

OPTIMASI DAYA LISTRIK TURBIN ANGIN JALAN RAYA DENGAN MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC

Muhammad 'Atiq, Muhamad Haddin, Arief Marwanto

* Department Postgraduate Of Electrical Engineering, Universitas Islam Sultan Agung Semarang

Correspondence Author: atiq.corps@gmail.com

Abstract

Penelitian ini membahas tentang optimasi daya turbin angin jalan raya. Model ditetapkan sebagai pembangkit listrik tenaga bayu di jalan raya dengan parameter yang ditentukan meliputi: dimensi turbin, rasio gear dan kecepatan angin. Fuzzy digunakan untuk mensimulasikan turbin angin jalan raya sehingga didapatkan daya yang dihasilkan. Hasil menunjukkan bahwa dengan dimensi blade 20 cm serta rasio gear 28 dengan kecepatan angin 3 m/s pada analisis matlab hasil 3,67 watt sedangkan pada analisis perhitungan manual 3,75 watt dengan nilai mean squared error (MSE) adalah 0,0064 watt. Untuk dimensi blade 20 cm serta rasio gear 60 dengan kecepatan angin 3 m/s pada analisis matlab hasil 6,417 watt sedangkan pada analisis perhitungan manual 7,13 dengan nilai mean squared error (MSE) adalah 0,9. Karena pembangkit listrik yang dihasilkan paling rendah, turbin angin jalan raya tidak direkomendasikan dipasang di jalan raya Indonesia.

Keyword: Turbin Angin, Rasio Gear, Kecepatan Angin, Fuzzy Logic.

1. PENDAHULUAN

Pembangkit energi angin berkembang pesat di seluruh dunia dan akan terus berkembang di masa mendatang [1][2]. Para peneliti bekerja untuk memaksimalkan konversi energi yang tersedia dari angin yang ada di seluruh dunia [3][4]. Salah satu sumber energi angin dan sumber energi terbarukan yang sangat tersedia adalah turbulensi angin yang ditimbulkan oleh kendaraan di jalan raya yang dapat membantu menghasilkan energi listrik [5][6].

Permasalahan yang ada adalah bagaimana mentransmisikan energi berupa energi angin lokal menjadi energi listrik potensial sehingga diperoleh daya output turbin maksimal [7]. Pemanfaatan skala kecil dari jenis energi ini dapat menghasilkan listrik yang cukup untuk sistem energi terbarukan di jalan raya [8][9]. Sedangkan pada aplikasi skala besar dapat dikoneksikan dengan grid [10].

Solusi dari permasalahan tersebut adalah perlu dilakukan kajian tentang optimasi turbin angin jalan raya bagaimana mengoptimalkan turbin angin sumbu vertikal dengan kecepatan angin rendah [11][12]. Selain itu, turbin angin sumbu vertikal (VAWT) berputar lebih efektif dengan meningkatnya jumlah kendaraan yang lewat [13] [14]. Perhitungan energi angin dari turbin angin jalan raya [15]. menunjukkan bahwa tenaga angin yang diekstraksi dari jalan raya meningkat ketika kendaraan melewati jalan raya dibandingkan dengan tidak ada kendaraan yang bergerak. Sedangkan arah angin pada kedua sisi rotor berlawanan karena gerakan kendaraan yang berlawanan, dan sebaliknya gaya aerodinamis dapat menggerakkan rotor [16][17].

Beberapa penelitian tentang turbin angin pada jalan raya antara lain: teknik levitasi magnetik pada sistem untuk memutar turbin pada kecepatan angin rendah [18], turbin angin poros vertikal sebagai energi alternatif untuk penerangan jalan [19], pengaruh sudut puntir terhadap kinerja kincir angin savonius [20][21], metode unsteady Reynolds-averaged Navier - Stokes (URANS) untuk pemodelan lapisan batas atmosfer (ABL) [22], kinerja VAWT dan mengetahui mekanisme interaksi antara kendaraan bergerak [23], Perancangan dan Pembuatan Kincir Angin Jalan Tol Sumbu Vertikal pada kecepatan angin 5 mph [24]. Model VAWT dengan menggunakan Pro/E dan CFD [25], desain turbin angin untuk penerangan jalan raya [27], simulasi dinamika perilaku sistem angin dengan model matematika yang cocok untuk turbin angin sumbu horizontal dan generator sinkron menggunakan logika fuzzy [28][29], kontrol logika fuzzy untuk turbin angin kecepatan variabel dengan beberapa generator induksi (DFIG) [30][31]. Penelitian yang tentang respon frekuensi DFIG untuk sistem penyimpanan energi menggunakan logika fuzzy [32] [33], kontrol turbin angin berbasis generator sinkron magnet permanen (PMSG) untuk meningkatkan stabilitas transien selama gangguan jaringan [34].

