

Pemetaan Potensi Daya Listrik yang Dibangkitkan Gelombang Laut di Perairan Selatan Bali Tahun 2018-2023

Eirene Sharon Siahaan, Indra Budi Prasetyawan*, Aris Ismanto

*Departemen Oseanografi, Fakultas Perikanan dan Ilmu Kelautan, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Jacob Rais, Tembalang, Semarang, Jawa Tengah 50275 Indonesia
Email: *indrabudiprasetyawan@lecturer.undip.ac.id*

Abstrak

Gelombang laut, salah satu sumber energi terbarukan yang tidak menghasilkan emisi karbon sehingga dapat dimanfaatkan sebagai pengganti energi tidak terbarukan. Pengembangan energi alternatif juga berkontribusi pada pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan dengan menyediakan energi yang bersih serta terbarukan. Menurut pemetaan yang dilakukan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral melalui Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Kelautan (P3GL) pada tahun 2014, salah satu daerah yang memiliki potensi adalah Perairan Selatan Pulau Bali. Tujuan penelitian ini yakni guna mengetahui potensi gelombang laut berupa besaran potensi energi Listrik yang dapat dimanfaatkan di Perairan Selatan Bali, terutama Perairan Uluwatu. Penelitian ini memanfaatkan data angin yang diperoleh dari ECMWF ERA5 dan BMKG selama enam tahun. Pengolahan data angin dilakukan melalui analisis windrose untuk menentukan *fetch*, peramalan gelombang menggunakan metode peramalan SMB (Sverdrup-Munk-Bretschneider), serta visualisasi penyebaran gelombang dengan *software* MIKE Zero modul *Spectral Wave*. Berdasarkan penelitian yang sudah dijalankan, tinggi serta periode gelombang yang paling signifikan tercatat di musim timur, dengan tinggi mencapai 2,462 meter dan periode 7,665 detik di wilayah Perairan Uluwatu, Bali. Selain itu, persebaran daya listrik tertinggi juga terjadi pada musim timur, dengan daya maksimum senilai 2.541,962 Watt dan daya terendah terjadi di musim Peralihan II dengan nilai sebesar 38,75984 Watt. Potensi daya listrik yang dihasilkan dari gelombang laut pada periode musim ini relatif tinggi karena kecepatan angin pada musim Timur tinggi yang menghasilkan tinggi gelombang signifikan yang tinggi pula. Sebaliknya terjadi pada musim Peralihan II.

Kata kunci : MIKE Zero, *Spectral Wave*, Konversi Daya Listrik, Perairan Selatan Bali.

Abstract

Mapping of the Potention of Electrical Power Generated by Ocean Waves in the Southern Waters of Bali from 2018 to 2023

Ocean waves represent a renewable energy source that does not generate carbon emissions, making them a viable alternative to non-renewable energy sources. There has been significant interest in the exploration and research of ocean wave energy as a potential substitute for fossil fuels. The advancement of alternative energy also aids in achieving sustainable development goals by providing clean and renewable energy. According to a mapping conducted by the Ministry of Energy and Mineral Resources through the Marine Geological Research and Development Center (P3GL) in 2014, one of the most potential areas identified is the Southern Island of Bali Island. The objective of this study is to assess the potential of ocean waves in terms of the amount of electrical energy that can be harnessed in the Southern Island of Bali, particularly in Uluwatu Waters. This research utilizes wind data sourced from ERA5 and BMKG over a period of six years; the wind data is processed using windrose analysis for fetch formation, wave forecasting using the SMB (Sverdrup-Munk-Bretschneider) method, and wave propagation visualization with MIKE Zero Spectral Wave. Based on the conducted research, the highest significant wave height and period were recorded during the eastern season, with a height of 2.462 meters and a period of 7.665 seconds in the Uluwatu Coast of Bali. The highest distribution of electrical power is observed in the Eastern Season, with a peak power of 2,541.962 Watts, while the lowest distribution occurs in the Second Transition Season, with a power output of 38.75984 Watts.

Keywords : MIKE Zero, *Spectral Wave*, Electrical Power Conversion, Southern Island of Bali.

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara maritim dengan peluang besar dan signifikan untuk mengembangkan energi dari laut, khususnya energi gelombang. Hampir dua pertiga dari wilayah perairan dapat dimanfaatkan, dan energi ini dapat diperoleh dari pasang surut, arus, gelombang, serta angin. Energi gelombang laut, yang terbentuk akibat gesekan antara angin dan air laut, memiliki potensi yang besar dan bersifat ramah lingkungan. Menurut Anisa et al. (2023), potensi energi air, terutama energi gelombang laut, sangat besar di Indonesia, sehingga sangat layak untuk dimanfaatkan. Selain itu, energi ini tidak memberikan dampak negatif terhadap lingkungan, menjadikannya sebagai sumber energi yang ramah lingkungan dan tidak terbatas. Meskipun penelitian mengenai potensi energi gelombang di Indonesia masih terbatas, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral telah memulai pemetaan sejak tahun 2014, dengan Perairan Selatan Pulau Bali sebagai salah satu wilayah yang memiliki potensi tinggi untuk dimanfaatkan. Meskipun peta ini mencakup seluruh wilayah Indonesia namun pemetaannya masih terbatas ke peta secara umum. Penelitian mengenai potensi spesifik energi gelombang di berbagai wilayah Indonesia masih sangat terbatas sehingga diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mendapatkan titik-titik potensi yang lebih detail (Ali et al., 2021).

