

Prediksi Produksi Energi Listrik Dan Perancangan Kincir Angin Tipe Horizontal Pada Gedung Bertingkat

Wahirom¹; Nofirman Firdaus²; Prayudi³

^{1,2,3} Fakultas Teknologi dan Bisnis Energi, Institut Teknologi PLN

¹ wahirom@gmail.com

ABSTRACT

In making a horizontal type wind turbine, of course, it is necessary to analyze it in depth, one of which is by predicting the production of wind energy produced by the wind turbine to estimate the wind power in the wind turbine which will later be applied. Wind energy sources that are commonly used are located in rural areas, fields and even there is such a large amount of energy that it is sometimes difficult to reach the power grid and other large areas including the roofs of high-rise buildings. There are many analytical models in wind energy estimation, one of which is often done by many researchers, namely by using the Weibull distribution method. From the measurement results that as many as 1516.37 kWh with a 1 kW wind turbine with a radius of 1 meter (capacity factor 30.09%). Modeling wind turbine blades with NACA 4412 using Qblade software to determine the torsional angle of the blade to be applied so that it is obtained that the torsion angle from the base and The tip of the blade has a tilt angle of 19.05° to 6.96° with a maximum Cp of 0.5 this is a pretty good value in designing wind turbine blades.

Keywords: high rise building, Weibull distribution, wind turbine blade

ABSTRAK

Dalam pembuatan kincir angin tipe horizontal tentu perlu dilakukan dianalisis dengan secara mendalam salah satunya dengan memprediksi produksi energi angin yang dihasilkan oleh kincir angin untuk memperkirakan daya angin pada kincir angin yang nanti akan diaplikasikan. Sumber energi angin yang biasa di manfaatkan yaitu seperti berlokasi di pedesaan, ladang dan bahkan terdapat energi yang begitu besar yang kadang sulit untuk di jangkau oleh jaringan listrik serta area luas lainnya termasuk di atap gedung bertingkat. Banyak model analisa dalam perkiraan energi angin salah satunya yang sering dilakukan oleh banyak peneliti yaitu dengan menggunakan metode Distribusi Weibull. Dari hasil pengukuran bahwa sebanyak 1516.37 kWh dengan kincir angin 1 kW berjari-jari 1 meter (faktor kapasitas 30.09%). pemodelan bilah kincir angin dengan NACA 4412 menggunakan software Qblade untuk menentukan sudut puntir dari bilah yang akan diaplikasikan sehingga didapat bahwa sudut puntir dari pangkal dan bagian ujung (tip) bilah memiliki sudut kemiringan 19.05° sampai 6.96° dengan Cp maksimum bernilai 0.5 ini merupakan nilai yang cukup bagus dalam pendesainan bilah kincir angin.

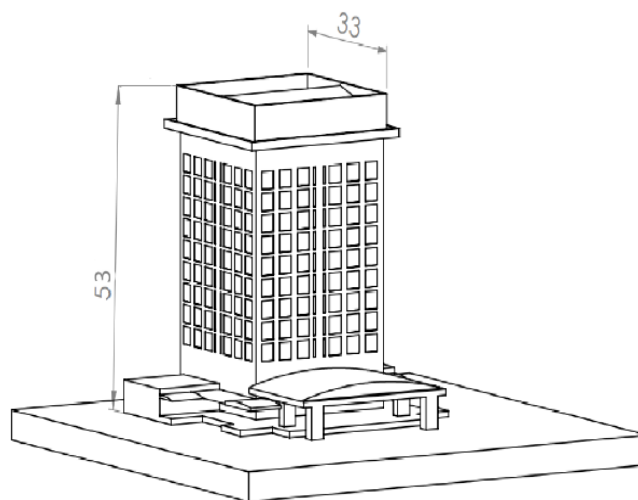
Kata kunci: gedung bertingkat, Distribusi Weibull, bilah kincir angin

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan kapasitas energi terbarukan global sebesar 171 gigawatt (GW) selama satu dekade berlanjut pada 2018 (IRENA). Di mana peningkatan 84 persen pertumbuhan energi terbarukan, 7.9 persen tahunannya dari energi matahari dan angin dan sekarang sepertiga kapasitas energi global. [1] Energi angin merupakan salah satu teknologi EBT terbesar nomor 3 peningkatannya melompat dari 7,5 GW pada tahun 1997 menjadi sekitar 564 GW pada tahun 2018 (IRENA). Energi angin menyumbang 16% dari listrik yang dihasilkan oleh energi terbarukan. [2]