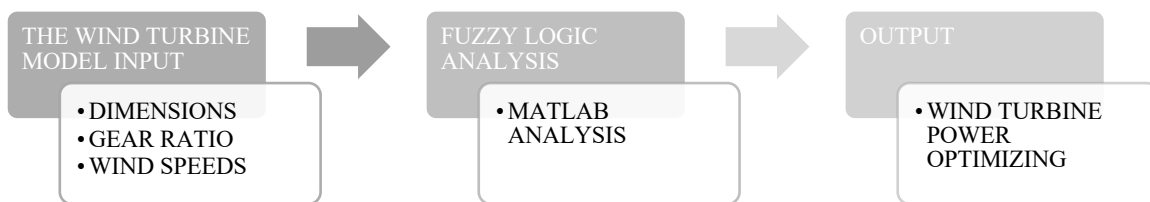
Penelitian penelitian tersebut hanya hanya memfokuskan dengan beberapa metode yang ada, namun belum ada yang menggunakan metode fuzzy logic untuk menganalisis optimasi turbin angin jalan raya pada

kecepatan angin rendah. Penelitian ini memfokuskan implementasi fuzzy logic untuk penentuan optimal daya turbin angin pada jalan raya berdasarkan dimensi panjang lengan blade, rasio roda gigi dan kecepatan angin.

2. METODE PENELITIAN (10 PT)

Turbin angin jalan raya merupakan teknologi energi alternatif yang mampu mengubah energi angin di jalan raya menjadi energi listrik. Turbin angin memiliki dua jenis yaitu turbin angin sumbu vertikal dan turbin angin horizontal. Prinsip kerja turbin angin tipe sumbu horizontal didasarkan pada gaya angkat energi angin dan turbin angin tipe sumbu vertikal berdasarkan gaya tarik yang disebabkan oleh gerakan angin [35]. Teknologi turbin sumbu vertikal dapat digunakan sebagai teknologi alternatif untuk konversi energi angin jalan raya. Selain itu, turbin angin sumbu vertikal memiliki keunggulan yaitu memiliki kemampuan menahan aliran turbulensi dan memungkinkannya berputar dengan mudah pada aliran angin rendah.

Tahapan penelitian yang dilakukan pada model turbin angin jalan raya. Penelitian diawali dengan penentuan model penelitian yang terdiri dari input model turbin, kemudian analisis menggunakan fuzzy logic, kemudian menghasilkan output model turbin dan output daya seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Analisis Model Turbin Angin Jalan Raya

Gambar 1 Model input terdiri dari dimensi turbin angin, rasio roda gigi, dan kecepatan angin. Sedangkan pada proses fuzzy logic analisis optimasi turbin angin jalan raya dilakukan dengan menggunakan algoritma Fuzzy logic. Outputnya adalah pengoptimalan daya turbin angin jalan raya.

2.1. Wind Turbine Model

Model turbin angin yang akan digunakan adalah turbin angin sumbu vertikal tipe savonius pada penelitian ini [36] seperti terlihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Model Turbin Angin [36]

Sebagai acuan, hasil pengukuran dalam penelitian [36] pada Gambar 4 seperti terlihat pada Tabel 1:

Tabel 1. Hasil Uji Pengukuran Turbin Angin [36]

DIMENSI BLADE (cm)	GEARS	KECEPATAN ANGIN (m/s)	DAYA [33] (W)	FUZZY LOGIC OPTIMIZATION (W)
84	60	6.5	6	6.71
64	28	8	5.08	5.83
64	60	4.5	6	6.73

Spesifikasi pada tabel 1 adalah sebagai berikut:

- a. Panjang lengan 84 cm dengan rasio roda gigi 60:1 pada kecepatan angin 6,5 m/s menghasilkan daya maksimum 6 watt.
- b. Panjang lengan 64 cm dengan rasio roda gigi 28:1 pada kecepatan angin 8 m/s menghasilkan daya maksimum 5,08 watt.
- c. Panjang lengan 64 cm dengan rasio roda gigi 60:1 pada kecepatan angin 4,5 m/s menghasilkan daya maksimum 6 watt.

Tabel 1 menunjukkan bahwa nilai rata-rata Mean Squared Error (MSE) adalah 0,53. Dari data maksimum, data yang ada adalah 6,73 watt.

2.2. Highway Wind Turbine Model

Data observasi lapangan menghasilkan energi angin potensial kendaraan dengan kecepatan angin rata-rata 3 m/s, sehingga dimensi turbin seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Observasi Energi Angin

DIMENSIONS OF BLADE (cm)	GEAR	WIND SPEED (m/s)
20	28	3
20	60	3

Dimensi turbin dengan panjang lengan sudu 20 cm sesuai dengan lokasi turbin angin jalan raya dengan rasio roda gigi 28 dan 60 serta kecepatan angin 3 m/s.