Perairan Selatan Bali memiliki gelombang yang tinggi, terutama karena pengaruh Samudera Hindia, dengan tinggi gelombang rata-rata diperkirakan mencapai 2 hingga 4 meter (Nurisman dan Tarigan, 2021). Karakteristik gelombang laut yang berasal dari Samudera Hindia biasanya memiliki tinggi yang signifikan akibat kondisi geografis yang menyebabkan ukuran *fetch* menjadi sangat besar. Sebelumnya pernah dilakukan penelitian oleh Mahuri et al. (2019), Studi menggunakan model numerik seperti WAVEWATCH III untuk menganalisis tinggi gelombang signifikan dan variasi musiman pada pantai selatan Bali dan sekitarnya telah menunjukkan potensi signifikan untuk energi gelombang, terutama di daerah-daerah yang menghadap Samudra Hindia. Kondisi ini disebabkan oleh pengaruh musim angin yang berhembus angin muson barat maupun angin muson timur. Selama musim kemarau, gelombang di Perairan Selatan Bali cenderung lebih besar dan kuat, menciptakan ombak yang memiliki energi cukup besar. Hal ini menjadi salah satu alasan penulis memilih Perairan Selatan Bali untuk diteliti lebih lanjut. Dengan ombak yang cukup besar akan memicu energi yang juga cukup besar untuk dapat dimanfaatkan menjadi bahan bakar atau sumber energi. Namun, selama musim hujan, gelombang bisa menjadi lebih tidak teratur dan sulit diprediksi (Yona et al., 2017). Penelitian ini bertujuan untuk memetakan dan memodelkan lokasi potensial energi gelombang di Perairan Selatan Bali dengan analisis data angin dan gelombang dari 2018-2023. Hasil penelitian diharapkan bisa menyajikan informasi yang bisa digunakan Kementrian ESDM dan Lembaga penelitian untuk kajian lebih lanjut dalam pengembangan energi gelombang laut sebagai sumber energi alternatif.

MATERI DAN METODE

Lokasi penelitian terletak di Perairan Selatan Bali. Metode penentuan koordinat stasiun yaitu dengan metode *systematic sampling*, yaitu dengan penentuan berdasarkan pembagian area yang dapat mewakili setiap wilayah yang akan diamati. Stasiun lokasi pengamatan berada di Uluwatu dengan koordinat 8,83°LS dan 115,07°BT (Gambar 1). Data yang dibunakan meliputi data Angin ECMWF (<https://apps.ecmwf.int/>), Data Gelombang BMKG Bali, Data Gelombang *Marine Copernicus*.

Pengolahan Data Angin ECMWF

Data angin diunduh secara time series dari tahun 2018 hingga 2023 dengan grid unduhan 0,5°. Data yang diinstal setiap 1 jam pengukuran dimulai dari pukul 00:00 hingga 23:00. Setelah dilakukan pengunduhan, maka data akan dikonversi menggunakan *Ocean Data View* (ODV). Hasil dari konversi akan diolah Kembali dengan *Microsoft Excel* dengan format (.xls). Data yang telah diolah dengan *Microsoft Excel* akan menghasilkan arah angin, mata angin, serta kecepatan angin. Data yang ada kemudian akan divisualisasikan dengan menggunakan *Software* WRPLOT. WRPLOT akan menampilkan *windrose*, frekuensi tabel kejadian angin serta grafik plot arah angin dominan. Mawar angin atau *windrose* yang dihasilkan dapat menjelaskan kemana arah angin dominan di wilayah tersebut di waktu yang telah ditentukan. Arah angin yang ada akan diproses selanjutnya dalam pembuatan *Fetch*.

Pembuatan *Fetch*

Hasil dari *Fetch* akan mempengaruhi periode gelombang serta tinggi gelombang yang dihasilkan. *Fetch* merupakan daerah pengaruh angin. Semakin jauh jangkauan *fetch* yang terjadi, semakin tinggi gelombang

yang terbentuk dan semakin panjang periode gelombangnya (Triatmodjo, 1998). Pengukuran *fetch* dijalankan menggunakan perangkat lunak Google Earth Pro dengan fitur ruler untuk mengukur panjang *fetch*. Sudut deviasi yang digunakan berkisar dari 6° hingga 42°, baik dalam arah searah jarum jam maupun tidak searah jarum jam. Pada penarikan *fetch* bagi setiap arah, pengukuran dijalankan dari titik awal hingga mencapai daratan atau pulau terdekat. Dengan arah awal penarikan *fetch* disesuaikan dengan arah angin dominan yang ditunjukkan pada windrose yang telah dibuat sebelumnya. Persamaan yang digunakan untuk menghitung *fetch* yaitu (Triatmodjo, 1999):

$$Fetch\ efektif = \frac{\sum xi \cdot \cos a}{\sum \cos a} \quad (1)$$

Keterangan: Feff = *Fetch* efektif; Xi = Panjang segmen *fetch* titik observasi gelombang ke ujung akhir *fetch*; A = Sudut deviasi di kedua sisi arah angin.

Setelah Panjang *fetch* telah diketahui kemudian diolah prediksi tinggi gelombang dan periode gelombang dengan data angin yang telah diunduh.

