
Pemetaan Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu di Perairan Indonesia Berdasarkan Data Satelit ASCAT (Offshore Wind Power Mapping in Indonesia ASCAT Satellite Data-Based)

Safrizal*¹, Haimi Ardiansyah², Dailami³

¹Akademi Komunitas Negeri Aceh Barat; Komplek STTU, Jl. Alue Peunyareng, Ujong Tanoh Darat, Meureubo, Kab. Aceh Barat. telp/fax (0655) 7110271

³Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Lhokseumawe; Jl. Banda Aceh-Medan Km. 280,3, Buketrata, Lhokseumawe, Aceh 24301

e-mail: *safrizal@aknacehbarat.ac.id, hime.ard@gmail.com, dailamiteknic@gmail.com

Abstrak

Kebutuhan energi listrik menjadi isu penting yang dapat mendorong daya saing Indonesia di kancah perekonomian dunia. Saat ini, Indonesia masih menggunakan energi yang bersumber dari fosil. Energi fosil adalah energi yang tidak terbarukan sehingga akan habis pada suatu masa. Kemampuan Indonesia dalam menghasilkan energi listrik terbarukan merupakan solusi dari permasalahan tersebut. Salah satu sumber energi listrik terbarukan berasal dari Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Penelitian ini bertujuan memetakan sumber energi PLTB di perairan Indonesia dengan menggunakan data dari satelit ASCAT. Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data harian kecepatan bayu periode 01 Januari 2017 sampai dengan 31 Desember 2018. Data tersebut merupakan data pada ketinggian 10 m, dengan menggunakan model matematis data tersebut kemudian diolah agar didapatkan kecepatan bayu serta power density pada ketinggian 120 m. Langkah selanjutnya adalah pembuatan peta potensi PLTB di perairan Indonesia. Dari peta tersebut, diketahui bahwa perairan Indonesia di Samudera Hindia dan Laut Arafura memiliki potensi yang lebih baik dari pada perairan lainnya. Kecepatan bayu rata-rata pada ketinggian 120 m adalah 9,24 m/s, sedangkan rata-rata power density sebesar 955,64 W/m². Jumlah turbin yang dapat dibangun di wilayah ZEE Indonesia adalah sebanyak 4.800.292 unit dengan jumlah tersebut maka dapat menghasilkan energi listrik sebesar 10.080 GW.

Kata kunci— PLTB, bayu, ASCAT, satelit, ZEE

Abstract

Electrical energy is an important issue that can encourage Indonesia's competitiveness in the world economy. Currently, Indonesia is still using energy sourced from fossils. Fossil energy is non-renewable energy, so that it will run out at some point. Indonesia's ability to produce renewable electrical energy is a solution to this problem. One source of renewable electrical energy comes from the Wind Power Plant. This study aims to map offshore wind power potential in Indonesia using data from the ASCAT satellite. This study began by collecting daily wind speed data from January 1, 2017, to December 31, 2018. The data is at an altitude of 10 m. The data is then processed to obtain wind speed and power density at an altitude of 120 m using a mathematical model. The next step is making a map of the potential of wind power plants in Indonesia offshore. The map shows that Indonesia offshore in the Indian Ocean and the Arafura Sea have better potential than other waters. The average wind speed at an altitude of 120 m is 9.24 m/s, while the average power density is 955.64 W/m². The number of turbines that can be built in the EEZ area of Indonesia is 4,800,292 units. With this number, it can produce 10,080 GW of electrical energy.

Keywords— Wind Power Plant, wind, ASCAT, satellite, EEZ

1. PENDAHULUAN

Energi sangat penting bagi umat manusia dan memegang peranan penting bagi perkembangan suatu negara. Penggunaan energi fosil tidak dapat bertahan dalam jangka waktu panjang. Berdasarkan penelitian [1] yang dilakukan pada tahun 2016, energi fosil akan berakhir dalam kurun waktu 150 tahun. Sumber energi alternatif dan terbarukan menjadi solusi bagi keberlangsungan hidup manusia. Dalam konteks ketahanan energi, pemerintah Indonesia memberikan perhatian yang luas terhadap energi terbarukan yakni dengan dikeluarkannya Perpres No.5/2016. Salah satu amanat perpres tersebut adalah pemerintah harus mampu mengantisipasi permintaan energi nasional [2]. Berdasarkan data [3] perkiraan permintaan energi listrik nasional meningkat dari 2,4 TWh pada tahun 2015 menjadi 26,5 TWh pada tahun 2050. Untuk mengantisipasi permintaan energi listrik yang terus meningkat maka dibutuhkan sumber energi lain, salah satunya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). PLTB merupakan pembangkit energi listrik terbarukan. Berdasarkan [3] pada tahun 2016, PLTB dan energi hibrid yang sudah terpasang di Indonesia sebesar 3,1 GW.