Kemudian pemerintah telah menetapkan target bauran EBT sebesar 23% pada tahun 2025 namun, hingga tahun 2020 jumlah EBT pada bauran energi nasional telah mencapai 14.69% dengan total kapasitas pembangkit sebesar 71 GW lebih kecil dari pada energi fosil (batu bara, gas, minyak bumi). [3] Pemerintah terus mengupayakan untuk beralih dari energi konvensional ke energi terbarukan dikarenakan Indonesia memiliki potensi energi terbarukan yaitu sekitar 417.8 GW. [4] Untuk energi terbarukan sendiri, pemanfaatan energi angin sekitar 0.22%, sangat rendah dibandingkan energi terbarukan lainya seperti dari Hidro dan panas bumi. Sedangkan potensi energi angin di Indonesia adalah 60,6 GW sedangkan target kapasitas PLTB pada tahun 2025 yakni 255 MW. Sementara hingga tahun 2020 PLTB baru terpasang sekitar 135 MW di mana 75 MW di daerah Sidrap dan sebesar 60 MW di daerah Janeponto. [5] Untuk itu perlu dilakukan riset mengenai potensi energi angin dan pengaplikasiannya.

Penelitian yang pernah dilakukan untuk menghitung potensi energi angin pada gedung bertingkat yaitu yang pernah dilakukan Danardono di gedung dengan ketinggian 50 meter selama 5 tahun (Januari 2011 sampai Desember 2015) di Surakarta diperoleh kecepatan angin rata 4-5 m/s potensi produksi listrik 1.221,4 kWh/m²/tahun. [6] Kemudian penelitian kedua di kampus utama dengan ketinggian gedung Bina Nusantara Alam Sutera 98 meter selama delapan bulan pengukuran dan didapat kecepatan angin rata-rata 5,2 m/s dengan potensi energi angin 100.000 kWh / tahun di atap dengan luas permukaan 796,25 m². [7] Potensi energi angin dari kedua penelitian ini dianalisis menggunakan distribusi Weibull. [8]



Gambar 1. gedung utama IT PLN

Banyak di belahan bumi bagian tertentu memiliki kecepatan angin yang kuat, tetapi lokasi terbaik kadang yang terpencil seperti di area lepas pantai pedesaan, ladang dan area luas lainnya termasuk di atap gedung bertingkat. [9] Riset mengenai potensi energi di Indonesia sangat terbatas,

terutama potensi angin di gedung bertingkat. Pada penelitian kali ini dilakukan pengukuran potensi angin selama tujuh bulan (Juni-Desember pada tahun 2016) di atap gedung Institut Teknologi PLN (IT-PLN) yang berlokasi di ibu kota Jakarta, Indonesia. Gedung utama IT PLN memiliki ketinggian 53,5 m (12 lantai) dengan permukaan atap berbentuk persegi empat dengan panjang 33 m. Dari referensi kedua penelitian di atas untuk itu perlu dilakukan studi potensi energi angin di Kampus IT-PLN, mengingat potensi energi angin bersifat site-specific. Disisi lain studi perancangan kincir angin di Indonesia tidak berdasarkan kondisi angin setempat. Untuk itu Tujuan dari penelitian adalah mendesain kincir angin berdasarkan kondisi dan karakteristik angin di Gedung IT-PLN.

2. METODE/PERANCANGAN PENELITIAN

2.1. Perkiraan Produksi Energi Listrik kincir angin

Dalam pengukuran angin menurut standar SNI minimum adalah 1 tahun pengukuran [10] akan tetapi penelitian ini pengukuran hanya dilakukan selama 7 bulan per 12 menit di gedung utama IT PLN menggunakan sensor anemometer yang berada di atap gedung untuk mengetahui kecepatan angin supaya dapat mengetahui produksi energi listrik dan perancangan kincir angin yang akan di bangun maka dari itu untuk menentukan kecepatan angin rata-rata dengan menggunakan rumus. [11]

$$Vm = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n vi^3 \right]^{\frac{1}{3}} \quad (1)$$

selanjutnya mencari frekuensi data angin seperti pada tabel (1). Kemudian langkah selanjutnya mencari standar deviasi dari data angin tersebut.

