

Pengembangan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) Turbin Angin 500 Watt, dalam Merespon Fluktuasi Angin

Wisnu Budiarto^{1*}

¹Dosen Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik, Universitas Darma Persada,
Jl. Taman Malaka Selatan No.22, Pondok Kelapa, Duren Sawit, DKI Jakarta, Indonesia 13450

*Korespondensi : budiartowisnu@gmail.com

Abstrak

Meskipun potensi energi angin di Indonesia sebesar 9,2 GW, hanya 1,6 MW yang telah dimanfaatkan. Sebaran anginnya masih rendah, berkisar antara 2,5 hingga 6 m/s, dan karakter anginnya sangat beragam, yang menyebabkan profil kecepatan angin berubah drastis. Fokus penelitian ini adalah menciptakan Maximum Power Tracking (MPPT) pada turbin angin 500 watt untuk menanggapi fluktuasi angin. Kontrol logika fuzzy digunakan dalam penelitian ini. Input dP dan dV diperoleh dari kecepatan angin dan variasi arah angin melalui distribusi Weibull. Studi ini menemukan dua aturan *positive small (PS)* dan *negative big (NB)* yang terhubung ke konverter DC-DC melalui *duty-cycle* logika fuzzy. Dengan menambah kedua aturan ini, efisiensi output daya MPPT dapat ditingkatkan, terutama untuk turbin angin 500 watt yang merespon fluktuasi angin.

Kata Kunci: MPPT; Turbin Angin 500 Watt; Fuzzy Logic; Distribution Weibull

Abstract

Despite Indonesia's 9.2 GW potential for wind energy, just 1.6 MW of it has been used. The wind speed profile varies significantly because of the wind's highly variable character and low distribution, which ranges from 2.5 to 6 m/s. The focus of this research is to create Maximum Power Tracking (MPPT) on a 500 watt wind turbine to respond to wind fluctuations. Fuzzy logic control is used in this research. The dP and dV inputs are obtained from wind speed and wind direction variations via the Weibull distribution. This study found two rules of *positive small (PS)* and *negative big (NB)* connected to the DC-DC converter via *duty-cycle* fuzzy logic. By adding these two rules, the MPPT power output efficiency can be increased, especially for 500 watt wind turbines that respond to wind fluctuations.

Keywords: MPPT, Turbin Angin 500 Watt, Fuzzy Logic, Weibull Distribution

1. Pendahuluan

Potensi energi angin yang mencapai 9,2 GW, Indonesia memiliki sumber daya yang sangat besar untuk dikembangkan menjadi sumber energi terbarukan. Namun, saat ini hanya sekitar 1,6 MW [1] dari potensi tersebut yang dapat dimanfaatkan secara efektif. Upaya untuk mengoptimalkan pemanfaatan energi angin ini merupakan langkah penting dalam menjaga keberlanjutan pasokan energi.

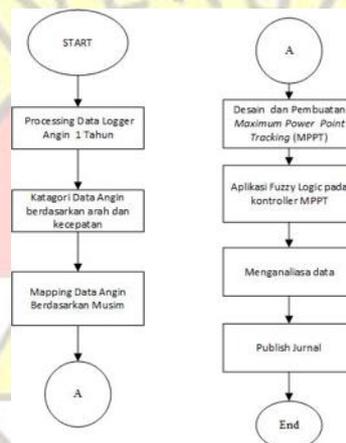
Di Indonesia, penyebaran angin terhadap potensi energi angin masih rendah, dengan kecepatan 2,5–6 m/s [2] dan karakteristik angin yang beragam, yang mengubah profil kecepatan angin secara signifikan. Perubahan kondisi ini sangat menghambat pemanfaatan energi angin. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan sistem turbin angin yang mengoptimalkan kendala ini. Mulai dari bilah, generator, hingga kontrol, ada banyak cara untuk mengoptimalkan turbin angin. Untuk mengoptimalkan produksi energi tenaga angin, mereka harus dilengkapi dengan sistem kendali MPPT, yang berarti *Maximum Power Point Tracking* [3].