Tenaga bayu dihasilkan dari perbedaan tekanan udara yang diakibatkan oleh distribusi panas matahari yang tidak merata. Terdapat beberapa metode mengukur kecepatan bayu. Secara konvensional alat yang digunakan untuk mengukur kecepatan bayu adalah anemometer dan windvanes yang dipasang pada buoy dan kapal. Namun metode tersebut tidak mengukur kecepatan bayu pada area yang luas. Metode lain yang digunakan untuk mengukur kecepatan bayu pada area yang luas adalah menggunakan *Numerical Weather Prediction* (NWP) dan citra satelit. Beberapa satelit yang mengukur kecepatan bayu adalah *Quikscat* dan *Advanced Scatterometer* (ASCAT). Seiring berakhirnya operasi dari satelit *Quikscat* pada tahun November 2009 [4], maka pemetaan potensi tenaga bayu menggunakan data satelit lain menjadi solusi terhadap pemetaan *power density*.

Terdapat beberapa penelitian tentang PLTB di perairan yang sudah dilakukan, salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh [4] yang memetakan potensi tenaga bayu di perairan Indonesia menggunakan data satelit *Quikscat* dan *WindSat*. Penelitian lainnya [5] memetakan potensi tenaga bayu di perairan India, [6] menggabungkan data stasiun meteorologi dan data satelit dalam memetakan potensi tenaga bayu di Brazil bagian selatan, [7] memetakan potensi tenaga bayu di perairan Malaysia.

Penelitian [4] menggunakan data satelit *Quikscat* dan satelit *WindSat*. Data *Quikscat* yang digunakan merupakan data pada kurun waktu 11 tahun (Januari 1999- Desember 2009) dan data *WindSat* pada kurun waktu 11 tahun (Januari 2004-2014). Hasil akhir penelitian ini adalah peta *power density* pada ketinggian 10 m di atas permukaan laut tanpa memperhatikan ketinggian turbin.

Penelitian [5] membahas lebih komprehensif tentang formulasi serta perhitungan proses pemetaan PLTB di perairan India. Penelitian tersebut menghitung kecepatan dan arah bayu pada ketinggian turbin 80 meter di atas permukaan laut perairan ZEE India. Data yang digunakan adalah data yang berasal dari satelit *Oceansat-2 scatterometer* (OSCAT). Untuk melakukan estimasi potensi PLTB, penelitian ini menggunakan data OSCAT selama dua tahun (2012-2013). Metode analisis yang digunakan oleh [5] juga digunakan pada penelitian [8]. Penelitian [8] menggunakan data dari *European Centre of Weather for Medium Range* (ECMWF) dalam kurun waktu 19 tahun (1995-2013) untuk mengevaluasi sumber daya bayu di 6 lokasi di Gujarat, India.

Satelit ASCAT merupakan satelit yang dioperasikan EUMETSAT yang diluncurkan pada Oktober 2006 dan masih beroperasi sampai saat ini [9]. ASCAT menghasilkan citra satelit berupa kecepatan dan arah bayu, karakteristik es di laut, temperatur permukaan laut dan kelembaban tanah. Penelitian ini akan mengkaji potensi dan kelayakan PLTB di perairan Indonesia menggunakan data dari Satelit ASCAT. Penelitian tentang pemetaan potensi PLTB di perairan Indonesia ini menghitung kecepatan dan arah bayu serta *power density* pada ketinggian 120 meter

sesuai dengan rekomendasi [9], sehingga mampu memetakan potensi PLTB sesuai dengan ketinggian turbin standar perairan. Model analisis pada penelitian ini banyak mengacu pada penelitian [5][8]. Untuk menghasilkan luaran tersebut maka dilakukan analisis berupa kecepatan bayu, luas area yang tersedia untuk PLTB, jumlah turbin dan total energi yang dapat di produksi. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan alternatif pemetaan energi bayu berbasis satelit seperti yang dilakukan oleh [4], namun dengan memperhatikan ketinggian turbin.