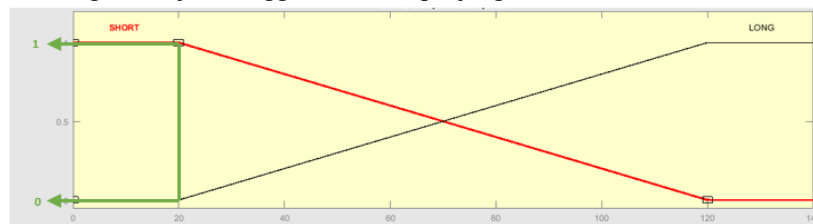
3. HASIL DAN ANALISA

3.1 Result Wind Turbin Highway

a. Fuzzyfication

Pada analisis fuzzifikasi variabel input pada dimensi turbin, rasio roda gigi dan kecepatan angin serta variabel output pada variable naik sesuai persamaan (1) sedangkan pada variabel turun sesuai persamaan (2).

- 1. Variabel input dimensi turbin terdiri dari 2 himpunan fuzzy yaitu SHORT dan LONG yang ditunjukkan pada Gambar 6 dengan derajat keanggotaan untuk panjang sudu 20 cm:



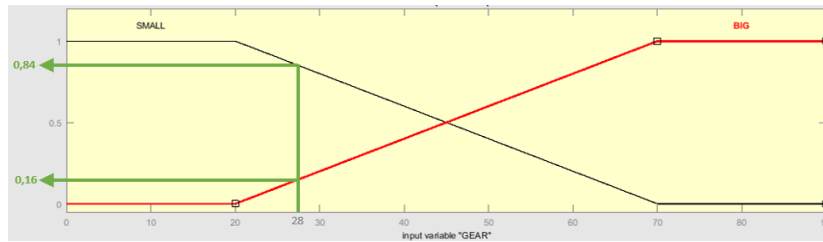
Gambar 1. Variabel Input Dimensi Turbin

$$\mu_{\text{SHORT}} 20 \text{ cm} = (120 - 20) / (120 - 20) = 1$$

$$\mu_{\text{LENGTH}} 20 \text{ cm} = (20 - 20) / (120 - 20) = 0$$

Berdasarkan Gambar 6 hasil perhitungan didapatkan nilai membership function untuk panjang sudu 20 cm adalah 1 sedangkan tinggi adalah 0.

- 2. Variabel input gear ratio 28, variabel input yang terdiri dari 2 himpunan fuzzy yaitu SMALL dan BIG yang ditunjukkan pada Gambar 7 dengan derajat keanggotaan untuk gear ratio 28:



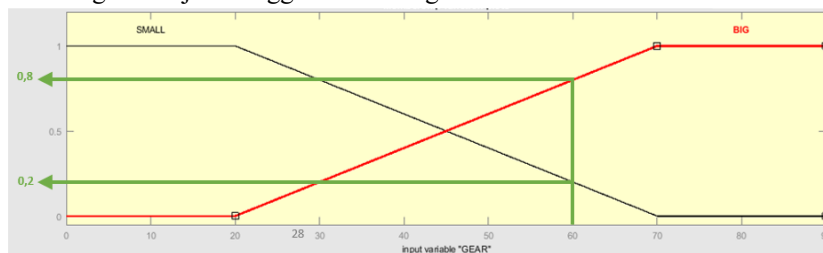
Gambar 2. Input Variabel Gear Rasio 28

$$\mu \text{ SMALL } 28 \text{ cm} = (70 - 28) / (70 - 20) = 0.84$$

$$\mu \text{ BIG } 28 \text{ cm} = (28 - 20) / (70 - 20) = 0.16$$

Berdasarkan Gambar 7 hasil perhitungan didapatkan nilai membership function untuk gear ratio size 28 adalah batas bawah sebesar 0,84 sedangkan batas atas sebesar 0,16.

3. Variabel input gear ratio 60 yang terdiri dari 2 himpunan fuzzy yaitu SMALL dan BIG yang ditunjukkan pada Gambar 8 dengan derajat keanggotaan untuk gear ratio 60 adalah.



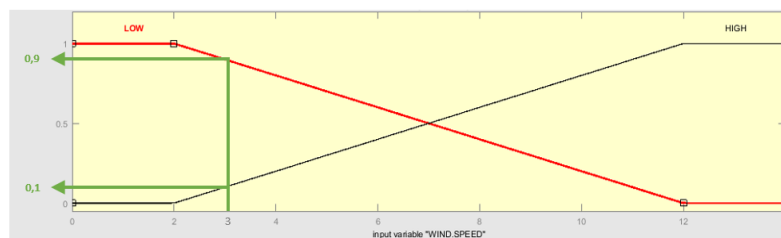
Gambar 3. Input Variabel Gear Rasio 60

$$\mu \text{ SMALL } 60 \text{ cm} = (70 - 60) / (70 - 20) = 0.2$$

$$\mu \text{ BIG } 60 \text{ cm} = (60 - 20) / (70 - 20) = 0.8$$

Berdasarkan Gambar 8 hasil perhitungan didapatkan nilai membership function untuk gear ratio size 60 adalah batas bawah 0,2 sedangkan batas atas adalah 0,8.