Validasi Data

Analisis RMSE digunakan sebagai perbandingan data untuk verifikasi penelitian ini, yaitu data gelombang ECMWF, data model gelombang BMKG dengan data gelombang luaran dari hasil model dalam kurun waktu yang sama. Jika hasil yang didapatkan semakin kecil dan mendekati 0, maka hasil prediksi dianggap valid. Nilai RMSE bisa dianalisis dengan (Fahri *et al.*, 2023)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum (X-Y)^2}{n}} \quad (2)$$

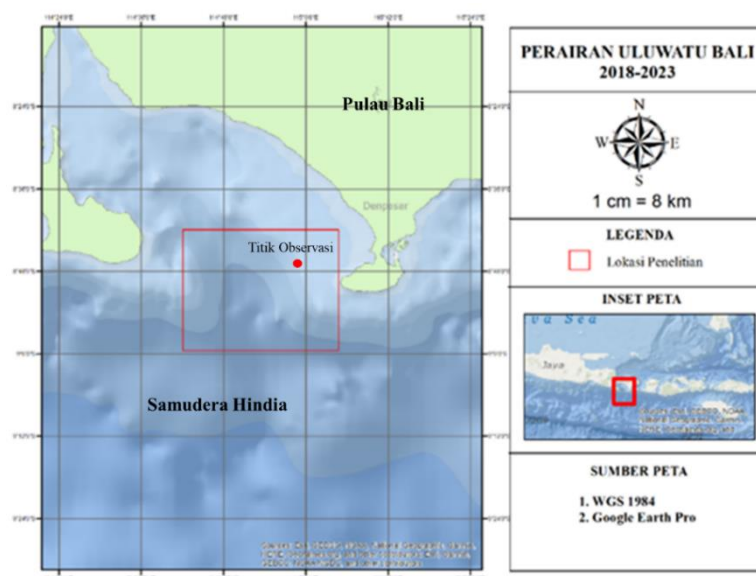
Keterangan: RMSE = *Root Mean Squared Error*; n = Jumlah Data; X = Nilai sebenarnya; Y = Nilai Prediksi

Penentuan Energi gelombang

Data prediksi mengenai tinggi gelombang serta periode gelombang akan dimanfaatkan guna menghitung potensi energi gelombang laut melalui rumus (Michael, 2010):

$$P = \frac{\rho g^2}{32\pi} H^2 m_o T \approx (1.0 \frac{kW}{m^3 s}) H^2 m_o T \quad (3)$$

Keterangan: Ro = densitas air laut; G = gaya gravitasi (9,8 meter/s²); T = Periode gelombang (sekon); H = tinggi gelombang (meter)



Gambar 1. Peta Lokasi Stasiun Penelitian.

Dari persamaan tersebut dapat disingkat menjadi :

$$P \approx H^2_{mo} T \quad (4)$$

Energi yang terbentuk dari gelombang laut berfungsi sebagai sumber energi potensial guna menghasilkan daya listrik dari sumber energi terbarukan. Dengan menggunakan rumus yang ada, energi gelombang laut bagi wilayah Perairan Selatan Bali pada kurun waktu 2018-2023 dapat dihitung. Rumus yang digunakan untuk menghitung daya energi listrik berdasarkan tinggi signifikan gelombang (H_s) serta periode gelombang signifikan (T_s) adalah:

$$P = \frac{\rho g^2 H_s^2 T_s^2}{64\pi} \quad (5)$$

Keterangan: P = daya gelombang per meter lebar (dalam Watt per meter, W/m); ρ = densitas air laut (sekitar 1025 kg/m³); g = percepatan gravitasi (9,81 m/s²); H_s = tinggi gelombang signifikan (meter); T_s = periode gelombang signifikan (detik); π = konstanta pi (3,14159)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Windrose

Hasil analisa menunjukkan pola mawar angin untuk setiap musim antara tahun 2018-2023, yang disajikan dalam Gambar 2. Pengolahan data angin menghasilkan pola *Windrose* untuk musim barat, peralihan I, timur, serta peralihan II. Ketika musim barat berlangsung, arah angin didominasi dari barat, sedangkan pada musim peralihan I, arah angin utama berasal dari timur. Angin yang berasal dari tenggara umumnya terjadi saat musim timur serta musim Peralihan II.