2. DASAR TEORI

2.1 Penginderaan Jauh

Penginderaan jauh merupakan suatu metode mendapatkan data suatu objek dari jarak jauh atau dengan kata lain tanpa menyentuh objek tersebut. Untuk mendapatkan data tersebut biasanya menggunakan spektrum tertentu misalnya frekuensi radio, cahaya tampak dan gelombang mikro. Spektrum yang ditembakkan tersebut biasanya berasal dari pesawat terbang, balon udara, satelit, kapal dan dapat juga berasal dari darat.

Penginderaan jauh berbasis satelit melakukan akuisisi data tertentu dengan cara melakukan observasi terhadap bumi menggunakan satelit. Radiometer infra merah termal digunakan untuk mengukur suhu permukaan laut, sinar tampak dan near-infrared digunakan akuisisi data klorofil, data kecepatan dan arah bayu menggunakan gelombang mikro karena kemampuannya menembus awan dan dapat beroperasi pada saat berawan dan hujan [10]. Panjang gelombang mikro berkisar antara 1 mm – 1 m [11].

2.2 Satelit ASCAT

EUMETSAT *Ocean and Sea Ice Satellite Application Facility* (OSI SAF) merupakan sebuah instansi yang menghasilkan data berupa kecepatan dan arah bayu, karakteristik es di laut, temperatur permukaan laut, *radiative fluxes*, *Surface Solar Irradiance (SSI)* dan *Downward Long wave Irradiance (DLI)* [12]. ASCAT merupakan sebuah instrumen sensor yang dibawa oleh wahana yang bernama *Meteorological Operational (Metop) polar satellites*. Sensor tersebut diluncurkan European Space Agency (ESA) dan di operasikan oleh *EUropean organisation for the exploitation of METeorological SATellites* (EUMETSAT).

ASCAT merupakan sebuah *real aperture radar* menggunakan antena polarisasi vertikal. Satelit tersebut mengirimkan long pulse dengan menggunakan modulasi frekuensi linear. Penerima di bumi melakukan demodulasi sinyal tersebut dan menganalisis spektrum yang diterima serta menyimpannya.

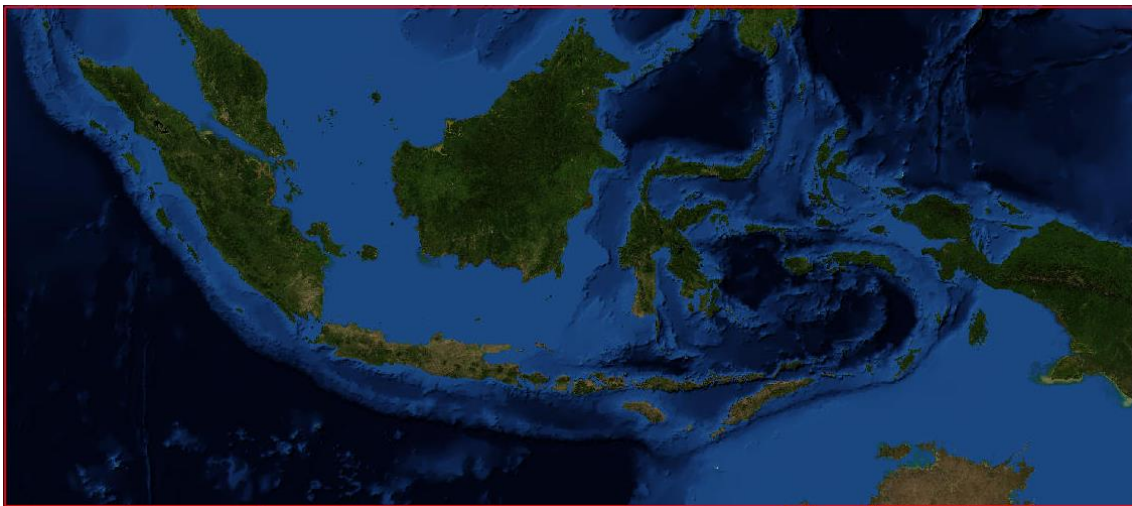
Tabel 1. Spesifikasi Satelit ASCAT [12]