4. Variabel input kecepatan angin variabel input yang terdiri dari 2 himpunan fuzzy yaitu LOW dan HIGH yang ditunjukkan pada Gambar 9 dengan derajat keanggotaan untuk kecepatan angin 3 m/s adalah.



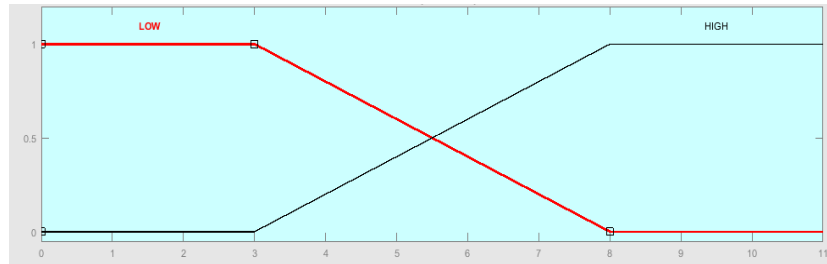
Gambar 4. Input Variabel Gear Rasio 28

$$\mu \text{ LOW } 3 \text{ m / s} = (12 - 3) / (12 - 2) = 0.9$$

$$\mu \text{ HIGH } 3 \text{ m / s} = (3 - 2) / (12 - 2) = 0.1$$

Berdasarkan Gambar 9 hasil perhitungan didapatkan nilai membership function untuk kecepatan angin 3 m/s adalah batas bawah sebesar 9,8 sedangkan batas atas sebesar 0,1.

5. Variabel tegangan keluaran yang terdiri dari 2 himpunan fuzzy yaitu LOW dan HIGH yang ditunjukkan pada Gambar 10 dengan derajat keanggotaan untuk kecepatan angin 3 m/s adalah.



Gambar 5. Variabel Tegangan Output

Berdasarkan Gambar 10 perhitungan diperoleh nilai fungsi keanggotaan untuk tegangan keluaran.

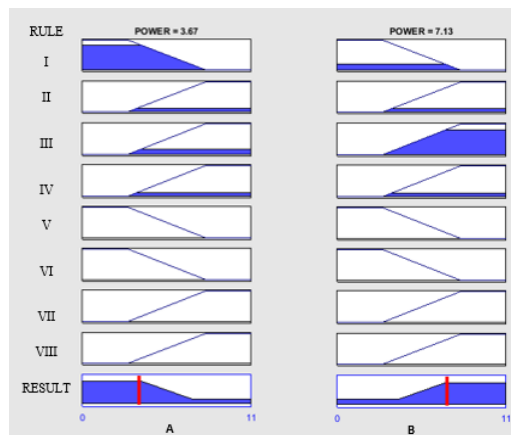
$$\mu_{VOLTAGE\ LOW}(X) = \begin{cases} 1 & X \leq 3 \\ \frac{8-X}{8-3} & 3 < X < 8 \\ 0 & 8 \leq X \end{cases} \quad \mu_{VOLTAGE\ HIGH}(X) = \begin{cases} 0 & X \leq 3 \\ \frac{X-3}{8-3} & 3 < X < 8 \\ 1 & 8 \leq X \end{cases}$$

b. Fuzzy Ruled Base dan Fuzzy Inference Engine

Pembentukan rule base fuzzy diwakili oleh sekelompok aturan berupa pernyataan IF-THEN dalam aturan sistem fuzzy tegangan turbin angin adalah sebagai berikut:

- [r1] If Short Turbine And Small Gear And Low Wind Then Low Power
- [r2] If Short Turbine And Small Gear And High Wind Then High Power
- [r3] If Short Turbine And Big Gear And Low Wind Then High Power
- [r4] If Short Turbine And Big Gear And High Wind Then High Power
- [r5] If Long Turbine And Small Gear And Low Wind Then Low Power
- [r6] If Long Turbine And Small Gear And High Wind And Low Power
- [r7] If Long Turbine And Big Gear And Low Wind Then High Power
- [r8] If Long Turbine And Big Gear And High Wind Then High Power

Fuzzy Inference Engine digunakan untuk mengevaluasi dan merepresentasikan semua aturan secara bersamaan untuk menghasilkan kesimpulan. Gambar 11 menunjukkan hasil inference engine turbin angin jalan raya pada simulink matlab.