$$\sigma V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (vi - vm)^2}{\sum_{i=1}^n fi}} \quad (2)$$

untuk mencarinya vm dapat kita cari menggunakan persamaan seperti di bawah ini.

$$vm = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (vi - vm)^2}{\sum_{i=1}^n fi} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (3)$$

Setelah diketahui nilai dari standar deviasi selanjutnya kita akan mencari distribusi Weibull yaitu *probability density function* (fV) dan *cumulative distribution function* (FV) untuk mengetahuinya probabilitas dari data angin. [12] [13]

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c} \right)^{k-1} \exp \left\{ - \left(\frac{v}{c} \right)^k \right\} \quad (4)$$

$$F(V) = \exp \left\{ - \left(\frac{v}{c} \right)^k \right\} \quad (5)$$

Sebelum itu kita harus mencari nilai faktor bentuk (k) dan nilai faktor skala (c) menggunakan metode standar deviasi. [14] [15]

$$k = \left(\frac{\sigma V}{v} \right)^{-1.086} \quad (6)$$

$$c = \frac{vm}{\Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right)} \quad (7)$$

Untuk hasil yang lebih akurat nilai faktor skala dapat menggunakan rumus. [6] [16]

$$C = \frac{Vm k^{2.6674}}{0.184+0.816 k^{2.73855}} \tag{8}$$

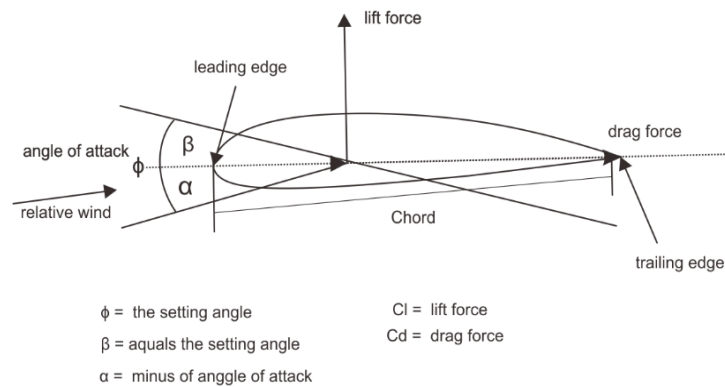
2.2. Perancangan bilah kincir angin

Setelah didapat perkiraan produksi energi listrik kincir angin selanjutnya yaitu penentuan jari-jari dari kincir angin yang sesuai untuk di bangun di atap gedung, untuk mencari jari-jari kincir angin dengan menurunkan rumus daya kincir sehingga didapat. [17]

$$R = \left[\frac{2EA}{\eta s \rho a \pi Vm^3 t} \right]^{\frac{1}{2}} \tag{9}$$

Kemudian untuk menentukan TSR (*tip speed ratio*) parsial dari setiap elemen *airfoil* bilah dapat menggunakan rumus di bawah ini.

$$\lambda_r = \frac{r}{R} \times \lambda \tag{10}$$



Gambar 2. bagian airfoil bilah

Gambar dua adalah diagram benda bebas dari bilah turbin angin. Kinerja turbin angin sangat dipengaruhi oleh angle of attack dari sudu turbin tersebut. Cara untuk menentukan angle of attack yang optimum adalah sebagai berikut menentukan nilai α (alfa) dan juga phi (φ) dengan menggunakan software Qblade (*open source*). Pertama untuk mengetahui nilai dai α (alfa) yang akan digunakan menentukan koefisien angkat (Cl) kita dapat menggunakan rumus di bawah ini. [18] [19]

$$Cl = \frac{16\pi R \frac{R}{r}}{9\lambda^2 B Cr} \tag{11}$$

Untuk mencari dari phi (φ) dengan acuan rumus sebagai berikut. [20]

$$\phi = \frac{3}{2} \tan^{-1} \frac{1}{\lambda r} \tag{12}$$

Dan terakhir mencari sudut puntir atau beta (β) dapat di analisa menggunakan rumus. [21]

$$\beta = \phi - \alpha \tag{13}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