Platform	Metop
Orbit type	Sun-synchronous orbit with an inclination of 98.7°
Orbit period	29 days/412 orbits (14.21 orbits per day)
Sensor name	ASCAT
Sensor Type	Scatterometer
Frequency	5,255 Ghz (C-band)

3. METODE PENELITIAN

3.1 Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan berupa data harian kecepatan dan arah bayu pada ketinggian 10 m di atas permukaan laut pada rentang waktu 01 Januari 2017 sampai dengan 31 Desember 2018 [13]. Wilayah data yang dikumpulkan terbentang dari -13,943 Lintang Selatan (LS) dan 7,784 Lintang Utara (LU) serta 92,051 Bujur Timur (BT) sampai dengan 141,4 BT, wilayah tersebut dapat dilihat pada gambar 1. Alasan pengambilan data dalam rentang koordinat tersebut adalah wilayah tersebut masuk ke dalam Zona Ekonomi Eksklusif (ZEE) Indonesia berdasarkan data ZEE dari [14]. EEZ merupakan wilayah perairan yang disahkan oleh *United Nations Convention on the Law of the Sea* (UNCLS) sebagai wilayah negara dengan hak khusus mengenai eksplorasi dan penggunaan sumber daya laut, termasuk produksi energi dari air dan bayu [15]. Data kecepatan bayu yang sudah diperoleh diolah sehingga didapat distribusi kecepatan bayu serta distribusi *power density* per bulan dan per tahun.



Gambar 1. Wilayah pengumpulan data

3.2 Model Matematis

Untuk memodelkan ketinggian turbin bayu untuk kepentingan analisis, maka dipilih turbin dengan ketinggian 120 m [9]. Disebabkan satelit ASCAT mengumpulkan data kecepatan bayu pada ketinggian 10 m di atas permukaan laut maka data kecepatan bayu tersebut perlu disesuaikan dengan ketinggian turbin bayu dengan persamaan [8]:

$$\frac{V(z)}{V(z_{ref})} = \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_{ref}/z_0)} \quad (1)$$

dimana z merupakan ketinggian turbin, 120 m. z_{ref} merupakan ketinggian referensi, 10 meter, di atas permukaan laut. z_0 merupakan panjang kekasaran permukaan, panjang $z_0 = 0,2$ mm sesuai dengan rekomendasi untuk PLTB di perairan [5]. Rata-rata *power density* P dihitung dengan persamaan berikut [16]:

$$P = \frac{3}{\pi} \rho (v_{ave})^3 \quad (2)$$

dimana P merupakan *power density*, v_{ave} merupakan rata-rata kecepatan bayu per tahun dan ρ merupakan standar kerapatan udara pada permukaan laut yakni sebesar 1.225 kg/m^3 [5].

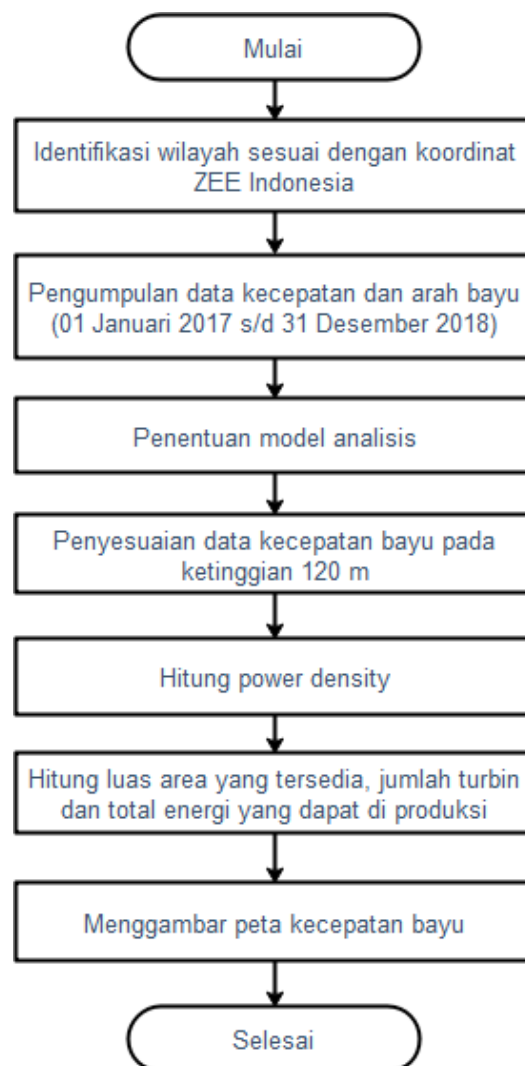
Jumlah turbin dihitung dengan persamaan:

$$\text{Jarak turbin} = (\text{diameter rotor})^2 \times (\text{downwind spacing factor}) \times (\text{crosswind spacing factor}) \quad (3)$$

$$\text{Jumlah turbin} = \frac{\text{Total area tersedia}}{\text{Jarak turbin}} \quad (4)$$