Metode pengukuran titik daya maksimum (MPPT) adalah teknik yang digunakan untuk menentukan titik terbaik dari sumber daya untuk memperoleh nilai daya maksimal. Dalam kondisi angin yang berubah-ubah, ini dapat memberikan nilai arus dan tegangan yang berbeda-beda, sehingga diperlukan sistem kendali yang diharapkan mampu mengubah energi secara optimal untuk mengatasi perubahan kondisi angin [4], dari sistem turbin angin yang menghasilkan 2999,88 watt dengan daya 3000 watt pada kecepatan maksimum 10 m/s, yang menunjukkan bahwa P&O dapat meningkatkan efisiensi keseluruhan

sistem turbin angin sebesar 99% pada kecepatan tinggi. Namun, dengan distribusi sekitar 6,5 persen pada kecepatan rendah, hasilnya adalah 695,30 watt, yang menunjukkan bahwa efisiensi yang diperoleh adalah 23% jika kita menggunakan data masalah sebelumnya. Pada penelitian sebelumnya, Putri menentang penggunaan P&O karena metode tersebut bertentangan dengan apa yang disampaikan Syahputra. P&O dapat menyebabkan osilasi dalam kondisi seimbang jika langkah reaksi dilakukan terlalu cepat dan bervariasi. tetapi sebaliknya jika langkah reaksi dilakukan. Dalam jangka panjang, sistem koreksi lebih baik dengan lambat, karena efek respon tertundanya meningkatkan akurasi dan kemampuan untuk mencapai daya maksimum, respon yang panjang, di sisi lain, mengurangi efisiensi karena tidak dapat mengatasi perubahan kondisi dan fluktuasi angin dapat berubah setiap detik [6].

Metode tambahan untuk memaksimalkan daya yang dihasilkan oleh turbin angin adalah MPPT berbasis fuzzy yang menggunakan analisis komparatif dan perbaikan yang menggunakan Perbedaan Integrator Proportional (PID) [7]. Hasil dari metode MPPT PID menunjukkan bahwa masukan arus angin memiliki nilai rendah, yaitu 500, dengan kestabilan waktu keluaran 10 dan efisiensi 85%. Masukan arus angin memiliki nilai tertinggi, yaitu 2000, dengan kestabilan waktu keluaran 10 dan Metode P&O dapat meningkatkan efisiensi pada kecepatan angin tinggi, tetapi tidak dapat mengatasi perubahan kondisi angin [6]. Selain itu, menurut Tiwari & Babu, metode fuzzy PID dapat meningkatkan MPPT pada kecepatan angin tinggi, tetapi gagal pada kecepatan angin rendah.[7] Oleh karena itu, penelitian tentang pengembangan MPPT pada turbin angin kecil 500 watt dalam respons fluktuasi angin harus dilakukan. Sehubungan dengan perubahan kondisi angin, metode ini diharapkan dapat meningkatkan output maksimum MPPT.

2. Metodologi



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian

Data eksperimen digunakan dalam penelitian ini untuk mengembangkan MPPT dari hasil metode perturb dan observasi (P&O) [5][6], logika fuzzy[7], dan TSR & OTC [8]. Peneliti menggunakan metode logika fuzzy untuk mengembangkan MPPT, Langkah pertama adalah memproses data yang disimpan atau dibuat dari logger selama satu tahun. Kemudian, data kecepatan dan arah angin dikategorikan berdasarkan musim selama satu tahun.

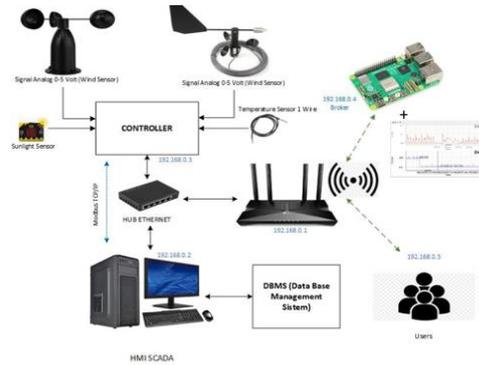
Langkah berikutnya adalah merancang dan membuat MPPT menggunakan desain program fuzzy logic untuk proses kontrol. Penelitian ini menemukan cara terbaik untuk meningkatkan efisiensi turbin angin 500 watt, dengan melakukan analisis data proses pemantauan untuk menentukan kinerja MPPT pada turbin angin 500 watt.

3. Landasan Teori

3.1 Pre-Prosesing Data

Penelitian ini menggunakan sistem pemantauan data logger berbasis web atau cloud. Gambar 2 adalah Diagram blok sistem [9]. Tujuan dari sistem monitoring data logger berbasis web atau cloud adalah untuk melakukan penelitian ini sehingga pengguna dapat memantau datanya tanpa melakukan inspeksi di

tempat setiap hari. Dalam hal lain, sistem pemantauan jaringan berbasis cloud memiliki kemampuan untuk melaporkan masalah atau kegagalan sistem [10].