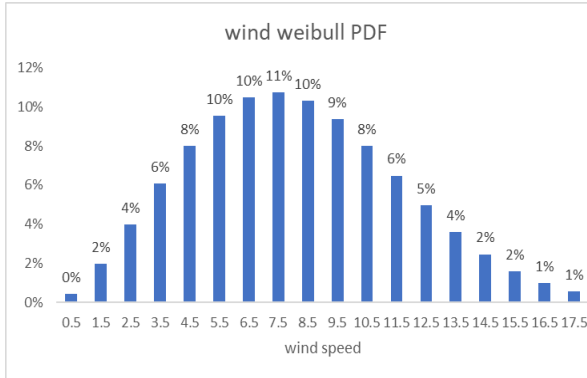
3.1. Prediksi produksi energi listrik kincir angin

Kecepatan angin diurutkan berdasarkan nilai dari data perekaman sensor anemometer selama 7 bulan didapat 18749 data perdua belas menit kemudian untuk mencari dari distribusi frekuensi data kecepatan angin seperti pada tabel 1. dengan persamaan (1) didapat kecepatan angin rata-ratanya adalah 8.31 m/s.

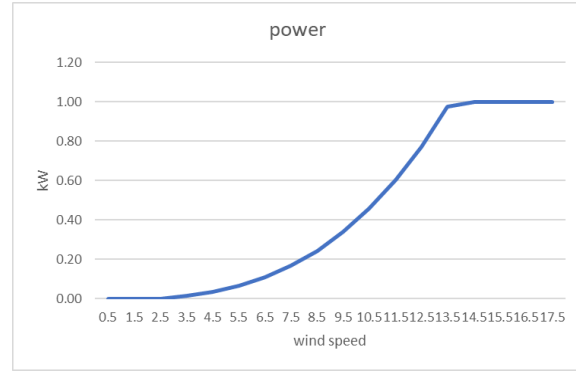
Kemudian menentukan nilai faktor bentuk dan nilai faktor skala dengan menggunakan metode deviasi standar dari persamaan (6) dan (8) didapat bahwa nilai faktor bentuk dan nilai faktor skala berturut-turut adalah 2.4253 dan 9.1820. Kecepatan angin (m/s) dan lamanya hembusan angin jam/tahun ditampilkan dalam grafik histogram dapat direpresentasikan sebagai fungsi *cumulative distribution function* (PDF) lihat pada gambar 3. [22]

Tabel 1. perkiraan produksi energi listrik

Prediksi produksi energi kincir angin HAWT 1 kW jari-jari 1 meter							
V (m/s)		vi mid (m/s)	Frekuensi	weibull PDF	weibull CDF	jam (h)	Power kWh
0	1	0.5	1%	0%	0%	21.006	0.00
1	2	1.5	3%	2%	1%	99.403	0.00
2	3	2.5	10%	4%	4%	199.734	0.00
3	4	3.5	11%	6%	9%	305.753	5.19
4	5	4.5	12%	8%	16%	403.444	14.55
5	6	5.5	8%	10%	25%	480.521	31.65
6	7	6.5	9%	10%	35%	527.867	57.38
7	8	7.5	13%	11%	46%	540.932	90.33
8	9	8.5	6%	10%	56%	520.386	126.50
9	10	9.5	10%	9%	66%	471.689	160.08
10	11	10.5	7%	8%	75%	403.669	184.98
11	12	11.5	6%	6%	82%	326.519	196.57
12	13	12.5	2%	5%	88%	249.747	193.09
13	14	13.5	1%	4%	92%	180.641	175.93
14	15	14.5	1%	2%	95%	123.524	123.52
15	16	15.5	1%	2%	97%	79.820	79.82
16	17	16.5	1%	1%	98%	48.713	48.71
17	18	17.5	0%	1%	99%	28.058	28.06
Jumlah produksi energi listrik selama 7 bulan							1516.37
Faktor kapasitas							30.09%



