

Jurnal Artikel

**STUDI KELAYAKAN DAN DESAIN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN SUMBU VERTIKAL DI PANTAI MARUNDA JAKARTA UTARA**

Arnold<sup>1\*</sup>, Andi Saidah<sup>2\*</sup>

<sup>1,2</sup> Program Studi Teknik Mesin, Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta  
<sup>1</sup>arnolsiregar13@gmail.com, <sup>2</sup>andisaidah19@gmail.com

**Abstrak**

Tenaga angin PTB merupakan sumber energi bersih dan terbarukan yang mempunyai nilai potensial besar bagi industri ketenagalistrikan dalam konteks masyarakat rendah karbon. Perkembangan pesat energi angin PLTB bergantung pada pemahaman yang baik tentang permasalahan teknis terkait turbin angin PLTB, yang mendorong program penelitian dan pengembangan yang sedang berlangsung. Fondasi turbin angin PLTB menghadirkan salah satu tantangan utama dalam desain turbin angin PLTB. Makalah ini mengkaji pengetahuan terkini mengenai isu-isu geoteknik dan struktural yang mempengaruhi jenis pondasi yang sedang dipertimbangkan untuk struktur pendukung turbin angin PLTB, dan memberikan rekomendasi ulang untuk penelitian dan pengembangan di masa depan. Penelitian dilakukan di Jakarta Utara Marunda dengan hasil 4 m/s dan desain turbin angin Savonius

**Kata kunci:** Turbin angin, Savonius, PLTB, Desain

**Abstract**

PTB wind power is a clean and renewable energy source that has great potential value for the electricity industry in the context of a low-carbon society. The rapid development of PLTB wind energy depends on a good understanding of the technical issues related to PLTB wind turbines, which drives ongoing research and development programs. The foundation of a PLTB wind turbine presents one of the main challenges in the design of a PLTB wind turbine. This paper reviews current knowledge regarding the geotechnical and structural issues that influence the types of foundations being considered for geothermal power plant support structures, and provides recommendations for future research and development. The research was carried out in North Jakarta, Marunda, with results of 4 m/s and a Savonius wind turbine design

**Keywords :** Wind turbine, Savonius, PLTB, Design

## I. PENDAHULUAN

### 1. Energi Baru dan Terbarukan

Energi terbarukan menjadi semakin penting dalam beberapa dekade terakhir sebagai sarana untuk mencapai target internasional dalam mengurangi emisi gas

rumah kaca sekaligus menjamin keamanan energi. Dari berbagai sumber energi bersih dan terbarukan, energi angin terbukti sangat menarik. Pada akhir tahun 2012, negara-negara maju, Tiongkok, dan India menghasilkan lebih dari 95%

kapasitas terpasang global, dan lebih dari 60% kapasitas tenaga angin global berlokasi di Indonesia. Diperkirakan lebih dari 20% kebutuhan listrik dunia akan dipenuhi oleh energi angin pada tahun 2050 [1].

Produksi di darat dan PLTB menghadirkan dua alternatif berbeda untuk energi angin. Energi angin darat telah dimanfaatkan selama lebih dari 2000 tahun dan telah mengalami revolusi teknologi yang sangat sukses dalam beberapa tahun terakhir [2]. Diagram batang pada Gambar 1 mengilustrasikan status terkini dan prakiraan instalasi energi angin darat dan PLTB di seluruh dunia selama dekade ini dari tahun 2011 hingga 2020. Walaupun agak tertinggal jauh dari angin darat, namun dapat dilihat bahwa angin PLTB produksi energi angin sudah mulai meningkat. Ladang angin PLTB secara bertahap mulai berkembang sebagai teknologi energi angin PLTB jatuh tempo. Pada tahun 2030, target pemerintah akan menginvestasikan hampir 20 miliar di pasar tenaga angin, dimana 60% ditujukan untuk pasar tenaga angin PLTB [4].