Gambar 2. Diagram Blok Sistem Datalogger

Studi ini menggunakan analisis potensi angin sebagai patokan untuk pemetaan data angin selama satu tahun. Dalam proses pengolahan data, metode distribusi Weibull biasanya digunakan untuk mengubah potensi energi yang dicatat oleh datalogger. Bentuk dan parameter skala metode ini digunakan untuk mengurangi kesalahan pada sampel kecil. Metode ini menggunakan bentuk dan parameter skala untuk mengurangi kesalahan pada sampel kecil. [11].

Pola fluktuasi kondisi angin berulang sepanjang tahun karena bergantung pada matahari dan musim, sehingga diperlukan data relatif jangka pendek dan jangka panjang untuk menghitung potensi angin yang akurat [12]. Metode statistik ini dibahas dalam persamaan statistik berikut [13]:

$$\bar{U} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^w m_i u_i \tag{1}$$

Variable \bar{U} adalah kecepatan angin rata-rata, variable m_i adalah jumlah data angin i, kecepatan angin u_i adalah kecepatan angin i, dan variable n adalah data kecepatan angin total jumlah dan kecepatan angin masing-masing i. Persamaan standar deviasi σ^2 yang menunjukkan kecepatan angin diberikan di bawah ini.

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \left[\sum_{i=1}^w m_i u_i^2 - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^w m_i u_i \right)^2 \right] \tag{2}$$

Fungsi density probability Weibull (PDF) adalah metrik yang paling umum digunakan untuk menunjukkan variasi kecepatan angin pada suatu wilayah.. Parameter PDF Weibull adalah bentuk (k) dan skala (c), yang diwakili oleh persamaan berikut [14]:

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{V}{c}\right)^k} \tag{3}$$

Nilai yang di mana $k > 0$, $u > 0$, dan $c > 1$. Tetapi cumulatife (CDF) dapat dihitung dengan persamaan berikut [14]:

$$F(u) = 1 - \exp \left[-\left(\frac{u}{c}\right)^k \right] \tag{4}$$

di mana *cumulative distribution function* F(u)

Ketika kecepatan angin rata-rata dan standar deviasi diketahui, Persamaan berikut dapat digunakan untuk menghitung nilai k menggunakan metode justus [13][14]:

$$k = \left(\frac{\sigma}{\bar{u}}\right)^{-1086} \tag{5}$$

dimana $1 \leq k \leq 10$.

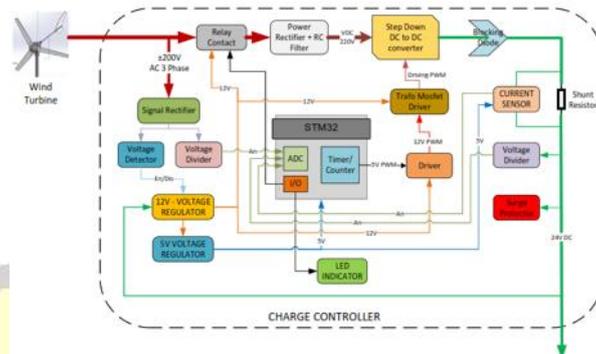
Jumlah dan durasi kecepatan angin sangat dipengaruhi oleh nilai parameter k, sehingga nilai c dapat dihitung dengan persamaan $c = 1.12 \bar{U}$ untuk $1.5 \leq k \leq 3$. Nilai rasio c/\bar{U} konstan adalah 1.12. Nilai k yang

lebih tinggi menunjukkan kecepatan angin yang lebih lama, dan nilai k yang lebih rendah menunjukkan kecepatan angin yang lebih singkat [15].

3.2 Perancangan dan Pengujian MPPT

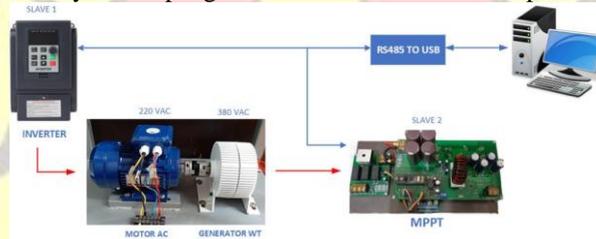
Teknik untuk mengontrol nilai daya maksimum sistem adalah perancangan dan pengujian *Maximum Power Point Tracking* (MPPT). Tujuan pelacakan ini adalah untuk menemukan titik dengan nilai daya tertinggi.. MPPT berfungsi untuk meningkatkan dan menurunkan tegangan operasi dengan mengatur duty cycle konverter. Nilai arus dan tegangan berkorelasi dengan nilai daya [16].

Sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3, kontroller yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan STM32 sebagai *I/O remote*. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi sensor dan mengarahkan driver sistem MPPT.



Gambar 3. Diagram Blok Sistem MPPT

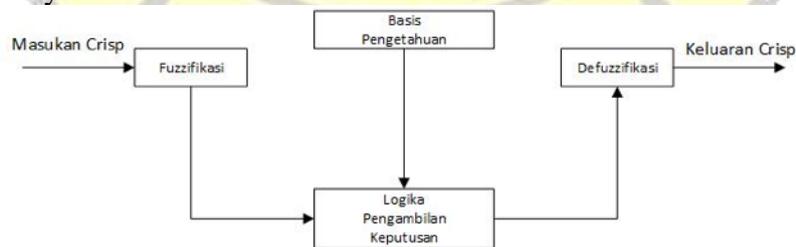
Seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4, tujuan pengujian MPPT dengan LabVIEW adalah untuk berkomunikasi dengan PC atau laptop melalui protokol Modbus, dan membuat penggunaan LabVIEW untuk pemrograman logika fuzzy dalam pengendalian data lebih mudah dipahami dan dicatat.



Gambar 4. Diagram Blok Pengujian MPPT

Inverter dan pengujian MPPT terhubung ke komputer atau laptop melalui komunikasi RS485-USB, seperti yang ditunjukkan pada diagram blok di atas. Ini diperlukan untuk merespon berbagai variabel input. Untuk menggerakkan motor yang terhubung dengan generator, komputer/LabVIEW terhubung ke inverter sebagai input variabel/simulator kecepatan angin, seperti yang ditunjukkan dalam gambar di atas. MPPT menghitung daya yang dihasilkan oleh generator, dan bagian MPPT terhubung ke komputer dengan protokol modbus yang sama dengan inverter.

3.3 Logika Fuzzy



Gambar 5. Basic Konfigurasi Sistem Logika Fuzzy

Fuzzyfikasi, basis pengetahuan, logika pengambilan keputusan, dan defuzzyfikasi adalah empat komponen utama logika fuzzy. Ini adalah cara yang efektif untuk menghubungkan ruang input dan output, seperti yang ditunjukkan pada gambar di atas [17] [18]. *Fuzzyfikasi* adalah proses mengubah nilai numerik yang dimasukkan menjadi bilangan fuzzy antara 0 dan 1 dengan menggunakan fungsi keanggotaan fuzzy.

Pada saat yang sama, aturan yang didasarkan pada intuisi dan pengetahuan perancang, peneliti, dan operator manusia disiapkan dan disimpan dalam database yang berisi deskripsi variabel input dan

output yang menggunakan himpunan fuzzy. "Jika x adalah A, maka y adalah B" adalah contoh aturan fuzzy yang dibuat dengan dua atau lebih variable fuzzy. Karena variabel fuzzy dapat lebih banyak, aturan fuzzy sering disebut IF-THEN, meskipun ini tidak terlalu umum. [19].

4. Hasil Dan Pembahasan

Metode logika fuzzy digunakan dalam penelitian ini untuk mengontrol MPPT dengan efisiensi yang tinggi. Untuk melakukan ini, program LabVIEW digunakan untuk memproses parameter-parameter yang termasuk dalam MPPT. Selain itu, setiap parameter MPPT dijelaskan melalui grafik data yang disimpan dalam database.

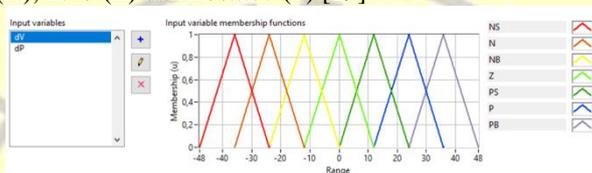
Dalam sistem logika fuzzy untuk MPPT, dP dan dV adalah dua masukan. Nilai selisih arus dengan daya sebelumnya adalah dP, sedangkan nilai daya adalah hasil kali nilai tegangan keluaran penyearah dan nilai arus, dan selisih antara nilai arus dan nilai sebelumnya dari tegangan keluaran penyearah adalah dV, sehingga pernyataan adalah [6].