Perhitungan Tinggi gelombang signifikan dan Periode gelombang signifikan

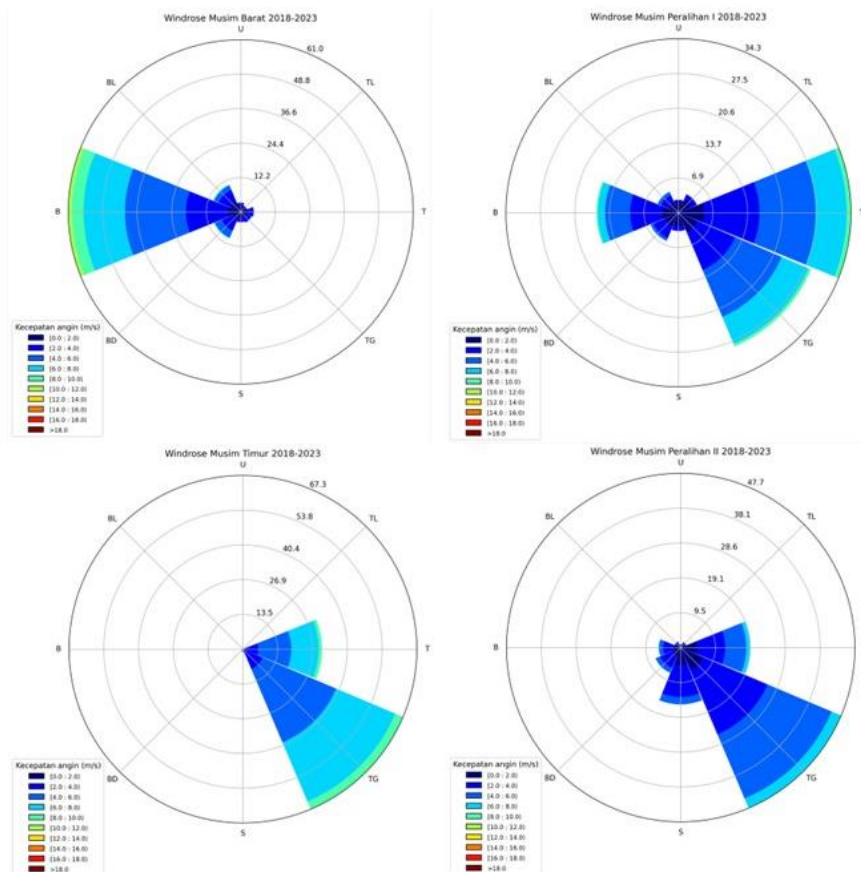
Tinggi gelombang signifikan tertinggi terjadi pada musim timur, mencapai 2,462507 meter, sedangkan terendah pada musim Peralihan I, yaitu 1,378302 meter. Periode gelombang signifikan tertinggi juga terjadi pada musim timur, dengan durasi 7,665459 detik, dan terendah pada musim Peralihan I, sebesar 5,457981 detik (Tabel 1). Pada musim barat (Desember hingga Februari), angin di laut bertiup kencang dari arah pantai barat, menyebabkan pergerakan gelombang yang tinggi. Di musim Peralihan I, angin mulai beralih ke arah timur, dan pergerakan gelombang terlihat di pantai timur. Musim timur ditandai dengan angin kencang dari arah tenggara dan gelombang yang cukup tinggi. Pada musim Peralihan II angin bertiup dari tenggara, tetapi tinggi gelombang mulai menurun. Gelombang di lokasi penelitian dihasilkan oleh angin, sesuai dengan klasifikasi Holthuijsen (2007) yang berpendapat bahwa gelombang yang diakibatkan oleh angin memiliki periode hingga 10 detik. Berdasarkan tinggi gelombang signifikan, gelombang yang terjadi tersebut merupakan kategori gelombang yang diakibatkan oleh angin.

Pengaturan Model Numerik

Wilayah kajian ini terletak di Perairan Selatan Pulau Bali, khususnya di Perairan Uluwatu, dengan 36 batas yang ditentukan, termasuk batas daratan dan 35 batas lainnya. Model ini menggunakan batas koordinat 0,05 derajat antar batas untuk memperoleh kalkulasi tinggi gelombang serta periode gelombang yang lebih detail (Gambar 3). Parameter yang dikaji adalah gelombang laut, dengan data angin sebagai data utama, serta data batimetri dan pasang surut sebagai masukan desain model. Pembuatan model menggunakan software MIKE 21 memerlukan waktu sesuai dengan interval dan jumlah time step, yang ditetapkan selama 3 bulan untuk setiap musim dengan time step 3600 detik (1 jam). Pemodelan gelombang dilakukan dengan MIKE 21 *Spectral Wave*, menggunakan peta batimetri yang diekstrak dari ArcGIS dalam format xyz, dan dibuat mesh dengan ukuran berbeda untuk meningkatkan akurasi di dekat pantai. Untuk validasi, durasi keluaran disesuaikan dengan tanggal pengukuran dengan interval 1 jam, menggunakan data angin dan gelombang dari ERA5 ECMWF. Proses ini mencakup pengaturan model hidrodinamika untuk mendapatkan komponen arus laut sebagai masukan untuk model gelombang. Setelah pengaturan, model dijalankan secara otomatis oleh MIKE 21. Keluaran yang dikaji meliputi Tinggi Gelombang Signifikan (SWH) serta arah gelombang, yang kemudian dibandingkan dengan data gelombang dari BMKG.

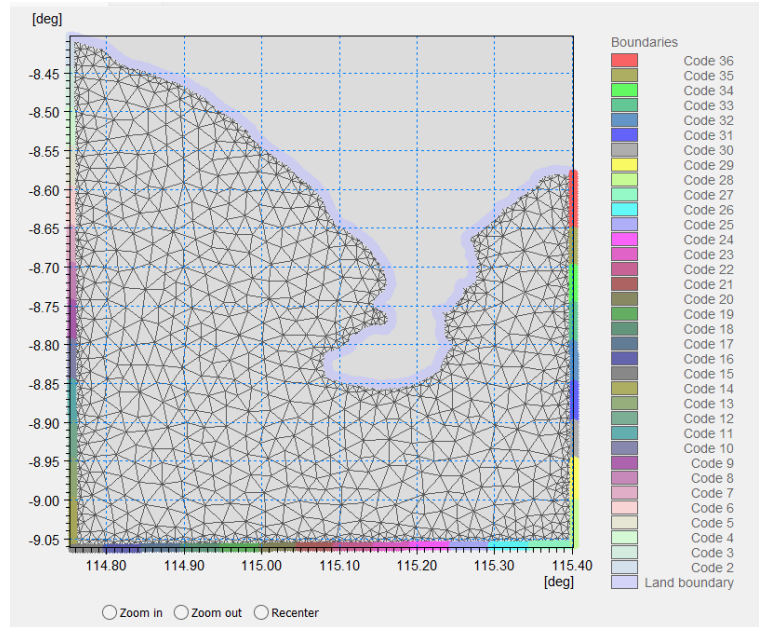
Tabel 1. Tinggi gelombang dan Periode Gelombang Selama 4 musim