Gambar 3. distribusi Weibull



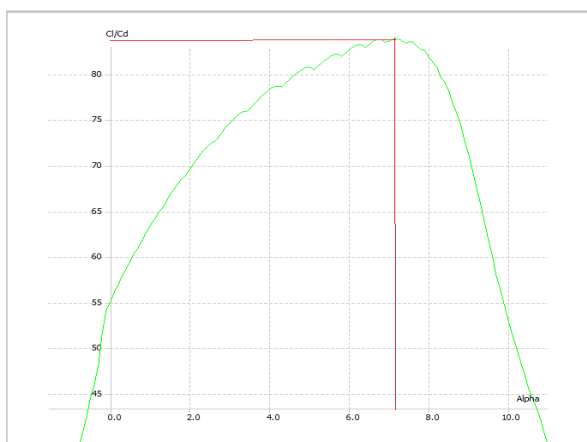
Gambar 4. daya kincir angin

Dari Tabel 1. terlihat bahwa 94% potensi energi angin berasal dari kecepatan 1 m/s sampai dengan 12 m/s. Sedangkan kecepatan di atas 12 m/s hanya berkontribusi 6% terhadap produksi energi angin. Untuk itu maka desain turbin akan difokuskan untuk mengoptimalkan performa turbin pada rentang kecepatan 1 m/s sampai 12 m/s. Dengan kata lain, turbin angin yang didesain khusus untuk kecepatan rendah. Kurva daya turbin bisa dilihat pada gambar 4. Karena rentang kecepatan optimal adalah antara 1 sampai 12 m/s, maka turbin angin didesain memiliki daya konstan mulai dari kecepatan 12 m/s. Hal ini akan mengurangi ukuran turbin dan biaya fabrikasi.

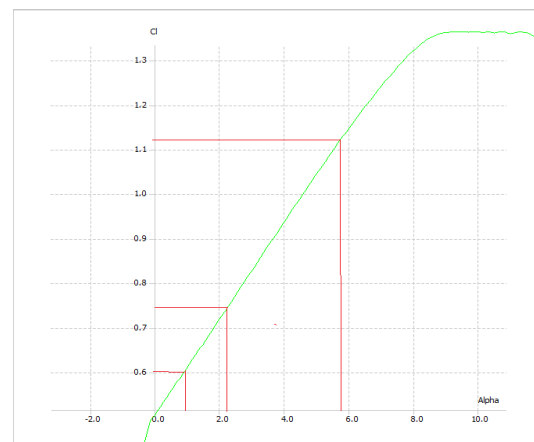
3.1. Perancangan bilah

Dalam perancangan bilah kincir angin, hal pertama yang harus dilakukan menentukan jari-jari kincir dengan menggunakan rumus (9) dan harus mengikuti atau mendekati standar SNI perancangan kincir angin [23] kemudian *airfoil* yang digunakan pada perancangan bilah kali ini dengan kode di NACA 4412. [24] Setelah itu penentuan nilai TSR parsial dari setiap elemen dari panjang elemen bilah dengan menggunakan persamaan (10).

Gambar 5 menjelaskan penentuan koefisien *lift* dan koefisien *drag* tertinggi dari bilah. Sedangkan gambar 6 menjelaskan cara menentukan nilai alfa (α) berdasarkan hubungan dengan koefisien lift. Dari Gambar 5 dan 6 ini, kita bisa menentukan nilai angle of attack yang optimal. Untuk mencari nilai dari phi (ϕ) dan beta (β) berturut-turut dapat dicari dengan menggunakan rumus (12) (13) seperti pada tabel (2). Didapat bahwa sudut puntir dari pangkal dan bagian ujung (*tip*) bilah memiliki sudut kemiringan 19.05° sampai 6.96°