3.3 Alur Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan mengumpulkan data harian kecepatan dan arah bayu satelit ASCAT pada rentang waktu dari tanggal 01 Januari 2017 sampai dengan 31 Desember 2018. Hasil dari penelitian ini berupa peta distribusi potensi PLTB. Data lain yang dihasilkan yaitu luas area yang tersedia untuk PLTB, jumlah turbin dan total energi yang dapat di produksi. Adapun bagan alir penelitian ini dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk menghitung potensi tenaga bayu di perairan Indonesia, maka digunakan data dari Satelit ASCAT dengan wahana *Meteorological Operational Satellite - A* (MetOp-A), MetOp-A merupakan salah satu wahana dari 3 wahana satelit ASCAT. Data dari satelit ASCAT dapat di download melalui *website* EUMETSAT. Data dari EUMETSAT tersebut mencakup data seluruh dunia. Pada penelitian ini digunakan data satelit ASCAT yang sudah di oleh NASA *melalui The Physical Oceanography Distributed Active Archive Center* (PO.DAAC) dan dapat di akses melalui aplikasi *High-level Tool for Interactive Data Extraction* (HiTIDE). Penggunaan HiTIDE dapat menghemat waktu dan sumber daya software pengolah data, *Matlab*, karena HiTIDE memiliki fitur filter wilayah sehingga lebih efisien untuk diolah. Data-data dari HiTIDE tersebut berisi vektor bayu permukaan laut Level 2 dan beroperasi hampir *real-time* dengan wahana MetOp-A pada resolusi pengambilan sampel 25 km x 25 km.

4.1 Pemetaan Potensi

Satelit Ascata merekam 2.237 kali wilayah perairan Indonesia pada tahun 2017 sedangkan pada tahun 2018 satelit tersebut merekam sebanyak 2.252 kali. Data hasil rekaman tersebut diolah dengan menggunakan *Matlab* agar dapat menghasilkan data yang dibutuhkan dalam penelitian ini. Data hasil rekaman Ascata dalam format NetCDF, data yang diolah berupa kecepatan bayu dan koordinat bujur dan lintang. Untuk batas daratan digunakan data koordinat garis pantai dari *Matlab*, sedangkan data koordinat batas ZEE digunakan data dari *Flanders Marine Institute* [14].

Rata-rata kecepatan bayu di perairan Indonesia pada ketinggian 10 m di atas permukaan laut tahun 2017 dan 2018 adalah 5,65 m/s. Dengan menggunakan persamaan 1 didapatkan rata-rata kecepatan bayu pada ketinggian 120 m di atas permukaan laut. Kecepatan bayu rata-rata pada ketinggian 120 m antara tahun 2017 dan 2018 adalah sebesar 9,24 m/s. Data lengkap rata-rata kecepatan bayu per bulan dapat dilihat pada tabel 2.

Kecepatan bayu maksimal pada ketinggian 120 m tahun 2017 tercatat 25,12 m/s sedangkan pada tahun 2018 tercatat 22,73 m/s. Seperti yang terlihat pada gambar 2, kecepatan bayu di wilayah selatan khatulistiwa lebih tinggi daripada dibagian utara khatulistiwa. Perairan Samudera Hindia dan Laut Arafura memiliki kecepatan yang lebih tinggi daripada perairan lain.