## 2. Pengembangan PLTB Energi Angin

Sementara itu, industri pembangkit listrik tenaga angin PLTB di kawasan Asia-Pasifik juga sedang berkembang

pesat. Berbeda dengan Eropa, pembangkit listrik tenaga angin PLTB di Tiongkok berlokasi dekat dengan daerah padat penduduk sedangkan pembangkit listrik tenaga angin di darat berlokasi jauh dari kota-kota utama. Sumber daya tenaga angin PLTB Tiongkok diperkirakan sekitar 200 GW, hampir 10 kali lipat dari kapasitas terpasang di darat, dan memiliki potensi yang sangat besar [3]. Ladang angin PLTB pertama di kawasan Asia-Pasifik terletak dekat Shanghai, dan memiliki kapasitas pembangkitan terpasang sebesar 102 MW. Pembangkit listrik tenaga angin skala besar lainnya dengan kapasitas terpasang sekitar 1 GW direncanakan di Shanghai pada tahun 2020. Dari sudut pandang investasi per megawatt (MW), pembangkit listrik tenaga angin PLTB masih 50% lebih mahal dibandingkan pembangkit listrik tenaga angin darat. Biasanya, turbin angin PLTB 20% lebih mahal, dan menara serta pondasi 350% lebih mahal dibandingkan turbin serupa di darat [4]. Berdasarkan data statistik NREL untuk proyek pembangkit listrik tenaga angin PLTB tahun 2015, modal.

| Komoditas EBT | Total Potensi 2021 (GW) | Kapasitas Pembangkit Listrik (GW) | % Pemanfaatan |
|---------------|-------------------------|-----------------------------------|---------------|
| Samudera      | 17,9                    | -                                 | -             |
| Panas Bumi    | 23,9                    | 2,3                               | 9,6%          |
| Bioenergi     | 56,9                    | 2,3                               | 4,0%          |
| Bayu          | 154,9                   | 0,2                               | 0,1%          |
| Hidro         | 95,0                    | 6,6                               | 7,0%          |
| Surya         | 3.294,4                 | 0,2                               | 0,01%         |
| <b>Total</b>  | <b>3.643,0</b>          | <b>11,6</b>                       | <b>0,3%</b>   |

Tabel 1. Kapasitas EBT

Biaya yang paling mahal (36,2%). Turbin, dan perakitan serta pemasangannya menghabiskan sekitar 22,1% dan 11,1% dari total biaya [5]. Karena tingginya biaya substruktur dan fondasi platform terapung, terdapat perbedaan biaya keseluruhan yang besar antara proyek pembangkit listrik tenaga angin PLTB dengan dasar tetap dan proyek pembangkit listrik tenaga angin PLTB terapung.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Seiring dengan semakin pesatnya eksplorasi energi angin PLTB di perairan dan, baru-baru ini, di perairan yang lebih dalam, fondasi yang mendukung struktur turbin angin PLTB tetap dan terapung telah menjadi fokus perhatian industri pembangkit listrik tenaga angin PLTB, karena pentingnya hal tersebut dalam kaitannya dengan stabilitas energi angin PLTB. struktur turbin angin PLTB. Fondasi pembangkit listrik tenaga angin PLTB terkena kombinasi pembebanan

yang kompleks, termasuk gaya aksial dari struktur pendukung turbin dan beban siklik dari keadaan laut yang ekstrim. Fondasi tersebut harus dirancang untuk menahan sejumlah besar siklus beban angin dan hidrodinamik dengan berbagai arah, amplitudo, dan frekuensi yang terjadi selama umur desain tipikal proyek yaitu 25 tahun atau lebih [9].

Desain dan pemasangan pondasi menghadirkan masalah yang menantang bagi para insinyur, yang solusinya sangat penting untuk pengembangan industri pembangkit listrik tenaga angin PLTB.

Mengingat pertumbuhan industri pembangkit listrik tenaga angin PLTB yang sedang berlangsung dan pengembangan teknologi pondasi turbin angin PLTB yang relatif terbatas, makalah ini mengulas kemajuan terkini menuju analisis dan desain pondasi turbin angin PLTB yang akurat. Kami mengkaji penelitian yang ada mengenai masalah geoteknik dan struktural, dengan memberikan perhatian khusus pada pondasi monopile umum untuk struktur turbin angin PLTB tetap, dan pondasi bucket dan jangkar PLTB untuk struktur turbin angin PLTB terapung.