Gambar 5. penentuan Cl/Cd-alfa

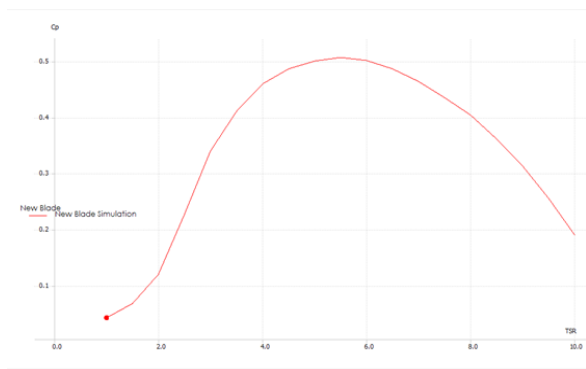


Gambar 6. penentuan Cl-alfa

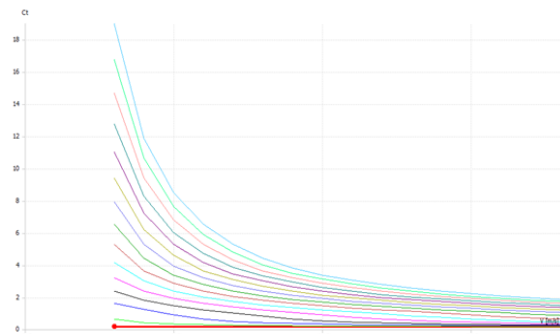
Tabel 2. analisa perancangan bilah

Elemen	Jari-jari Parsial	TRS parsial	Cl	α	ϕ	β
0	0.150	0.75	2.20	9.0	28.05	19.05
1	0.271	1.36	1.22	6.4	18.08	11.68
2	0.393	1.96	0.84	2.5	13.12	10.62
3	0.514	2.57	0.64	0.9	10.24	9.34
4	0.636	3.18	0.52	-0.1	8.38	8.48
5	0.757	3.79	0.44	-0.6	7.09	7.69
6	0.879	4.39	0.38	-1.2	6.14	7.34
7	1.000	5.00	0.33	-1.6	5.41	6.96

Hubungan antara daya dan tip speed ratio (TSR) ditunjukkan oleh Gambar 7. Dan gambar 8 menunjukkan hubungan antara C_t dan V . Di mana kecepatan angin minimal untuk menggerakkan kincir angin 3 m/s dan didapat C_t sebesar 0.155

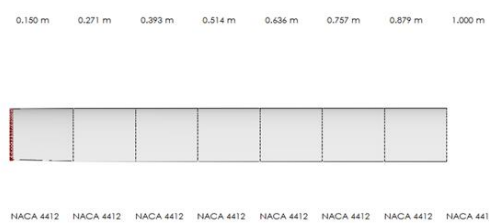


Gambar 7. grafik C_p -TSR

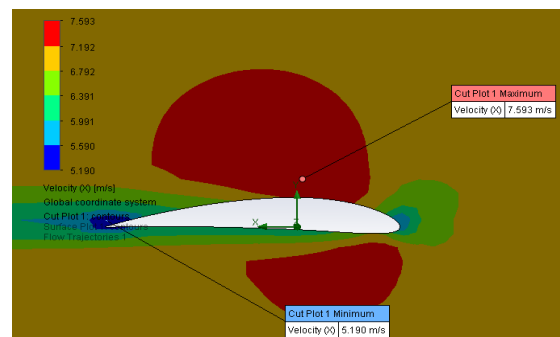


Gambar 8. grafik T-V

Gambar (9) menjelaskan bilah kincir angin dibagi 7 elemen berjarak 0.121 meter dengan panjang pangkal bilah (elemen 0) sepanjang 0.15 meter. Panjang pangkal dapat ditentukan berdasarkan dari kebutuhan desain rotor untuk meletakkan bilah dengan *Hub* rotor. Sedangkan gambar (10) menunjukkan distribusi kecepatan angin yang mengenai permukaan luar bilah. [25]



Gambar 9. desain bilah



Gambar 10. simulasi CFD bilah

4. KESIMPULAN DAN SARAN

4.1. Kesimpulan

Dengan memperkirakan karakteristik angin mempermudah mendesain kincir angin berdasarkan kondisi dan karakteristik angin di Gedung IT-PLN dapat mudah dilaksanakan, karena dengan memperkirakan energi listrik harian atau dalam jangka waktu tertentu. Banyaknya gedung bertingkat di Indonesia terkhususnya di Jakarta tertentu menjadi salah satu potensi angin yang cukup tinggi karena memiliki kelebihan yaitu kecepatan angin yang cukup tinggi dari pada di atas permukaan tanah, sedikitnya penghalang angin sehingga turbulensi angin menjadi kecil serta mengoptimalkan pemakaian lahan kosong seperti di atap gedung bertingkat.

Dengan memperkirakan produksi energi listrik dari pembangkit listrik tenaga angin seperti pada penelitian kali ini di atap kampus IT PLN yang memiliki perkiraan produksi energi listrik 1516.37 kWh per unit selama 7 bulan pengukuran ini dengan kapasitas faktor 30.09%. Tentu dapat menjadi sumber energi listrik tambahan bagi Civitas akademika Kampus IT PLN selain menggunakan listrik dari PLN dan pembangkit listrik tenaga surya yang telah terpasang sebelumnya.