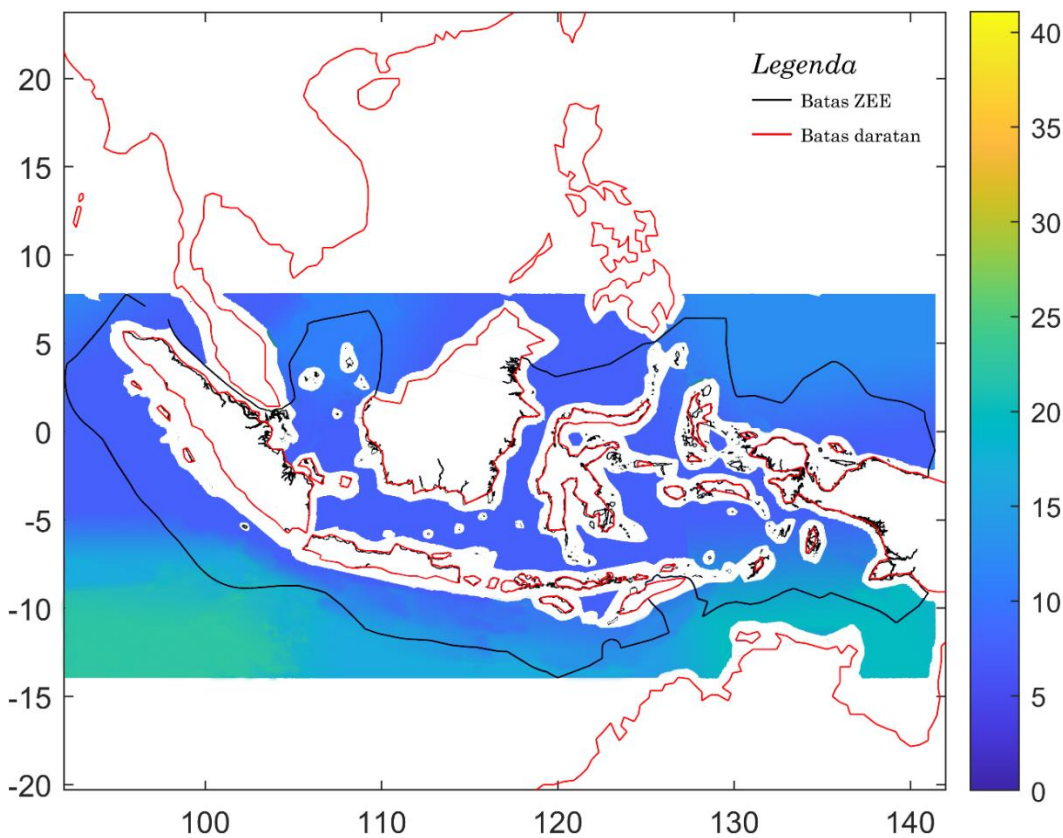
Tabel 2. Rata-rata kecepatan bayu per bulan dalam m/s

Bulan	Tahun 2017		Tahun 2018	
	Ketinggian 10 m	Ketinggian 120 m	Ketinggian 10 m	Ketinggian 120 m
Januari	5,67	9,27	5,74	9,39
Februari	5,59	9,13	5,21	8,51
Maret	4,88	7,99	5,00	8,18
April	4,75	7,77	4,92	8,05
Mei	5,84	9,55	5,89	9,62
Juni	6,10	9,97	6,15	10,06
Juli	6,54	10,69	6,77	11,07
Agustus	6,49	10,61	6,67	10,90
September	6,00	9,81	6,25	10,22
Oktober	5,30	8,67	5,32	8,70
November	4,77	7,80	5,08	8,30
Desember	5,14	8,41	5,57	9,10
Rata-rata	5,59	9,14	5,71	9,34

Rata-rata *power density* pada tabel 3 berikut merupakan hasil perhitungan dengan menggunakan persamaan 2. Rata-rata *power density* di perairan Indonesia pada ketinggian 120 m sebesar 955,64 W/m². Rata-rata *power density* pada musim hujan (Oktober hingga Maret) sebesar 723,96 W/m², sedangkan pada musim kemarau (April hingga September) sebesar 1199,23 W/m². Tingginya rata-rata *power density* pada musim kemarau dipengaruhi oleh angin muson timur.