Musim	Tinggi Gelombang (m)			Periode Gelombang (s)		
	H_{max}	H_s	H_{min}	T_{max}	T_s	T_{min}
Barat	3,243	1,934	0,008	7,895	6,676	1,091
Peralihan I	2,169	1,378	0,002	6,402	5,457	0,715
Timur	3,189	2,462	0,111	8,353	7,665	2,765
Peralihan II	2,672	1,801	0,005	7,880	6,905	1,010

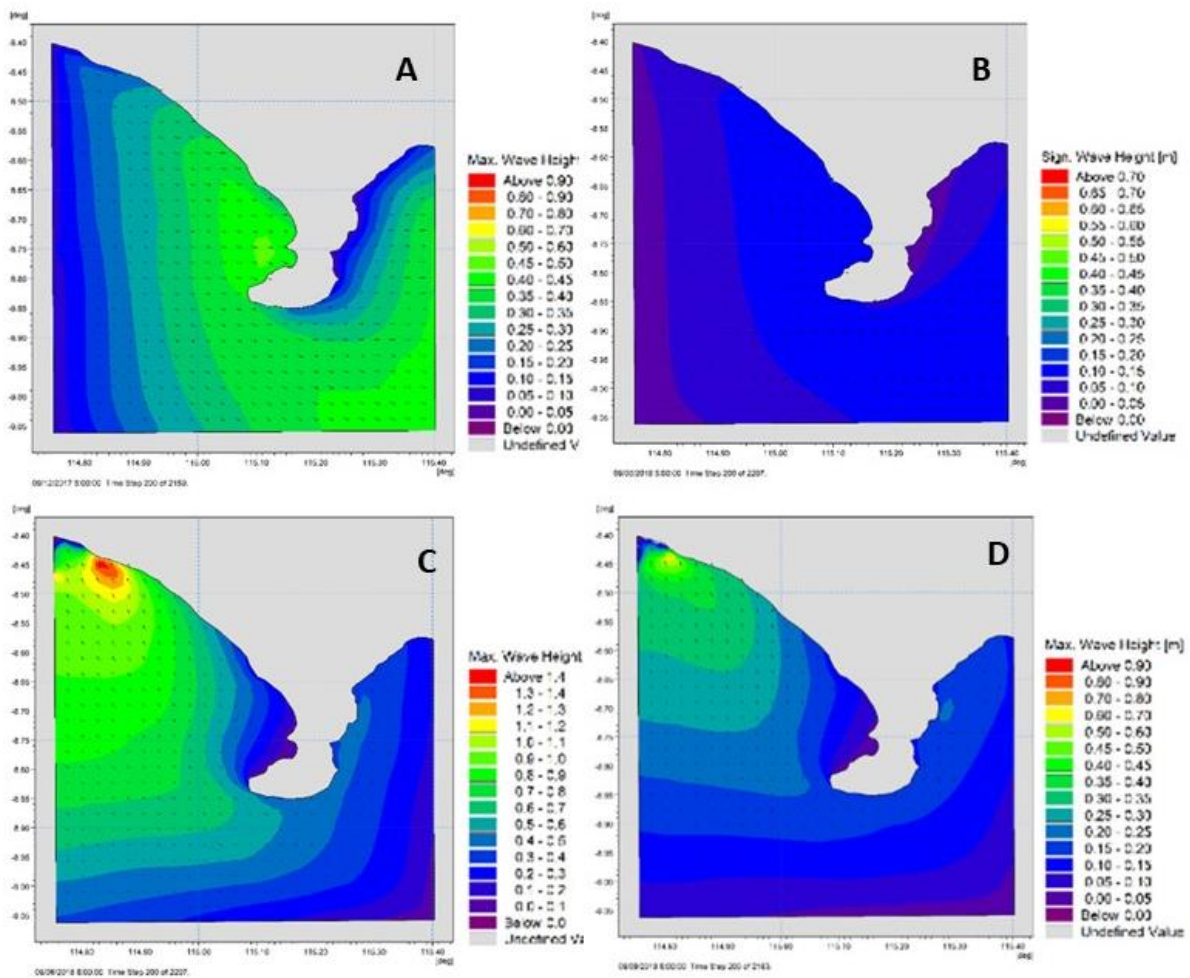
**Gambar 2.** Pemodelan Arah Angin selama 1 tahun.