Gambar 6. Fuzzy Inference Engine

Hasil Fuzzy Inference Engine pada turbin angin jalan raya pada Gambar 11 adalah:

- a. Sebuah. Gambar 11 A pada dimensi sudu 20 cm dengan roda gigi 28 cm dan kecepatan angin 3 m/s menunjukkan hasil sebesar 3,67 watt.
- b. Gambar 11 B pada dimensi sudu 20 cm dengan roda gigi 60 cm dan kecepatan angin 3 m/s menunjukkan hasil sebesar 7,13 watt.

Persamaan 3 pada inference engine dengan fungsi MIN diterapkan pada setiap aturan pada fungsionalitas aplikasi berupa implikasi aturan IF-THEN menggunakan AND. Implikasi dari fungsi MIN-Max sebagai berikut:

a. INFERENCE ENGINE INPUT

- [r1] $\alpha 1 = \min(\mu \text{ SHORT turbine } n \mu \text{ SMALL gear } n \mu \text{ wind LOW})$
[r2] $\alpha 2 = \min(\mu \text{ SHORT turbine } n \mu \text{ SMALL gear } n \mu \text{ wind HIGH})$
[r3] $\alpha 3 = \min(\mu \text{ SHORT turbine } n \mu \text{ BIG gear } n \mu \text{ wind LOW})$
[r4] $\alpha 4 = \min(\mu \text{ SHORT turbine } n \mu \text{ BIG gear } n \mu \text{ wind HIGH})$
[r5] $\alpha 5 = \min(\mu \text{ turbine LENGTH } n \mu \text{ gear SMALL } n \mu \text{ wind LOW})$
[r6] $\alpha 6 = \min(\mu \text{ turbine LENGTH } n \mu \text{ gear SMALL } n \mu \text{ wind HIGH})$
[r7] $\alpha 7 = \min(\mu \text{ turbine LENGTH } n \mu \text{ gear BIG } n \mu \text{ wind LOW})$
[r8] $\alpha 8 = \min(\mu \text{ turbine LENGTH } n \mu \text{ gear BIG } n \mu \text{ wind HIGH})$

Hasil dimensi turbin mesin inferensi 20 cm, rasio roda gigi 28, dan kecepatan angin 3 m/s seperti terlihat pada Tabel 3:

Tabel 3. Hasil Inference Engine Turbine Gear Rasio 28

RULE	RESULT INFERENCE ENGINE			RESULT α (min)
	TURBINE DIMENSIONS	GEAR RATIO	WIND SPEED	
I	1	0,84	0,9	0,84
II	1	0,84	0,1	0,1
III	1	0,6	0,9	0,6
IV	1	0,16	0,1	0,1
V	0	0,84	0,9	0
VI	0	0,84	0,1	0
VII	0	0,16	0,9	0
VIII	0	0,16	0,1	0

Hasil dimensi turbin mesin inferensi 20 cm, rasio roda gigi 60, dan kecepatan angin 3 m/s seperti terlihat pada Tabel 4:

Tabel 4. Hasil Inference Engine Turbine Gear Rasio 60

RULE	RESULT INFERENCE ENGINE			RESULT α (min)
	TURBINE DIMENSION	GEAR RATIO	WIND SPEED	
I	1	0,2	0,9	0,2
II	1	0,2	0,1	0,1
III	1	0,8	0,9	0,8
IV	1	0,8	0,1	0,1
V	0	0,2	0,9	0
VI	0	0,2	0,1	0
VII	0	0,8	0,9	0
VIII	0	0,8	0,1	0

Pada Tabel 3 dan 4 input mesin inferensi α hasil yang diperoleh dari penerapan rule base fuzzification untuk mendapatkan nilai α yang digunakan untuk output mesin inferensi.

a. INFERENCE ENGINE OUTPUT

Pada hasil keluaran mesin inferensi, dimensi turbin 20 cm, rasio roda gigi 28, dan kecepatan angin 3 m/s berdasarkan keluaran fuzzifikasi, hasilnya seperti terlihat pada Tabel 5:

Tabel 5. Hasil Inference Engine Output Gear Rasio 28

RULE	RULE BASE	RESULT	RESULT
		INFERENCE INPUT	INFERENCE OUTPUT
I	LOW	0,84	3,8
II	HIGH	0,1	3,5
III	HIGH	0,16	3,8
IV	HIGH	0,1	3,5
V	LOW	0	8
VI	LOW	0	8
VII	HIGH	0	3
VIII	HIGH	0	3

Sedangkan hasil keluaran mesin inferensi adalah sebagai berikut, dimensi turbin 20 cm, rasio roda gigi 60, dan kecepatan angin 3 m/s berdasarkan keluaran fuzzifikasi, hasilnya seperti terlihat pada Tabel 6:

Table 6. Hasil Inference Engine Output Gear Rasio 60

RULE	RULE BASE	RESULT	RESULT
		INFERENCE INPUT	INFERENCE OUTPUT
I	LOW	0,2	7
II	HIGH	0,1	3,5
III	HIGH	0,8	7
IV	HIGH	0,1	3,5
V	LOW	0	8
VI	LOW	0	8
VII	HIGH	0	3
VIII	HIGH	0	3

Pada table 5 dan 6 hasil keluaran inferensi diperoleh dari hasil masukan inferensi yang dihitung secara matematis berdasarkan sesuai dengan keluaran rule base.