Tabel 3. Rata-rata *power density* per bulan dalam W/m²

Bulan	Tahun 2017		Tahun 2018	
	Ketinggian 10 m	Ketinggian 120 m	Ketinggian 10 m	Ketinggian 120 m
Januari	212,87	930,74	221,80	969,75
Februari	203,82	891,17	165,60	721,39
Maret	136,28	595,84	146,49	640,51
April	125,41	548,32	139,38	609,46
Mei	233,01	1.018,77	238,46	1.042,64
Juni	265,47	1.160,69	272,57	1.191,75
Juli	326,68	1.428,31	362,68	1.585,74
Agustus	319,27	1.395,96	346,62	1.515,58
September	252,74	1.105,05	285,94	1.250,21
Oktober	174,13	761,37	176,28	770,76
November	126,82	554,53	152,98	668,87
Desember	159,24	696,24	201,67	881,78
Rata-rata	211,31	923,91	225,87	987,37



Gambar 2. Peta rata-rata kecepatan bayu per tahun pada ketinggian 120 m

4.2 Turbin dan Energi

Berdasarkan persamaan 3, maka dapat dihitung jumlah turbin yang dapat diletakkan di ZEE Indonesia. Untuk diameter rotor maka digunakan turbin *Suzlon S111*. *Suzlon S111* memiliki rotor berdiameter 111,8 m, dengan tinggi 120 m untuk tower hybrid [17]. Untuk *downwind spacing factor* 10 dan *crosswind spacing factor* adalah 5 [18].

$$\text{Jarak turbin} = (\text{diameter rotor})^2 \times (\text{downwind spacing factor}) \\ \times (\text{crosswind spacing factor})$$

$$\text{Jarak turbin} = (111,8 \text{ m})^2 \times 10 \times 5 = 624.962 \text{ m}^2$$

Total area yang digunakan adalah total area ZEE Indonesia. Berdasarkan data dari Deputi Bidang Koordinasi Sumber Daya Maritim Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman dan Investasi total area ZEE Indonesia adalah 3,0 juta km². Maka dengan menggunakan persamaan 4, didapat jumlah turbin yang dapat dibangun. Total area ini tidak menghitung area-area yang tidak dapat dibangun turbin seperti jalur perlintasan kapal, pelabuhan, area penangkapan ikan dan area lainnya.

$$\text{Jumlah turbin} = \frac{\text{Total area tersedia}}{\text{Jarak turbin}} = \frac{3 \cdot 10^{12} \text{ m}^2}{624.962 \text{ m}^2} \\ = 4.800.292 \text{ unit}$$

Suzlon S111 memiliki *rate power* 2.100 kW [17]. Maka daya maksimum yang dapat dihasilkan dari seluruh turbin adalah sebesar 10.080 GW.

5. KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisa kecepatan bayu, menyajikan peta sebaran bayu serta perkiraan potensi pembangkit listrik tenaga bayu di perairan Indonesia. Kecepatan bayu yang dihitung pada penelitian ini adalah kecepatan pada ketinggian 120 m pada rentang waktu 01 Januari 2017 sampai dengan 31 Desember 2018. Kecepatan bayu rata-rata pada ketinggian tersebut adalah 9,24 m/s, sedangkan rata-rata *power density* sebesar 955,64 W/m². Kecepatan bayu yang paling tinggi tercatat di Samudera Hindia dan Laut Arafura. Jumlah turbin yang dapat dibangun di wilayah ZEE Indonesia adalah sebanyak 4.800.292 unit dengan jumlah tersebut maka dapat menghasilkan energi listrik sebesar 10.080 GW.