Hasil Visualisasi Penjalaran Gelombang

Simulasi model numerik 4 Musim dilakukan dengan time step 3 bulan, dari Desember 2017 hingga Februari 2018, dengan interval waktu 3600 detik (1 jam). Tujuan simulasi ini adalah untuk menganalisis fluktuasi gelombang selama tiga bulan, menghasilkan data tinggi gelombang signifikan serta periode puncak. Data batimetri kemudian diinterpolasi untuk membuat mesh area, yang digunakan sebagai masukan untuk model MIKE 21 *Flow Model FM* dan MIKE 21 *Spectral Waves*. Pada musim barat, tinggi gelombang signifikan rata-rata rendah, berkisar antara 0-0,90 meter, dengan angin dominan dari barat ke timur akibat sistem monsun. Musim Peralihan I menunjukkan tinggi gelombang antara 0,05 hingga 0,70 meter, lebih rendah dibandingkan musim barat dan timur. Di musim timur, tinggi gelombang signifikan meningkat, berkisar antara 0-1,4 meter, dipengaruhi oleh angin monsun timur yang kuat dari Samudera Hindia. Musim Peralihan II menunjukkan tinggi gelombang berkisar cukup rendah, disertai pola angin yang tidak stabil dan cenderung lemah, seiring dengan melemahnya tekanan di Australia dan terbentuknya tekanan rendah di Asia (Gambar 4).



Gambar 3. Wilayah Domain Penelitian



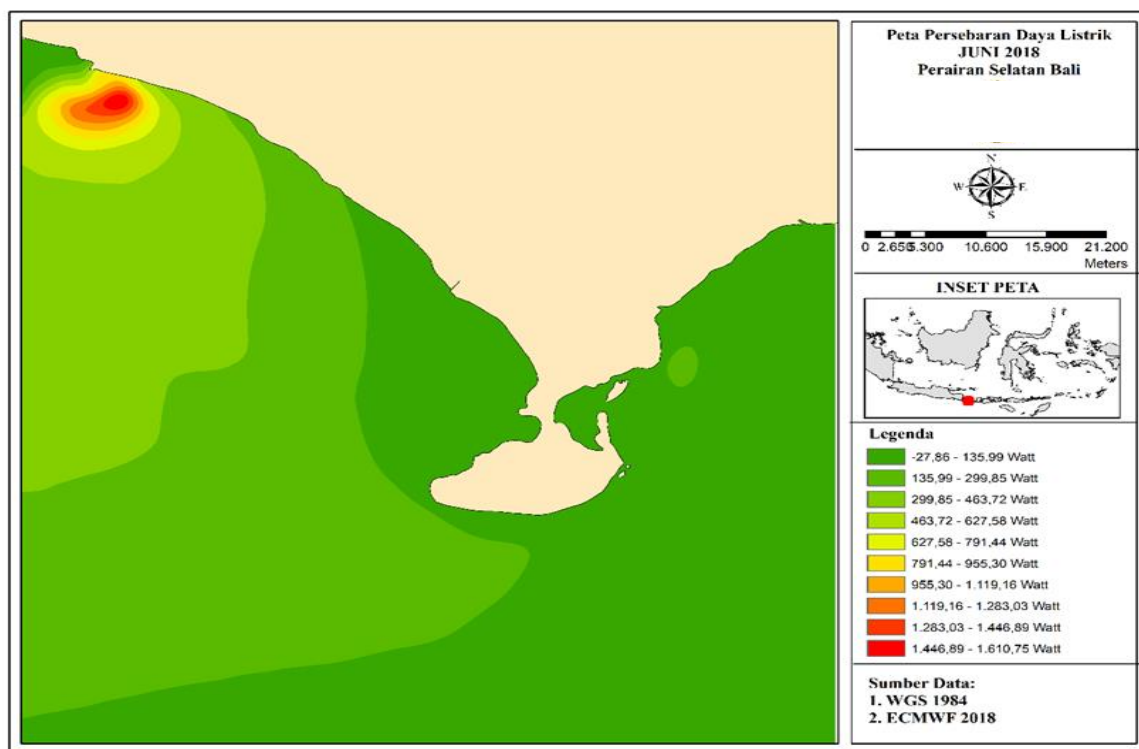
Gambar 4. Simulasi Pemodelan Gelombang di Musim Barat (A); Musim Peralihan I (B); Musim Timur (C); Musim Peralihan II (D)

Analisis Persebaran Daya Listrik

Perhitungan daya listrik dilakukan berdasarkan tinggi dan periode gelombang. Hasilnya menunjukkan bahwa daya listrik tertinggi di wilayah Selatan Bali terjadi pada bulan Juni (Musim Timur) dengan nilai 2.541,962 Watt, sedangkan nilai terendah tercatat pada musim Peralihan II, yaitu 38,75984 Watt. Tinggi gelombang maksimum selama tahun 2018, berdasarkan peta persebaran, berkisar antara 2 hingga 3 meter di wilayah barat laut dan tenggara Perairan Selatan Bali. Data yang diperoleh sepanjang tahun 2018 menunjukkan

Tabel 2. Potensi daya Listrik di Perairan Selatan Bali

Bulan	Potensi Daya Listrik (W/m)	
	Tertinggi	Rata-rata
Desember 2017	78,14789	25,86173
Januari 2018	304,9725	97,97778
Februari 2018	500,6261	163,6683
Maret 2018	35,15473	9,778671
April 2018	434,7226	33,27989
Mei 2018	2.489,5821	423,39136
Juni 2018	2.541,962	151,2992
Juli 2018	1.812,593	83,45686
Agustus 2018	2.101,205	130,0063
September 2018	402,9064	37,28249
Oktober 2018	107,9349	28,71762
November 2018	38,75984	11,52257