Rekomendasi ulang yang dihasilkan untuk penelitian dan pengembangan fondasi turbin angin PLTB di masa depan harus bermanfaat bagi industri pembangkit listrik tenaga angin PLTB [6].

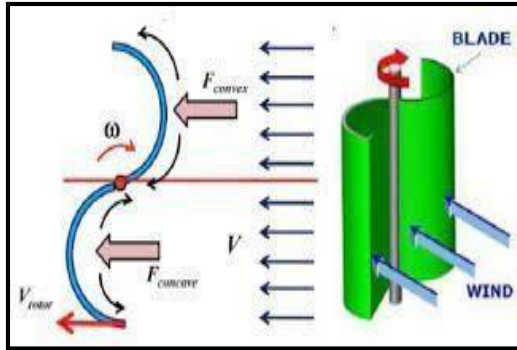
Mayoritas ladang angin PLTB terletak di landas kontinen, sekitar 10 km PLTB dengan kedalaman air sekitar 10 m. Produksi angin PLTB jauh lebih rumit dibandingkan produksi darat dalam hal desain sistem turbin angin dan konstruksi ladang angin [7]. Turbin angin PLTB harus ditempatkan di atas puncak gelombang tertinggi, dan mempunyai struktur pendukung kuat yang dihubungkan ke dasar laut melalui fondasi. Kabel bawah laut dan sistem transmisi listrik lainnya diperlukan untuk pekerjaan pemasangan dan pemeliharaan. Pilihan struktur pendukung yang umum diterapkan pada kedalaman air yang berbeda. Ini dapat mengakibatkan biaya yang jauh lebih tinggi untuk instalasi pembangkit listrik tenaga angin PLTB dibandingkan menara di darat. Diperkirakan bahwa biaya unit pembangkit listrik tenaga angin PLTB adalah dua atau tiga kali lipat biaya unit pembangkit listrik tenaga angin di darat tergantung pada lokasinya. Pemilihan lokasi untuk pembangkit listrik tenaga angin lepas pantai lebih fleksibel dalam hal keterbatasan ruang dibandingkan untuk pembangkit listrik tenaga angin di darat. Selain itu, instalasi pembangkit listrik tenaga angin PLTB biasanya berlokasi jauh dari daerah padat penduduk, sehingga mengurangi kebisingan dan dampak visual terhadap masyarakat.

Turbin angin PLTB terpasang yang ada sebagian besar terdiri dari turbin angin dengan pondasi tetap, seperti

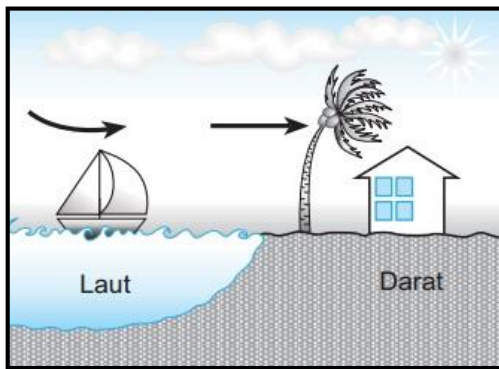
pondasi dasar gravitasi, monopile, tripod dan jaket, yang dipasang pada kedalaman air kurang dari 50 m. Untuk kedalaman air lebih dari 50 m, sumber daya angin sangat besar namun turbin angin PLTB yang dipasang di dasar laut tidak lagi menjadi pilihan ekonomis untuk eksploitasi sumber daya. Banyak negara pesisir seperti Jepang, Amerika Serikat dan negara-negara Eropa Barat dengan pesisir Atlantik memiliki wilayah perairan pantai yang terbatas dengan kedalaman air di bawah 50 m . Akibatnya, turbin angin PLTB terapung telah menarik banyak minat dalam 10 tahun terakhir. Gambar 2 menggambarkan contoh struktur pendukung tipikal untuk turbin angin PLTB yang digunakan pada kedalaman air berbeda.