Defuzzifikasi menggunakan metode Center Average Defuzzifier sesuai persamaan (3) karena keluaran dari fungsi keanggotaan beberapa proses fuzzy memiliki bentuk yang sama.

Pada hasil Defuzzifikasi dimensi turbin 20 cm, gear ratio 28, dan kecepatan angin 3 m/s berdasarkan keluaran fuzzifikasi, hasilnya sebagai berikut:

$$x = \frac{0,84 * 3,8 + 0,1 * 3,5 + 0,16 * 3,8 + 0,1 * 3,5 + 0 * 8 + 0 * 8 + 0 * 3 + 0 * 3}{0,84 + 0,1 + 0,16 + 0,1 + 0 + 0 + 0 + 0} = 3,75$$

Jadi, tegangan yang dihasilkan dalam perhitungan matematis pada gear ratio 28 adalah 3,75 watt.

Pada hasil Defuzzifikasi dimensi turbin 20 cm, gear ratio 60, dan kecepatan angin 3 m/s berdasarkan keluaran fuzzifikasi, hasilnya sebagai berikut:

$$x = \frac{0,2 * 7 + 0,1 * 3,5 + 0,8 * 7 + 0,1 * 3,5 + 0 * 8 + 0 * 8 + 0 * 3 + 0 * 3}{0,2 + 0,1 + 0,8 + 0,1 + 0 + 0 + 0 + 0} = 6,417$$

Jadi, tegangan yang dihasilkan dalam perhitungan matematis pada gear ratio 60 adalah 6,417 watt.

3.2 Mean Squared Error (MSE)

Sehingga rata rata selisih daya yang dihasilkan dari turbin angin jalan raya dengan analisis metode logika fuzzy menggunakan Mean Squared Error (MSE) sesuai persamaan (4).

- a. Dimensi 64 cm dengan roda gigi 28 dan kecepatan angin 3 m/s adalah 0,0064, tegangan yang dihasilkan dalam perhitungan matematis 3,75 watt, sedangkan pada analisis matlab 3,67 watt.
- b. Dimensi 84 cm dengan roda gigi 60 dan kecepatan angin 3 m/s adalah 0,966, tegangan yang dihasilkan dalam perhitungan matematis 6,417 watt sedangkan pada analisis matlab 7,13 watt.

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada sudu dengan dimensi 64 cm dengan roda gigi 28 dan kecepatan angin 3 m/s, tegangan yang dihasilkan dalam perhitungan matematis adalah 3,75 watt, sedangkan pada analisis matlab tegangan yang dihasilkan adalah 3,67 watt. bahwa nilai Mean Squared Error (MSE) adalah 0,0064. Pada sudu dengan dimensi 84 cm dengan roda gigi 60 dan kecepatan angin 3 m/s, tegangan dalam perhitungan matematis adalah 6,417 watt sedangkan pada analisis matlab tegangan yang dihasilkan adalah 7,13 watt sehingga Mean Squared Error (MSE) nilainya adalah 0,966.

Dapat disimpulkan bahwa fuzzy logic mampu mensimulasikan dimensi turbin dan kecepatan angin rendah serta mengoptimalkan daya yang dihasilkan oleh turbin angin.

