid Independence*

Sebagai dasar referensi untuk simulasi fluida komputasi (CFD) dalam penelitian ini, validasi dan kemandirian grid adalah tujuan dari penelitian ini untuk mendapatkan hasil analisis simulasi yang valid dan mesh terbaik. Tabel 2 menunjukkan data validasi X-Foil. Tipe airfoil yang digunakan dalam tahap percobaan validasi, yaitu airfoil asimetris tipe NACA 2410, dapat dipilih dari model variasi airfoil yang digunakan dalam penelitian ini. Perbandingan hasil simulasi nilai Koefisien Hambat (Coefficient of Drag) dengan data yang sudah dikumpulkan pada X-Foil dilakukan.

Tabel 2: data X-foil

XFOIL Version 6.99						
Calculated polar for: NACA 2410						
1 1 Reynolds number fixed Mach number fixed						
xtrf = 1.000 (top) 1.000 (bottom)						
Mach = 0.000 Re = 0.002 e 6 Ncrit = 9.000						
alpha	CL	CD	CDp	CM	Top_Xtr	Bot_Xtr
0,000	0.0202	0.08048	0.024	-0.022	1	1

Dari hasil yang diperoleh di atas nilai yang dapat dipakai untuk validasi data merupakan nilai Cd pada alpha 0 derajat.



Gambar 4. Domain gruping pemodelan pada SALOME

Pada gambar geometri ini, dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak SALOME dengan mengacu pada dimensi titik koordinat yang diperoleh dari perangkat lunak X-Foil dan situs web airfoiltools.com. Ruang Dalam simulasi ini, ukuran model adalah 35 m panjang dan 15 m lebar, dengan bilah airfoil terpasang di bagian tengah pada jarak 10 m.. Domain diukur dari masuk ke titik berat

bentuk blade airfoil, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4 di atas.

Tabel 3: Data pengujian yang dihasilkan menggunakan X-Foil

ΔX (Ukuran maksimal cell)	C _D	Time C _D	Error
X-foil	0.08048	-	-
0,1	0.08248	15 - 100	2.48%
0,075	0.08190	15 - 100	1.77%
0,05	0.08142	15 - 100	1.17%
0,04	0.08101	15 - 100	0,66%
0,03	0.08103	15 - 100	0,68%

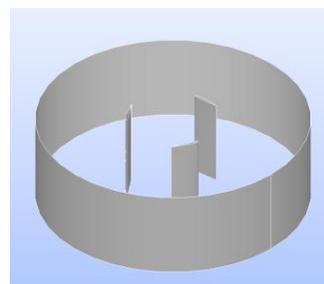
Kriteria mesh yang baik ditandai dengan nilai presentase error validasi di bawah 5%. Berdasarkan data pada Tabel 3, diketahui bahwa simulasi dengan ukuran maksimal sel 0,04 memiliki nilai koefisien hambatan variasi mesh yang memiliki data validasi dan nilai kesalahan yang paling rendah, tetapi dalam penelitian ini, ukuran maksimal sel 0,075 akan dipilih karena memiliki nilai error mesh tersebut masih di bawah 5%. Pemilihan ini dilakukan untuk menghemat waktu saat proses simulasi.

3.3 Desain Geometri Turbin dan Domain

Untuk ukuran turbin yang dapat digunakan dalam simulasi di perairan dengan menggunakan gelombang dangkal (air dangkal), spesifikasinya adalah sebagai berikut: diameter rotor turbin 1 meter, tinggi (h) 1 meter, 3 blade turbin, 5 sudut serang dengan soliditas 0,3, dan 10 sudut serang dengan soliditas 0,3. Dengan menggunakan data ini, panjang chord blade turbin dapat dihitung dengan menggunakan teknik berikut..

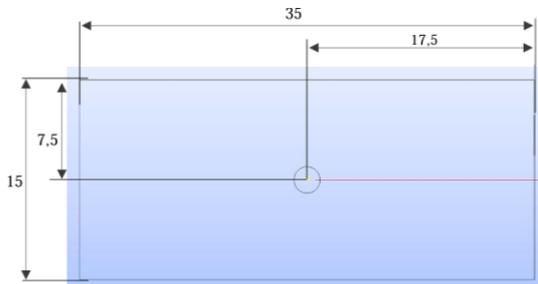
$$\begin{aligned}
 Lc &= \frac{\pi \times d \times 0.3}{Nb} \\
 &= \frac{\pi \times 1 \times 0.3}{3} \\
 &= 0.31 \text{ m}
 \end{aligned}$$

Bagian dalam merupakan silinder dan rotor turbin yang telah dilakukan proses *grouping* yang sesuai dengan nomor *blade*, untuk silinder dinamai dengan `inner_AMI_Rotor`.