4.2. Saran

Pengukuran energi angin tentu harus menggunakan instrumen yang memadai untuk mendukung jalannya penelitian. Tentu dalam penggunaan instrumen pengukuran angin seperti sensor anemometer terbilang masih cukup kurang disebabkan keterbatasan dari alat instrumen itu sendiri. Pengambilan data angin tidak cukup dilakukan sampai sini (7 bulan lama pengukuran), pengukuran potensi angin harus dilakukan beberapa tahun lamanya supaya mendapatkan hasil yang lebih akurat karena perubahan kondisi lingkungan dan iklim.

UCAPAN TERIMAKASIH

Terima kasih kepada Laboratorium Pusat Penelitian Dan Pengkajian Energi Baru Dan Terbarukan (P3EBT) IT PLN yang mendukung kami dalam melakukan pengambilan data angin di kampus IT PLN dan kepada tim penelitian yang telah membantu pelaksanaan penelitian berjalan sesuai dengan yang diinginkan.

DATAR PUSTAKA

- [1] IRENA, "Renewable Energy Now Accounts for a Third of Global Power Capacity," Press Release, 2 April 2019. [Online]. Available: <https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2019/Apr/Renewable-Energy-Now-Accounts-for-a-Third-of-Global-Power-Capacity>. [Diakses 20 Juli 2021].
- [2] IRENA, "Renewable Capacity Statistics 2019," IRENA, Abu Dhabi, 2019.
- [3] Humas EBTKE, "Hingga Juni 2020, Kapasitas Pembangkit di Indonesia 71 GW," Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM), 10 September 2020. [Online]. Available: <https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/hingga-juni-2020-kapasitas-pembangkit-di-indonesia-71-gw>. [Diakses 20 Juli 2021].
- [4] Humas EBTKE, "Strategi Pengembangan EBT Menuju Target 23%," Artikel Detail, 24 November 2020. [Online]. Available: <https://ebtke.esdm.go.id/post/2020/11/25/2707/strategi.pengembangan.ebt.menuju.target.23>. [Diakses 20 Juli 2021].
- [5] P3TEKKEBTKE, "Potensi Energi Angin Indonesia 2020," P3TEKKEBTKE, 30 Januari 2021. [Online]. Available: https://p3tkebt.esdm.go.id/pilot-plan-project/energi_angin/potensi-energi-angin-indonesia-2020. [Diakses 12 Agustus 2021].
- [6] D. D. D. Prija Tjahjana, T. A. Halomoan, A. Wibowo, D. A. Himawanto dan A. Y. Wicaksono, "Wind Potential Assessment in Urban Area of Surakarta city," The 3rd International Conference on Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering, vol. 030070, pp. 1-8, 2018.
- [7] V. Soebiyanto, J.F. Bobby Saragih dan M. Tedja, "Study on High-Rise Building Using Wind Energy at Humid Tropical Climate," CHEMICAL ENGINEERING TRANSACTIONS, vol. 56, pp. 241-246, 2017.
- [8] D. K. Kaoga, "Performance Assessment of Two-parameter Weibull Distribution Methods for Wind Energy Applications in the District of Maroua in Cameroon," International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR), vol. 17, no. 1, pp. 39-59, 2014.
- [9] P. Ziemia, J. W. atróbski, M. Zioło dan A. Karczmarczyk, "Using the PROSA Method in Offshore Wind Farm location problems," energies, vol. 10, p. 1755, 2017.
- [10] BADAN STANDARDISASI NASIONAL, Panduan Studi Kelayakan Pembangunan PLTB, Jakarta: BADAN STANDARDISASI NASIONAL, 2017.
- [11] L. Wang, X. Li dan Y. Bai, "Short-term wind speed prediction using an extreme learning machine model with error corection," Energy Conversion and Management, pp. 239-250, 2018.
- [12] S. A. Ahmed dan H. O. Muhammed, "A Statistical Analysis of Wind Power Density Based on the Weibull and Rayleigh models of "Penjwen Region" Sulaimani/ Iraq," Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, pp. 135-140, April 2012.
- [13] D. Mohammeda, "Wind Speed Data and Wind Energy Potential Using Weibull Distribution in Zagora, Morocco," Int. Journal of Renewable Energy Development, pp. 267-273, 2019.
- [14] A. K. Azad, "Analysis of wind energy conversion system using Weibull distribution," Procedia Engineering, p. 725 – 732, 2014.
- [15] F. C. Odo, S. U. Offiah dan P. E. Ugwuoke, "Weibull distribution-based model for prediction of wind potential in Enugu, Nigeria," Pelagia Research Library, pp. 1202-1208, 2012.
- [16] S. F. Khahro, K. Tabbassum, A. M. Soomro, X. Liao, . M. B. Alvi, . L. Dong dan M. F. Manzoor, "Techno-economical evaluation of wind energy potential and analysis of power