$$P = V.I$$

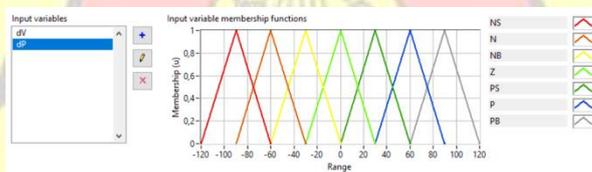
$$dV = V(n)-V(n-1)$$

$$dP = P(n)-P(n-1)$$

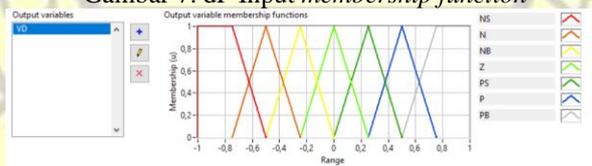
dP dan dV memiliki lima fungsi keanggotaan pada input logika fuzzy, yang terdiri dari dua trapezium dan tiga fungsi keanggotaan triangular. Dua fungsi keanggotaan trapezium memiliki nilai fuzzy *negative small* (NS), *negative big* (NB), *positive big* (PS) *positive small* (PS) sementara tiga fungsi keanggotaan triangular memiliki nilai *Negative* (N), *Zero* (Z) dan *Positive* (P) [19]



Gambar 6. dV Input Variable Membership Function



Gambar 7. dP Input membership function



Gambar 8. VD (Variabel duty cyle) output membership function

Tabel 1. Menunjukkan Rules Sistem Fuzzy MPPT

Output	dV							
	NS	N	NB	Z	PS	P	PB	PB
dP	NS	NS	N	NB	N	N	PB	PB
	N	N	N	NB	N	PS	PB	PB
	NB	NB	N	NB	Z	N	P	P
	Z	Z	Z	Z	Z	PS	PB	PB
	PS	P	P	PS	PB	PS	P	PB
	P	PB	PB	P	N	P	N	NS
	PB	PB	PB	PB	N	P	N	NS

Tabel tersebut menunjukkan desain pengaturan yang menunjukkan jumlah daya yang dapat dihasilkan dari generator dengan mengubah kecepatan angin. Pada Gambar 3 ditunjukkan bahwa, *duty cycle* di rangkaian converter DC to DC dikontrol oleh perubahan kondisi fluktuasi kecepatan angin.

Mengembangkan kombinasi yang dikembangkan oleh Putri [6] pada rules tabel 1, meningkatkan *member function* dari jurnal. Sadullah percaya bahwa meningkatkan jumlah *membership function* dapat meningkatkan kinerja sistem [20].

5. Kesimpulan

Dalam penelitian sebelumnya, Kusmanto menemukan bahwa desain sistem aturan fuzzy meningkatkan kinerja kontrol dan efisiensi MPPT yang tinggi. [6]. Dalam penelitian ini, tujuh aturan keanggotaan *negative* (N), *negative small* (NS), *negative big* (NB), *zero* (Z), *positive* (P), *positive small* (PS), dan *positive big* (PB) dibuat dari aturan logika yang tidak jelas dari penelitian sebelumnya.

Studi ini menemukan bahwa turbin angin 500 watt dapat merespon perubahan angin dan meningkatkan efisiensi sistem MPPT sebesar 98,40% dengan menambahkan fungsi keanggotaan fuzzy, yaitu nilai fuzzy *negatif big* (NB) dan *positif small* (PS). Hasil ini lebih besar dari hasil penelitian Sharma sebelumnya sebesar 98,3% [7].