Gambar 5. Spesifikasi ukuran bagian dalam turbin NACA 2410

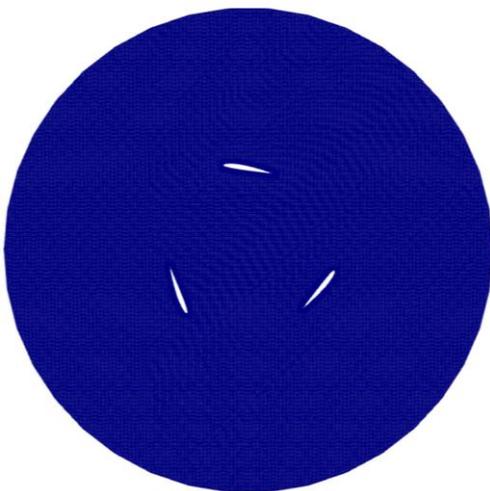
Gambar 6 menunjukkan silinder dan kondisi batas di bagian luar. Domain disebut "inlet" di sisi kiri, yang merupakan arah masuknya fluida, dan "outlet" di sisi kanan, yang merupakan arah keluarnya fluida. Bagian atas domain disebut "top", dan bagian bawah disebut "bottom". Domain berbentuk silinder dan disebut "cylinderAMIDomain".



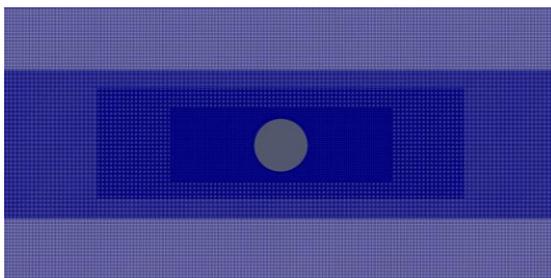
Gambar 6. Ukuran bagian luar turbin

3.4 Pembangunan Mesh

Pembuatan mesh yang di aplikasikan dalam penelitian ini mencakup parameter dimensi di mana ukuran mesh pada rotor turbin bagian dalam adalah $\Delta s = 0,075$, dan mesh pada domain turbin juga memiliki ukuran $\Delta s = 0,075$. Berikut adalah contoh hasil mesh yang digunakan pada parameter tersebut.



Gambar 7. Hasil pembagian mesh pada rotor turbin (inner) NACA 2410



Gambar 8. Hasil pembagian mesh pada domain turbin (outer)

Pembuatan mesh dapat dilakukan dengan menggunakan mergesMeshes, yang melibatkan

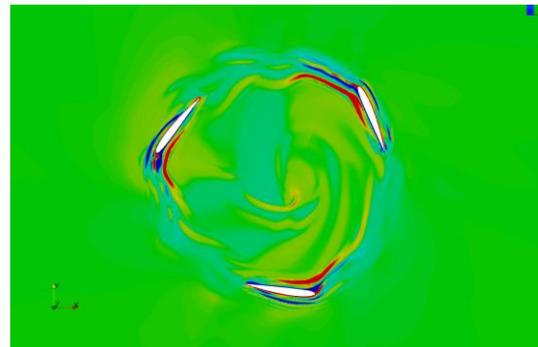
penggabungan mesh untuk kondisi batas dengan pembagian mesh di rotor turbin (inner). Batasan antara inner dan outer berupa silinder yang dikenal sebagai permukaan AMI (Arbitrary Mesh Interface). Permukaan AMI berfungsi untuk simulasi di seluruh area mesh yang tidak terhubung dan berdekatan, serta sangat berguna untuk mengelola geometri yang berputar. Kasus ini memerlukan mesh yang terpisah untuk bagian yang berputar dan statis pada geometri, yang disatukan melalui batas patch dengan kondisi batas cyclicAMI. Berikut adalah contoh gambar hasil mergesMeshes pada turbin dengan nilai solidity 0,3 dan sudut serang 10°. Gambar 9 Hasil mergeMeshes mesh pada turbin

3.5 Hasil Simulasi Prescribed Rotation

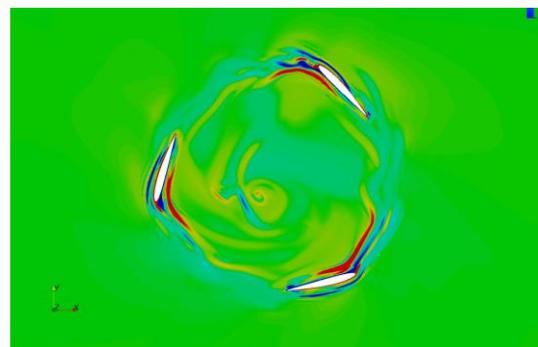
Dalam simulasi ini, sebuah turbin diberikan gaya putaran dengan nilai rasio kecepatan *blade* (TSR) dan kalkulasi kecepatan sudut (ω) untuk setiap variasi yang disimulasikan, berdasarkan tabel yang disajikan di bawah.