Perkembangan teknologi turbin angin terapung ternyata memerlukan penelitian lebih lanjut sebelum diterapkan secara luas. Tidak jelasnya kedalaman air dimana pondasi monopile menjadi tidak ekonomis. Pemantauan struktur terpasang menunjukkan bahwa pondasi sebenarnya menawarkan kekakuan yang lebih besar dari yang diperkirakan oleh metode desain yang ada metode desain yang lebih akurat diperlukan untuk mengurangi berat dan memerlukan pemasangan pondasi monopile. Untuk dasar laut dengan stratigrafi tanah liat,

pasir, atau kapur, monopiles dapat dipasang menggunakan palu tumbukan atau penggerak getar [8].



Gambar 1. Desain turbin



Gambar 2. Angin laut

Angin laut adalah angin yang berpindah dari lautan ke daratan karena perubahan tekanan udara dan suhu air yang sering berubah (pada Bachtiar dan Hayyatul 2018). Proses terjadinya angin laut digambarkan pada Gambar di bawah ini.

PLTB Turbin angin dapat mengubah energi angin ke pemecahan gaya kinetik. Inovasi turbin angin sebelumnya dibuat untuk membuat hidup para petani lebih mudah saat mereka mengolah padi, membutuhkan aliran air ke sungai, dan hal lainnya. Denmark, Belanda, dan negara-

negara Eropa lainnya adalah tempat turbin angin pertama kali dibuat. Saat ini, turbin angin telah banyak dibuat dari berbagai negara dengan berbagai bentuk dan material yang dibutuhkan. Turbin angin sumbu vertikal dan horizontal adalah dua jenis turbin angin yang berbeda Gambar 2.9 menunjukkan prinsip teori turbin angin, yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu turbin angin sumbu vertikal tipe savonius.

Akhir-akhir ini banyak perhatian diberikan pada energi terbarukan sebagai sumber bahan bakar potensial. Meningkatnya harga minyak dan logistik dalam memasok bahan bakar fosil ke wilayah terpencil merupakan pendorong utama Energi Terbarukan serta insentif lingkungan. Di lokasi terpencil, sistem energi terbarukan yang berdiri sendiri bisa lebih hemat biaya dibandingkan memperluas jaringan listrik ke jaringan listrik. Selain itu, manfaat lingkungan hidup akibat keprihatinan internasional terhadap pemanasan global menjadikan proyek semacam ini jauh lebih berharga dan bermanfaat. Tipe turbin Savonius juga menyita dalam perancangan dan banyak diteliti karena desain yang simple dan mudah. Dalam perancangfan PLTB perencanaan yang pertama pada penentuan daya angin yang diharpkan

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot a \text{ udara} \cdot A \text{ swept} \cdot v^3$$

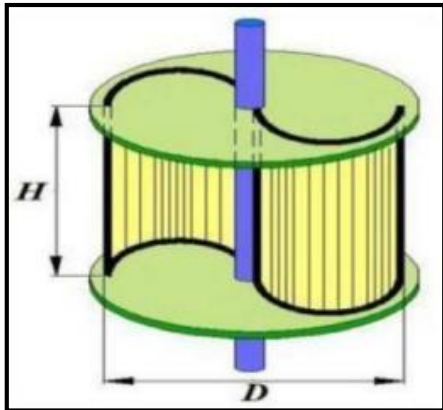
Dimana :

$P_w$  = Daya angin (Watt)

$\rho$  = Densitas Udara ( $\text{kg/m}^3$ )

$A$  = Luas Penampang Turbin ( $\text{m}^2$ )

$v$  = Kecepatan Angin ( $\text{m/s}$ )



Gambar 3. Rotor

Penempatan atau "penempatan" sistem angin sangatlah penting. Agar sistem turbin angin menjadi efektif, diperlukan aliran angin yang relative konsisten. Penghalang seperti pohon atau bukit dapat mengganggu kerja rotor. Oleh karena itu, rotor biasanya ditempatkan di Menara untuk memanfaatkan angin kencang yang tersedia di tempat yang lebih tinggi. Selain itu, kecepatan angin bervariasi menurut suhu, musim, dan waktu. Semua faktor ini harus dipertimbangkan ketika memilih lokasi untuk generator bertenaga angin.

$$C = \frac{\sqrt{8 \cdot D_2 \cdot L - 4 \cdot \pi \cdot D_2(D_2 - D_1) - (D_2 - D_1)^2}}{8}$$

Turbin angin dapat mengubah energi angin menjadi gaya kinetik. Inovasi turbin angin sebelumnya dibuat untuk

membuat hidup para petani lebih mudah saat mereka mengolah padi, membutuhkan aliran air ke sungai, dan hal lainnya. Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya adalah tempat turbin angin pertama kali dibuat. yaitu turbin angin sumbu vertikal tipe savonius.