Daftar Pustaka

- [1] K. Abdullah, "RENEWABLE ENERGY UTILIZATION AND DEVELOPMENT IN INDONESIA".
- [2] A. Fadlullah, S. Riyanto and S. Sudirman. "Pengembangan Aplikasi Analisis Potensi Angin Sebagai Sumber Energi Terbarukan Menggunakan Estimasi Parameter Weibull Berbasis Metode Power Density (Studi Kasus: Kota Tarakan)". *Jurnal Inovtek Polbeng*. vol. 9. no. 1. pp. 129-129. Jul. 2019. 10.35314/ip.v9i1.966.
- [3] X. Zhang, C. Huang, S. Hao, F. Chen and J. Zhai. "An Improved Adaptive-Torque-Gain MPPT Control for Direct-Driven PMSG Wind Turbines Considering Wind Farm Turbulences". *Energies*. vol. 9. no. 11. pp. 977-977. Nov. 2016. 10.3390/en9110977.
- [4] K. Kim, H. Kim, C. Kim, I. Paek, C. L. Bottasso and F. Campagnolo. "Design and Validation of Demanded Power Point Tracking Control Algorithm of Wind Turbine". *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*. vol. 5. no. 3. pp. 387-400. Jul. 2018. 10.1007/s40684-018-0041-6.
- [5] "An improved perturb and observe (P&O) maximum power point tracking (MPPT) algorithm for higher efficiency".
- [6] A. Kusmanto and M. Margono. "Peningkatan Kinerja MPPT Menggunakan Kontrol PWM Fuzzy dengan Tuning PID". *Jurnal Rekayasa Elektrika*. vol. 16. no. 2. Aug. 2020. 10.17529/jre.v16i2.16220.
- [7] Tiwari, R., & Babu, N. (2016). Fuzzy Logic Based MPPT for Permanent Magnet Synchronous Generator in wind Energy Conversion System. *IFAC-PapersOnLine*, 49, 462-467. <https://doi.org/10.1016/J.IFACOL.2016.03.097>.
- [8] C. Huang, F. Li and Z. Jin. "Maximum Power Point Tracking Strategy for Large-Scale Wind Generation Systems Considering Wind Turbine Dynamics". *IEEE Transactions on Industrial Electronics*. vol. 62. no. 4. pp. 2530-2539. Apr. 2015. 10.1109/tie.2015.2395384.
- [9] S. Adhya, D. Saha, A. Das, J. Jana and H. Saha, "An IoT based smart solar photovoltaic remote monitoring and control unit," *2016 2nd International Conference on Control, Instrumentation, Energy & Communication (CIEC)*, Kolkata, India, 2016, pp. 432-436, doi: 10.1109/CIEC.2016.7513793.
- [10] W. Naruephiphat, R. Promya and C. Chansripinyo. "A web-based management system design for wireless sensor network monitoring". Sep. 2013. 10.1109/icsec.2013.6694794.
- [11] N. D. Bokde, A. Feijóo and D. Villanueva. "Wind Turbine Power Curves Based on the Weibull Cumulative Distribution Function". *Applied sciences*. vol. 8. no. 10. pp. 1757-1757. Sep. 2018. 10.3390/app8101757.
- [12] D. Coumou, G. D. Capua, S. J. Vavrus, L. Wang and S. Wang. "The influence of Arctic amplification on mid-latitude summer circulation". *Nature Communications*. vol. 9. no. 1. Aug. 2018. 10.1038/s41467-018-05256-8.
- [13] L. Zhang, M. Xie and L. C. Tang, "On Weighted Least Squares Estimation for the Parameters of Weibull Distribution".
- [14] J. S. Chaput, T. F. Crack and O. Онiщенко. "What Quantity Appears on the Vertical Axis of a Normal Distribution? A Student Survey". *Journal of Statistics and Data Science Education*. vol. 29. no. 2. pp. 192-201. May. 2021. 10.1080/26939169.2021.1933658.
- [15] S. Saito, K. Sato and S. Sekizuka. "A Discussion on Prediction of Wind Conditions and Power Generation with the Weibull Distribution". *Jsme International Journal Series B-fluids and Thermal Engineering*. vol. 49. no. 2. pp. 458-464. Jan. 2006. 10.1299/jsmeb.49.458.
- [16] H. Meng, T. Yang, J. Liu and Z. Lin. "A Flexible Maximum Power Point Tracking Control Strategy

- Considering Both Conversion Efficiency and Power Fluctuation for Large-inertia Wind Turbines".
Energies. vol. 10. no. 7. pp. 939-939. Jul. 2017. 10.3390/en10070939.
- [17] B. I. Setia. "Penerapan Logika Fuzzy pada Sistem Cerdas". Jurnal Sistem Cerdas. vol. 2. no. 1. pp. 61-66. Apr. 2019. 10.37396/jsc.v2i1.18.
- [18] R. Czabański, M. Jeżewski and J. M. Łęski, "Introduction to Fuzzy Systems".
- [19] R. I. Putri, "Pengembangan Strategi Kontrol Optimal pada PMSG Wind Turbine melalui Sistem Penyimpan Energi Berbasis Algoritma Swarm Intelligence," 2017.
- [20] A. Sadollah, "Introductory Chapter: Which Membership Function is Appropriate in Fuzzy System".