ACKNOWLEDGEMENTS

Segala puji bagi Allah SWT yang telah menurunkan ilmu. Serta Nabi Muhammad yang membebaskan kita dari zaman jahiliyah. Tak lupa saya ucapkan terima kasih kepada orang tua saya yang telah mendidik saya tanpa henti. Kepada Bapak Arief Marwanto dan Bapak Muhammad Haddin selaku pembimbing penelitian ini, dan selama saya menempuh pendidikan di Jurusan Pascasarjana Teknik Elektro Universitas Islam Sultan Agung Semarang Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Rumbayan *et al.*, "Diseminasi Pembelajaran Energi Terbarukan Turbin Angin Pada Masyarakat di Desa Kiama Kepulauan Talaud," vol. 3, no. 3, pp. 79–83.
- [2] P. Studi, T. Elektro, F. Teknik, and U. M. Surakarta, "Pemanfaatan energi angin dari pergerakan sepeda motor sebagai sumber energi listrik," 2021.
- [3] E. O. P. A.M. Мамонтов, "濟無No Title No Title," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2019.
- [4] R. H. Muhammad Otong¹, Ri Munarto¹, "Jurnal Ilmiah Setrum," *J. Control Netw. Syst.*, vol. 5, no. 2, pp. 1–13, 2017.
- [5] R. R. Al Hakim, "Model Energi Indonesia, Tinjauan Potensi Energi Terbarukan untuk Ketahanan Energi di Indonesia: Sebuah Ulasan," *ANDASIH J. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–11, 2020.
- [6] A. Prasetyo *et al.*, "Studi Potensi Penerapan Dan Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Indonesia," *Progr. Stud. Tek. Elektro*, pp. 1–12, 2019.
- [7] M. Shoaib, I. Siddiqui, S. Rehman, S. Khan, and L. M. Alhems, "Assessment of wind energy potential using wind energy conversion system," *J. Clean. Prod.*, vol. 216, pp. 346–360, 2019, doi: 10.1016/j.jclepro.2019.01.128.
- [8] K. B. Tawfiq, A. S. Mansour, H. S. Ramadan, M. Becherif, and E. E. El-Kholy, "Wind energy conversion system topologies and converters: Comparative review," *Energy Procedia*, vol. 162, pp. 38–47, 2019, doi: 10.1016/j.egypro.2019.04.005.
- [9] D. K. Bhatto, J. Ahmed Ansari, S. S. Hussain Bukhari, and F. Akhtar Chachar, "Wind energy conversion systems (WECS) Generators: A review," *2019 2nd Int. Conf. Comput. Math. Eng. Technol. iCoMET 2019*, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/ICOMET.2019.8673429.
- [10] M. S. Nazir *et al.*, "Comparison of Small-Scale Wind Energy Conversion Systems: Economic Indexes," *Clean Technol.*, vol. 2, no. 2, pp. 144–155, 2020, doi: 10.3390/cleantechnol2020010.
- [11] J. Wang, D. Bo, X. Ma, Y. Zhang, Z. Li, and Q. Miao, "Adaptive back-stepping control for a permanent magnet synchronous generator wind energy conversion system," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 44, no. 5, pp. 3240–3249, 2019, doi: 10.1016/j.ijhydene.2018.12.023.
- [12] M. Jahanpour-Dehkordi, S. Vaez-Zadeh, and J. Mohammadi, "Development of a Combined Control System to Improve the Performance of a PMSG-Based Wind Energy Conversion System Under Normal and Grid Fault Conditions," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 34, no. 3, pp. 1287–1295, 2019, doi: 10.1109/tec.2019.2912080.