Tabel 4 Nilai TSR dan omega yang di simulasikan

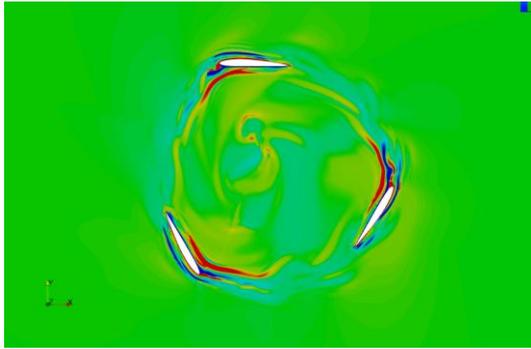
TSR	U_tip	$\omega=U/R$ (rad/s)
2	2	4



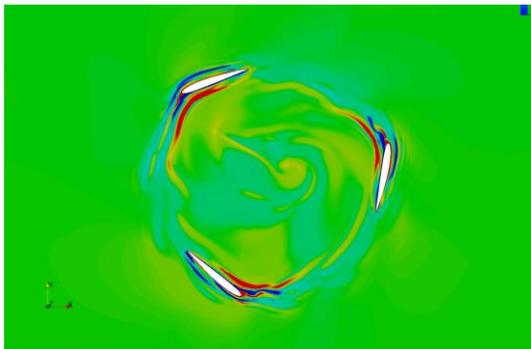
Gambar 10. t = 39 (T)



Gambar 11. t = 41 (T/4)

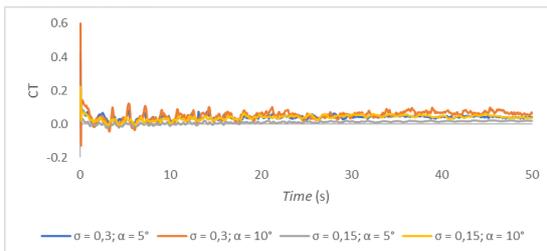


Gambar 12. $t = 42,9 (T/2)$



Gambar 13. $t = 44,9 (3/4 T)$

Pada hasil simulasi dapat dilihat pada gambar di atas bahwa variasi tip speed ratio 2 tidak memiliki vorticity pada ujung-ujung blade. Dengan tidak adanya vorticity maka performa turbin akan semakin baik.



Gambar 14. Grafik Coefficient Torque

Dari grafik C_t yang terdapat pada gambar di atas yang dihasilkan dari simulasi, selanjutnya dilakukan perhitungan rata-rata dari nilai C_t tersebut dengan menggunakan metode root mean square (RMS). Tabel berikut menunjukkan hasil perhitungan RMS

Tabel 5: Hasil perhitungan Root Mean Square C_t

Tip Speed Ratio	C_t	
	Solidity 0,3 sudut serang 5°	Solidity 0,3 sudut serang 10°
2	0.043	0.064

Dapat dilihat bahwa variasi pengaruh sudut serang dapat mempengaruhi nilai C_t . Dari tabel tersebut didapatkan nilai tertinggi dari C_t pada variasi sudut

serang 10° yang memiliki nilai $C_t = 0.064$. sehingga semakin besar nilai derajat sudut serang maka nilai C_t semakin besar.

4. KESIMPULAN

Pada hasil simulasi pada penelitian ini dapat disampaikan bahwa kenaikan derajat sudut serang dapat berdampak pada nilai C_t yang diperoleh. nilai C_t untuk sudut serang 5° adalah 0,043, sedangkan untuk sudut serang 10° adalah 0,064. Ini menunjukkan penurunan sekitar 48.84%.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyadari bahwa banyak pihak mendukung dan membantu jurnal ini. Penulis mengucapkan terima kasih yang mendalam kepada:

1. Allah SWT atas karunia, berkah, nikmat, dan izin-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan lancar hingga selesai.
2. Kedua orang tua yang telah menjadi *best support system*, *role model* dan selalu memberikan arahan serta kasih sayang kepada penulis hingga seterusnya.
3. Bapak Burniadi Moballa, S.T., M.Sc., Ph.D. sebagai Pembimbing Utama yang telah memberikan arahan
4. Bapak Niki Veranda Agil Permadi, S.Tr.T., M.Sc. sebagai Pembimbing Kedua yang telah memberikan petunjuk dan masukan selama proses penulisan.
5. Rekan-rekan Teknik Permesinan Kapal Angkatan 2020 atas kebersamaan, dukungan, dan masukan yang diberikan selama menempuh pendidikan di Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andhika, D. R. (2021). Studi Potensi Energi Gelombang Laut Di Pantai Selatan Jawa Timur.
- [2] Chern, M.-J., Goytom Tewolde, D., Kao, C.-C., & Vaziri, N. (2021). Vertical-Axis Wind Turbine Blade-Shape Optimization Using a Genetic Algorithm and Direct-Forcing Immersed Boundary Method. *Journal of Energy Engineering*.
- [3] Du, L., Ingram, G., & Dominy, R. G. (2019). Experimental study of the effects of turbine solidity, blade profile, pitch angle, surface roughness, and aspect ratio on the H-Darrieus wind turbine self-starting and overall performance. *Energy Science & Engineering*.

- [4] Ermakov, A., & Ringwood, J. V. (2021).
Rotors for wave energy conversion—
Practice and possibilities. IET
Renewable Power Generation