Gambar 5. Peta Persebaran Potensi daya Listrik pada Juni 2018

bahwa potensi daya listrik terbesar terjadi pada bulan Juni, Juli hingga Agustus (Tabel 2 dan Gambar 5). Namun, perhitungan ini mencakup periode tertentu dan tidak terbatas pada satu musim atau bulan saja. Potensi daya listrik ini dihasilkan dari pengolahan data angin menggunakan Excel, yang menunjukkan bahwa daya listrik dari sistem alternatif pembangkit listrik tenaga gelombang sangat menyesuaikan dengan tinggi serta periode gelombang. Pola persebaran daya listrik pada tahun 2018 lebih tinggi di wilayah barat laut dibandingkan dengan tenggara. Daya listrik yang dihasilkan memiliki hubungan langsung dengan tinggi dan periode gelombang; semakin tinggi gelombang yang diikuti dengan semakin pendek periode gelombang, hasil energi listrik yang diperoleh akan semakin besar.

KESIMPULAN

Nilai tinggi gelombang di perairan bagian Barat Laut serta Tenggara lebih maksimum apabila dibandingkan dengan daerah lainnya. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa tinggi gelombang maksimum mencapai 3,243 meter, sementara tinggi gelombang minimum adalah 0,002 meter. Daya listrik yang terhitung saat musim Timur lebih tinggi apabila datanya daripada musim barat, peralihan I serta peralihan II. Daya listrik maksimum tercatat sebesar 2.541,962 watt, sedangkan nilai minimum adalah 38,75984 watt. Akumulasi potensi energi paling rendah ditemukan pada bulan November 2018, sedangkan potensi tertinggi terjadi pada bulan Juni 2018. Hal ini dikarenakan kecepatan angin yang relatif besar pada bulan Juni, mengakibatkan gelombang di perairan tersebut memiliki tinggi gelombang yang signifikan. Wilayah Perairan Selatan Bali yang memiliki potensi untuk dimanfaatkan sebagai sumber daya listrik terletak di bagian Barat Laut dan Tenggara.

DAFTAR PUSTAKA

- Ali, I. A., Armono, H. A., Rahmawati, H. D., Ridlwan, S. A. & Ariefianto, R. M. 2021. Pemodelan Tinggi Gelombang Untuk Kajian Energi Gelombang Laut Di Perairan Barat Provinsi Lampung. *Wave: Jurnal Ilmiah Teknologi Maritim*, 15(2):75-84.
- Anisa, K. D., Arwizet, K., Lapisa, R. & Muliati, M., 2023. Comparative Study of Numerical and Experimental Analysis of Micro Hydro Power Plant in Nagari Koto Hilalang Solok Regency. *MOTIVATION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, 5(1):47-60.
- Ardyan, E., Boari, Y., Akhmad, A., Yuliyani, L., Hildawati, H., Suarni, A. & Judijanto, L., 2023. Metode Penelitian Kualitatif Dan Kuantitatif: Pendekatan Metode Kualitatif dan Kuantitatif di Berbagai Bidang. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
- Ariefianto, R. M., Hadiwidodo, Y. S. & Rahmawati, S. 2021. Modelling of Unidirectional Oscillating Buoy Wave Energy Converter Based on Direct Mechanical Drive System under Irregular Wave. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 698, pp. 1-12.
- Azizie, M. R., Wicaksono, D. A. & Fitriana, F. 2020. Analisis Energi Gelombang Air Laut menggunakan Teknologi Oscillating Water Column. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)*, 2(1):1-10.
- Bakce, D. 2019, Januari. Menciptakan Kedaulatan Pangan Melalui Kegiatan Perluasan Lapangan. Dalam Seri Konferensi Unri: Pertanian dan Ketahanan Pangan, 1:102-112pp.
- Black, J. A. 1986. Oceans and Introduction to Oceanography. WM. C. Brown. Publishers
- Budiman, A. S. & Parandani, X. A., 2018. Uji akurasi klasifikasi dan validasi data pada penggunaan metode membership function dan algoritma c4. 5 dalam penilaian penerima beasiswa. *Simetris: Jurnal Teknik Mesin, Elektro dan Ilmu Komputer*, 9(1):565-578.
- Fahri, A. & Ramdhani, Y., 2023. Visualisasi Data dan Penerapan Machine Learning Menggunakan Decision Tree Untuk Keputusan Layanan Kesehatan COVID-19. *Jurnal Tekno Kompak*, 17(2):50-60.
- Hanapiah, M. F. M., Saad, S. & Ahmad, Z., 2020. Hydrodynamic modelling in inshore reef area within Kuantan Coastal Region. *Journal Clean WAS (JCleanWAS)*, 4(1):1-7.
- Hartanto, B. & Sartini, S., 2019. Kebijakan Pemanfaatan Energi Dan Sumberdaya Energi Mineral Kelautan Indonesia. *Jurnal Baruna Horizon*, 2(2):90-106.