Teknis kecepatan pada torsi maksimum dan kecepatan pada daya maksimum berbeda. Strategi musiman yang dirancang dengan baik untuk mengoperasikan sistem tenaga angin adalah menyesuaikan beban generator listrik sehingga rotor bekerja pada kecepatan sedekat mungkin ke titik maksimumnya ( $P_{max}$ ). Jika titik  $P_{max}$  berubah sesuai dengan kecepatan angin, kecepatan rotor harus diatur sesuai dengan kecepatan angin sehingga rotor terus bekerja pada  $P_{max}$

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Untuk tempat dan lokasi di penelitian tentang besar potensi PLTB ini dilakukan di Pantai Marunda Jakarta Utara dengan cara mencari daerah yang diperkirakan mempunyai potensi angin

untuk dijadikan PLTB dengan mengukur kecepatan anginnya termasuk kondisi lingkungannya. Pengukuran ini memanfaatkan sistem anemometer untuk pengambilan data sampel harian selama 1 bulan, untuk data dalam setahun menggunakan data dari BMKG Stasiun Meterologi Maritim Tanjung Priok Jakarta Utara.



Gambar 4. Lokasi penelitian PLTB

### 3. Data Hasil Pengukuran Dengan

Pengambilan output data kecepatan angin dilakukan dengan menggunakan anemometer sebagai sampling untuk minimal kecepatan angin yang diperlukan

Tabel 2. Data klimatologi

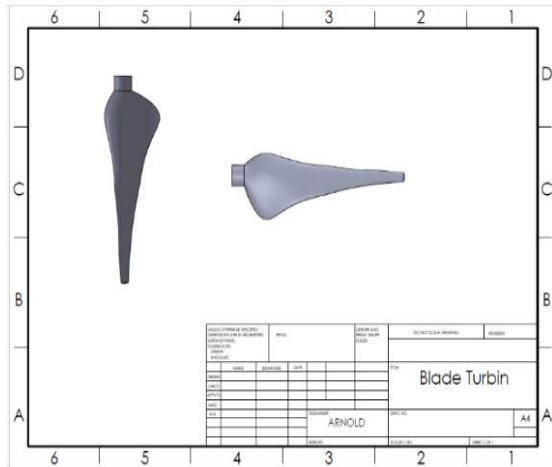
| Tanggal    | Kecepatan angin rata-rata (m/s) |
|------------|---------------------------------|
| 2023-11-01 | 5,2                             |
| 2023-11-02 | 5,8                             |
| 2023-11-03 | 5,1                             |
| 2023-11-04 | 6,3                             |
| 2023-11-05 | 5,5                             |
| 2023-11-06 | 6,2                             |

|            |      |
|------------|------|
| 2023-11-07 | 5,3  |
| 2023-11-08 | 5,6  |
| 2023-11-09 | 5,8  |
| 2023-11-10 | 5,0  |
| 2023-11-11 | 5,6  |
| 2023-11-12 | 5,5  |
| 2023-11-13 | 5,3  |
| 2023-11-14 | 6,8  |
| 2023-11-15 | 5,6  |
| 2023-11-16 | 8,1  |
| 2023-11-17 | 10,6 |
| 2023-11-18 | 9,9  |
| 2023-11-19 | 8,1  |
| 2023-11-20 | 7,8  |
| 2023-11-21 | 6,2  |
| 2023-11-22 | 5,9  |
| 2023-11-23 | 5,3  |
| 2023-11-24 | 5,6  |
| 2023-11-25 | 5,7  |
| 2023-11-26 | 5,9  |
| 2023-11-27 | 6,8  |
| 2023-11-28 | 6,1  |
| 2023-11-29 | 6,5  |
| 2023-11-30 | 7,8  |