- [13] A. Darmawan and F. Winjaya, "RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN AKSIS VERTIKAL SEBAGAI ALTERNATIF CATU DAYA PADA PERLINTASAN SEBIDANG PERKERETAAPIAN Program Studi Teknologi Elektro Perkeretaapian , Politeknik Perkeretaapian Indonesia Madiun ABSTRAK Peralatan pengaman pintu perlintasan sebid," *J. Perkeretaapi. Indones.*, vol. III, no. November, 2019.
- [14] M. Aditya, S. Aziz, and H. Sukma, "Pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi penerangan jalan," vol. 9, no. 1, pp. 9–16.
- [15] A. R. Youssef, A. I. M. Ali, M. S. R. Saeed, and E. E. M. Mohamed, "Advanced multi-sector P&O maximum power point tracking technique for wind energy conversion system," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 107, no. September 2018, pp. 89–97, 2019, doi: 10.1016/j.ijepes.2018.10.034.
- [16] H. Ahuja and P. Kumar, "A novel approach for coordinated operation of variable speed wind energy conversion in smart grid applications," *Comput. Electr. Eng.*, vol. 77, pp. 72–87, 2019, doi: 10.1016/j.compeleceng.2019.05.004.
- [17] R. P. Simamora and M. Saukat, "Analisis Potensi Energi Angin Dan Analisis Teknik Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Untuk Membangkitkan Energi Listrik (Studi kasus di Gunung Kincir , Desa Ciheras Kecamatan Cipatujah Kabupaten Tasikmalaya) Analysis Of Wind Energy Potentials And Technical ," *Semin. Nas. Tek. Elektro*, no. 22, pp. 91–100, 2019.
- [18] L. Krishnaprasanth, B.; Akshaya, P.R.; Manivannan, "A new fangled highway wind power generation," *Ijrasnet*, vol. 4, no. I, pp. 31–34, 2016.
- [19] M. F. Soetanto *et al.*, "Turbin Angin Poros Vertikal Sebagai Alternatif Energi Lampu Penerangan Jalan Umum (PJU)," *Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, 2012, [Online]. Available: [http://digilib.polban.ac.id/files/disk1/77/jbtpolban-gdl-mfsoetanto-3846-1-turbina-\).pdf](http://digilib.polban.ac.id/files/disk1/77/jbtpolban-gdl-mfsoetanto-3846-1-turbina-).pdf).
- [20] J. H. Lee, Y. T. Lee, and H. C. Lim, "Effect of twist angle on the performance of Savonius wind turbine," *Renew. Energy*, vol. 89, no. April 2016, pp. 231–244, 2016, doi: 10.1016/j.renene.2015.12.012.
- [21] M. Sharma, "Assesment Of Wind Energy Potential From Highways," *Int. J. Eng. Res.*, vol. 1, no. 8, pp. 1–8, 2012, [Online]. Available: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Assesment+Of+Wind+Energy+Potential+From+Highways#0>.
- [22] C. Lapointe and H. Gopalan, "Numerical Investigation of Mini Wind Turbines Near Highways," *J. Sol. Energy Eng. Trans. ASME*, vol. 138, no. 2, pp. 1–4, 2016, doi: 10.1115/1.4032428.
- [23] W. Tian, Z. Mao, X. An, B. Zhang, and H. Wen, "Numerical study of energy recovery from the wakes of moving vehicles on highways by using a vertical axis wind turbine," *Energy*, vol. 141, no. July, pp. 715–728, 2017, doi: 10.1016/j.energy.2017.07.172.
- [24] S. V Saravanan, M. Varatharaj, L. Ayyadurai, S. Palani, and D. Prem, "Design and Fabrication of Vertical Axis Highway Windmill," no. 2, pp. 27–31, 2013.
- [25] A. Muthukumar and M. Balasubramanian, "VAWT Which Makes Use of the Turbulent Winds Generated by the Highway Traffic," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 170–172, 2012, doi: 10.7763/ijet.2012.v4.342.
- [26] A. Zarkesh and M. Heidari, "Developing a new application for wind generators in highways," *Proc. - 5th Int. Conf. Comput. Intell. Commun. Syst. Networks, CICSyN 2013*, pp. 279–282, 2013, doi: 10.1109/CICSYN.2013.39.
- [27] Ismail, E. Pane, and Triyanti, "Optimasi Perancangan Turbin Angin Vertikal Tipe Darrieus Untuk Penerangan Di Jalan Tol," *Semin. Nas. Sains dan Teknol.*, vol. 1, no. November, p. 12, 2017.
- [28] L. Dambrosio, "Data-based fuzzy logic control technique applied to a wind turbine - Synchronous generator system," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2191, no. December, 2019, doi: 10.1063/1.5138786.
- [29] S. Syafriyudin, M. Suyanto, S. Subandi, and M. N. W, "Pengujian Karakteristik Turbin Angin Tipe Horizontal Sudu Flat Multiblade Dengan Pengaturan Sudut Sudu," *J. Electr. Power Control Autom.*, vol. 3, no. 1, p. 15, 2020, doi: 10.33087/jepca.v3i1.34.
- [30] B. Rached, M. Elharoussi, and E. Abdelmounim, "Fuzzy logic control for wind energy conversion system based on DFIG," *2019 Int. Conf. Wirel. Technol. Embed. Intell. Syst. WITS 2019*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2019, doi: 10.1109/WITS.2019.8723722.
- [31] M. R. Islam, J. Hasan, M. R. R. Shipon, M. A. H. Sadi, A. Abuhusseini, and T. K. Roy, "Neuro Fuzzy Logic Controlled Parallel Resonance Type Fault Current Limiter to Improve the Fault Ride through Capability of DFIG Based Wind Farm," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 115314–115334, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3000462.
- [32] K. A. Naik, C. P. Gupta, and E. Fernandez, "Design and implementation of interval type-2 fuzzy logic-PI based adaptive controller for DFIG based wind energy system," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 115, no. August 2019, p. 105468, 2020, doi: 10.1016/j.ijepes.2019.105468

-
- [33] B. Peng, F. Zhang, J. Liang, L. Ding, Z. Liang, and Q. Wu, "Coordinated control strategy for the short-term frequency response of a DFIG-ES system based on wind speed zone classification and fuzzy logic control," *Int. J. Electr. Power Energy Syst.*, vol. 107, no. October 2018, pp. 363–378, 2019, doi: 10.1016/j.ijepes.2018.11.010.
- [34] A. Gencer, "Analysis and control of fault ride-through capability improvement for wind turbine based on a permanent magnet synchronous generator using an interval type-2 fuzzy logic system," *Energies*, vol. 12, no. 12, 2019, doi: 10.3390/en12122289.
- [35] S. Santhakumar, I. Palanivel, and K. Venkatasubramanian, "A study on the rotational behaviour of a Savonius Wind turbine in low rise highways during different monsoons," *Energy Sustain. Dev.*, vol. 40, pp. 1–10, 2017, doi: 10.1016/j.esd.2017.05.002.
- [36] A. Putranto, A. Prasetyo, and A. Zاتمiko, *Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga*. 2011.