- generation from wind at Gharo, Sindh Pakistan,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 35, pp. 460-476, 2014.
- [17] C.-J. Bai dan W.-C. Wang, “Review of computational and experimental approaches to analysis of aerodynamic performance in horizontal-axis,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 53, pp. 506-519, 2016.
- [18] Marten D, J. Wendler, . G. Pechlivanoglou, C. Nayeri dan . C. Paschereit, “QBLADE: AN OPEN SOURCE TOOL FOR DESIGN AND SIMULATION OF HORIZONTAL AND VERTICAL AXIS WIND TURBINES,” *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 264-269, 2013.
- [19] A. Effendi, M. Novriyanti, A. Y. Dewi dan A. M. Nur Putra, “Analisa Pengaruh Jumlah Blade Terhadap Putaran Turbin Pada Pemanfaatan Energi Angin di Pantai Ujung Batu Muaro Penjalinan,” *JURNAL TEKNIK ELEKTRO ITP*, vol. 8, no. 2, pp. 134-138, 2019.
- [20] N. i. Zahrah, “Dasar-Dasar perancangan Bilah,” pp. 1-182, 2016.
- [21] C. J. Bai, F. B. Hsiao, M. H. Li, G. Y. Huang dan G. Y. Huang, “Design of 10 kW Horizontal-Axis Wind Turbine (HAWT) Blade and Aerodynamic Investigation Using Numerical Simulation,” *Procedia Engineering* , p. 279 – 287, 2013.
- [22] N. Gupta, “A review on the inclusion of wind generation in power system studies,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, pp. 530-543, 3 January 2016.
- [23] Badan Standardisasi Nasional, *Turbin angin Bagian 2: Persyaratan rancangan turbin angin skala kecil*, Bekasi: Badan Standardisasi Nasional, 2016.
- [24] S. A. Kale dan R. N. Varma, “Aerodynamic Design of a Horizontal Axis Micro wind Turbine Blade Using NASA 4412 Profile,” *INTERNATIONAL JOURNAL of RENEWABLE ENERGY RESEARCH*, vol. 4, no. 1, pp. 69-72, 2014.
- [25] K. Koca, u. S. Genç, H. H. Açikel, M. Çağdaş dan T. M. Bodur, “Identification of Flow Phenomena over NACA 4412 Wind Turbine Airfoil at Low Reynolds Numbers and Role of Laminar Separation Bubble on Flow Evolution,” *Energy*, 11 Desember 2017.

AMPIRAN*Simbol-simbol*

C_p	= koefisien daya
C_t	= koefisien torsi
V	= kecepatan angin (m/s)
V_m	= kecepatan angin rata-rata (m/s)
v_i	= kecepatan angin tengah (m/s)
f_i	= frekuensi nilai tengah
σ_V	= standar deviasi
f_V	= <i>probability density function</i>
F_V	= <i>cumulative distribution function</i>
k	= faktor bentuk
c	= faktor skala
P	= daya (watt) atau (kW)
E	= energi (kWh)
EA	= kebutuhan listrik per periode (kWh)
R	= jari-jari (m)
r	= jari-jari parsial (m)
ρ_a	= kerapatan udara (kg/m^3)
t	= waktu (jam)
η_s	= efisiensi sistem kincir angin
Cl	= koefisien angkat
Cd	= koefisien dorong
T	= torsi (Nm)
B	= jumlah bilah
Cr	= chord atau lebar bilah (m)
λ	= <i>tip speed ratio</i>
λ_r	= <i>tip speed ratio parsial</i>
α	= alfa (<i>minus the angle of attack</i>)
β	= beta (<i>the setting angle</i>)
ϕ	= phi (<i>aqueled the flow angle</i>)