Berdasarkan persamaan tersebut, kecepatan angin pada data klimatologi 2023, kincir angin dengan 3 sudu yang dengan nilai panjang masing-masingnya sebesar 23,5 meter (diameter sudu keseluruhan menjadi 47 meter) sehingga :

$$A = \frac{\pi}{4} x 47^2 = 1734 m^2$$





Gambar 5. Desain blade turbin

## V. KESIMPULAN

### 5.1 Kesimpulan

Dari kajian dan penelitian PLTB Marunda diatas tentang kecepatan angin dan hasil pengkajiannya kecepatan angin terhadap daya listrik maka dapat disimpulkan seperti berikut:

1. Kecepatan angin di Pantai Marunda Jakarta Utara mempunyai nilai rata-rata di atas mencapai 4 meter/detik sehingga memungkinkan dipasangnya Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (minimal kecepatan angin 3 m/s).
2. PLTB di Marunda yang akan dipasang mempunyai turbin angin dengan panjang sudu masing-masing sebesar 23,5 meter. dan jarak dari tanah ke pusat rotor (hub) dari turbin angin sebesar 50 meter dengan kecepatan angin rata-rata 7,9 m/s maka daya listrik yang dihasilkan mencapai 236,6 kW dan pada nilai kecepatan angin maksimum 15,0 m/s sehingga kapasitas

generator yang digunakan mencapai 750 kW.

### 5.2 Saran

Dalam perencanaan dan pemasangan ongrid PLTB di Marunda maka diperlukan saran seperti berikut perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk menentukan lokasi daerah angin lain yang memenuhi syarat untuk dijadikan PLTB di Jakarta Utara, terutama di pesisir pantai. Mengingat target pemerintah untuk Listrik untuk mencapai emisi net zero, PLTB ini dapat diprioritaskan untuk dibangun di Jakarta Utara dengan mempertimbangkan biaya

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Hardiyon, "Persebaran potensi Energi Angin di indonesia zonaebt.com," zonaebt.com Renewable
- [2] Balai Besar Survei Dan Pengujian ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, Dan Konservasi Energi. (n.d.). Retrieved February 24, 2023, from [https://p3tkebt.esdm.go.id/pilot-plan-project/energi\\_angin/potensi-energi-angin-indonesia-2020](https://p3tkebt.esdm.go.id/pilot-plan-project/energi_angin/potensi-energi-angin-indonesia-2020).
- [3] G. Rueter, "Seberapa Besar potensi Energi Angin di Masa Depan – DW – 14.12.2021.
- [4] Balai Besar Survei Dan Pengujian ketenagalistrikan, Energi Baru, Terbarukan, Dan Konservasi Energi.



(n.d.). Retrieved February 24, 2023, from [https://p3tkebt.esdm.go.id/pilot-plan-project/energi\\_angin/potensi-energi-angin-indonesia-2020](https://p3tkebt.esdm.go.id/pilot-plan-project/energi_angin/potensi-energi-angin-indonesia-2020).

[5] Wijianti, dkk 2019. “Turbin Angin Savonius Empat Sudu Dengan Variasi Model Profil Sebagai Media Belajar Mahasiswa. *Machine Jurnal Teknik Mesin* 5(2): 57–61.

[6] Hau, E., 2006, *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics*, 2nd Ed., Springer, Germany

[7] Manwell, J., et al. 2002, *Wind Energy Explained: Theory Design and Application*, John Wiley & Sons, Chichester, England.

[8] Satyajith, Mathew, 2005, *Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics*, Springer: Berlin Germany

[9] Sayoga, dkk, 2014, Pengaruh variasi jumlah blade terhadap performa aerodinamik pada rancangan kincir angin 300 watt, Universitas Mataram.

[10] Schlager, N., Weisblatt, J. 2006, *Alternative Energy*, vol. 3, Thomson Gale, Detroit.

[11] Ir Andi Saidah, M. T., & Muktar Sinaga, S. T. (2023). *Power Plant dan Aplikasinya*. CV. Bintang Semesta Media.