5. SARAN

Pengukuran kecepatan angin berbasis data satelit ini dapat ditingkatkan dengan hanya mengambil data dari wilayah ZEE saja. Namun, pengambilan data dalam wilayah ZEE Indonesia harus dilakukan dengan data dalam polygon ZEE. Pemotongan data dalam polygon membutuhkan sumberdaya hardware pengolah yang tinggi, sehingga dapat menghemat waktu. Dengan menggunakan hardware yang sedang, diperkirakan butuh waktu antara satu hingga dua bulan tanpa shutdown.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi, Riset, dan Teknologi Kementerian Pendidikan Kebudayaan, Riset, dan Teknologi yang telah mendanai kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. Zou, Q. Zhao, G. Zhang, and B. Xiong, "Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era," *Nat. Gas Ind. B*, vol. 3, no. 1, pp. 1–11, Jan. 2016, doi: 10.1016/j.ngib.2016.02.001.
- [2] R. Azmi and H. Amir, "Ketahanan Energi: Konsep, Kebijakan dan Tantangan bagi Indonesia Arah Kebijakan Energi Nasional," *Bul. Info Risiko Fiskal*, vol. I, 2014, [Online]. Available: https://www.kemenkeu.go.id/sites/default/files/energy_security.pdf.
- [3] E. Prasodjo et al., "Indonesia Energy Outlook 2016." Secretariat General National Energy Council, Jakarta, 2016.
- [4] H. P. Dida, S. Suparman, and D. Widhiyanuriyawan, "Pemetaan Potensi Energi Angin di Perairan Indonesia Berdasarkan Data Satelit *Quikscat* dan *WindSat*," *J. Rekayasa Mesin*, vol. 7, no. 2, pp. 95–101, Aug. 2016, doi: 10.21776/ub.jrm.2016.007.02.7.
- [5] G. Nagababu, R. R. Simha, N. K. Naidu, S. S. Kachhwaha, and V. Savsani, "Application of OSCAT Satellite Data for Offshore Wind Power Potential Assessment of India," *Energy Procedia*, vol. 90, no. December 2015, pp. 89–98, Dec. 2016, doi: 10.1016/j.egypro.2016.11.173.
- [6] F. Pimenta, W. Kempton, and R. Garvine, "Combining meteorological stations and satellite data to evaluate the offshore wind power resource of Southeastern Brazil," *Renew. Energy*, vol. 33, no. 11, pp. 2375–2387, Nov. 2008, doi: 10.1016/j.renene.2008.01.012.
- [7] A. A. Ahmad Zaman, F. E. Hashim, and O. Yaakob, "Satellite-Based Offshore Wind Energy Resource Mapping in Malaysia," *J. Mar. Sci. Appl.*, vol. 18, no. 1, pp. 114–121, Mar. 2019, doi: 10.1007/s11804-019-00066-w.
- [8] G. Nagababu, D. Bavishi, S. S. Kachhwaha, and V. Savsani, "Evaluation of Wind Resource in Selected Locations in Gujarat," *Energy Procedia*, vol. 79, pp. 212–219, Nov. 2015, doi: 10.1016/j.egypro.2015.11.467.
- [9] European Environment Agency, "Europe's onshore and offshore wind energy potential - An assessment of environmental and economic constraints," 2009. doi: <https://doi.org/10.2800/11373>.
- [10] C. B. Hasager, "Offshore winds mapped from satellite remote sensing," *WIREs Energy Environ.*, vol. 3, no. 6, pp. 594–603, Nov. 2014, doi: 10.1002/wene.123.
- [11] J. Norgard, "The Electromagnetic Spectrum," in *National Association of Broadcasters Engineering Handbook*, 10th ed., Elsevier Inc., 2007.
- [12] Ocean and Sea Ice SAF, "ASCAT L2 winds Data Record Product User Manual," no. July, 2016, doi: 10.15770/EUM.
- [13] PO.DAAC, "High-Level Tool for Interactive Data Extraction (HiTIDE V 4.8.0)," PO.DAAC, Jet Propulsion Laboratory, Pasadena, California, USA. Subset obtained for PODAAC-ASOP2-25X01 product for region: 92.051, -13.943, 141.4, 7.784 time period: 2017/01/01 to 2018/12/31., 2019. <https://podaac-tools.jpl.nasa.gov/hitide> (accessed Sep. 10, 2021).
- [14] Flanders Marine Institute, "Maritime Boundaries Geodatabase: Maritime Boundaries and Exclusive Economic Zones (200NM), version 11," [marineregions.org](http://www.marineregions.org), 2019. <http://www.marineregions.org/>.

- [15] T. Treves, "United Nations Convention On The Law Of The Sea," United Nations Audiov. Libr. Int. Law, 2008, [Online]. Available: <http://legal.un.org/avl/ha/uncls/uncls.html>.
 - [16] M. H. Zhang, Wind Resource Assesment and Micro-Sitting, 1st ed. Wiley, 2015.
 - [17] Suzlon Energy Limited, "2.1 Mw Platform S97-S111," 2016. [Online]. Available: http://www.suzlon.com/pdf/media_kit/S97-S111_ProductBrochure.pdf.
 - [18] B. Sheridan, S. D. Baker, N. S. Pearre, J. Firestone, and W. Kempton, "Calculating the offshore wind power resource: Robust assessment methods applied to the U.S. Atlantic Coast," *Renew. Energy*, vol. 43, pp. 224–233, Jul. 2012, doi: 10.1016/j.renene.2011.11.029.
-