- Haryanto, A., Suharyatun, S., Rahmawati, W. & Triyono, S., 2019. Energi terbarukan dari jerami padi: Review potensi dan tantangan bagi Indonesia. *Jurnal Keteknikaan Pertanian*, 7(2):137-146.
- Irwan, I. & Suaib, S. 2022. Potensi Pemanfaatan Energi Gelombang Laut Menjadi Energi Listrik Di Kelurahan Sapolohe Kabupaten Bulukumba. *Teknik Hidro*, 15(2):51-57.
- Mahiru R., A., Sari, N., Sofian, I., Hanifah, F., & Hilmi, I. (2019). Preliminary study of wave energy resource assessment and its seasonal variation along the southern coasts of Java, Bali, and Nusa Tenggara waters. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 11(1).
- Makbul, R., Zulharnah, H. R., Tanje, H. W., Djufri, H., Bungin, E. R., Faisal, Z. & Mutiara, I., 2023. Pengembangan Sumber Daya Air. Tohar Media, Makassar.
- Marfai, M. A., Mardiatno, D., Wibowo, A. A., Utami, N. D., Jihad, A., Sudarno, A. & Lubis, N. A. Z., 2021. Kajian pengelolaan pesisir berbasis ekowisata di Kepulauan Karimunjawa. UGM PRESS.
- McCormick, M. E., 2010. Ocean Engineering Mechanics for Applications. Cambridge: Cambridge University Press.
- Nagifea, F. Y. 2022. Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut (Pltgl) Sebagai Energi Alternatif Di Indonesia. *Jurnal Technopreneur (JTech)*, 10(2):17-24.
- Nurman, S., Kurniawan, D. & Azis, M., 2024. Tinjauan Potensi Energi Laut Sebagai Sumber Energi Terbarukan. *Jurnal Maritim Malahayati*, 5(1): 150-155.
- Nurisman, N., & Tarigan, T. A. br. (2021). Kajian Awal Perencanaan Bangunan Pelindung Pantai Labuhan Jukung, Krui, Kabupaten Pesisir Barat, Provinsi Lampung. *Maspari Journal*, 13(1): 25-40.
- Parjiman, Daryanto, Subekti, M. & Rif'an, M., 2018. Simulasi Gelombang Laut Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Gelombang Laut. *Jurnal Teknologi Elektro*, 9(2):50-57
- Priadana, M. S., & Sunarsi, D. 2021. Metode penelitian kuantitatif. Pascal Books.
- Prihatiningsih, P. dan Yuliar, A., 2023. Strategi Pelaku Umkm Wisata Museum Sangiran Terhadap Peningkatan Pendapatan Di Era New Normal. *Surplus: Jurnal Riset Mahasiswa Ekonomi, Manajemen, dan Akuntansi*, 3(2):77-84.
- Rahmanta, M. A., 2022. Analisis PASTEL & SWOT Pemanfaatan Teknologi Pumped Storage Hydropower Untuk Meningkatkan Penetrasi Energi Terbarukan Di Indonesia. *Jurnal Offshore: Oil, Production Facilities and Renewable Energy*, 6(1):1-13.
- Rego, E., 2018. Peredaman Gelombang oleh Mangrove Avicennia Marina Ditinjau dari Pengaruh Serasah (Studi Kasus di Pantai Indah Kapuk, Jakarta).
- Ridlo, Z. R., Afafa, L., Ulfa, E. M., Dewi, M. A. P. & Maimuna, S., 2021. Analisis Gelombang Air Laut dengan Menggunakan Pemodelan Berbasis Matlab. *Cgant Journal Of Mathematics And Applications*, 2(2).
- Sampurno, C. B. K., Maulita, I., Febiyani, A., Rokhim, Y. A., Margono, H. S., Darmawan, A. R. & Pangestu, R., 2023. Waterwheel performance parameters and influencing factors. *Journal of Industrial and Mechanical Engineering*, 1(1), 59-69.
- Siswanto, A. D. & Nugraha, W. A., 2016. Permasalahan Dan Potensi Pesisir Di Kabupaten Sampang. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 9(1):12-16.
- Tajfirooz, B., Aliakbari, B. A., Ezam, M. & Lari, K., 2018. Evaluation and comparison of tidal analysis and predicting methods of Mike 21 software. *Iranian Journal of Geophysics*, 12(3):1-20.
- Triatmodjo, B., 1999. Teknik Pantai. Yogyakarta: Beta Offset.
- Triatmodjo, B., 2008. Teknik Pantai. Yogyakarta: Beta Offset.
- Tuah, H., 1987. Dinamika Gelombang, Lab. Mekanika Fluida dan Hidrodinamika PAU:Ilmu Rekayasa ITB, Bandung.
- Tuna, M. S. 2023. Analisis Cuaca Ekstrem Penyebab Banjir di Kab. Bireun, Aceh (Studi Kasus: 12 Januari 2022). *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 13(01).
- Yona, D., Sartimbul, A., Sambah, A. B., Hidayati, N., Harlyan, L. I., Sari, S. H. J. & Iranawati, F., 2017. Fundamental Oseanografi. Universitas Brawijaya Press.
- Zellatifanny, C. M. & Mudjiyanto, B., 2018. Tipe penelitian deskripsi dalam ilmu komunikasi. Diakom: Jurnal Media Dan Komunikasi, 1(2):83-90.

Zuldian, P. 2017. Potensi Pemanf Aa T An Biohidrogen Dan Biomet Anadari Pome Untuk Ketenagalistrikan P Ada Analisis Prototipe 3 Biohythane Kapasitas 1 M/Hari. Jurnal Energi dan Lingkungan (Enerlink), 13(1)