Studi Eksperimental Tegangan Bangkitan Akibat Posisi Magnet Dan Diameter Kumparan Pada Turbin Angin Tanpa Sudu

Muhammad Rifqy Bagas Syah[1], Ardi Noerpamoengkas[2]
Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya[1,2]
e-mail: muhammadrifqybagassyah@gmail.com[1]

ABSTRACT

This study analyses how coil diameter variation and bar magnet position affect the voltage output of a bladeless wind turbine. The research addresses the need for renewable energy technology that is efficient, environmentally friendly, and cost-effective. Experiments used coil diameters of 30 mm, 40 mm, and 50 mm, with magnets placed at the top, middle, and bottom positions. An oscilloscope measured the voltage amplitude at a fixed wind speed generated by a blower. Results show that larger coil diameters generate higher voltages because their greater cross-sectional area intercepts more magnetic flux. Positioning the magnet in the middle of the bar produced the highest voltage amplitude, as it aligns with the point of maximum oscillation displacement. In conclusion, combining a larger coil diameter with a middle magnet position maximizes electricity generation performance in a bladeless wind turbine.

Kata kunci: *bladeless wind turbine, coil, generated voltage, magnet.*

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dampak variasi diameter kumparan dan posisi magnet batang terhadap tegangan yang dihasilkan pada turbin angin tanpa sudu (*Bladeless Wind Turbine*). Latar belakang penelitian ini didorong oleh kebutuhan untuk mengembangkan teknologi energi terbarukan yang efisien, ramah lingkungan, dan berbiaya rendah. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen dengan variasi diameter kumparan sebesar 30 mm, 40 mm, dan 50 mm, serta tiga posisi magnet yaitu atas, tengah, dan bawah. Data amplitudo tegangan bangkitan yang dihasilkan diukur menggunakan osiloskop pada kecepatan angin tertentu yang dihasilkan oleh *blower*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar diameter kumparan, semakin tinggi tegangan yang dihasilkan, hal ini disebabkan oleh peningkatan luas penampang yang memotong fluks magnetik. Selain itu, penempatan magnet pada posisi tengah batang menghasilkan amplitudo tegangan bangkitan tertinggi dibandingkan dengan posisi atas dan bawah, karena berada pada titik simpangan osilasi maksimum. Kombinasi diameter kumparan yang besar dengan posisi magnet di tengah dapat memaksimalkan kinerja pembangkitan listrik pada turbin angin tanpa sudu.

Kata kunci: Kumparan, magnet, tegangan bangkitan, turbin angin tanpa sudu.

PENDAHULUAN

Pemanen energi getaran memanfaatkan getaran untuk membangkitkan listrik. Penggetarnya bisa terdapat pada *shock absorber* [1], *swingarm* [2], *speed bump* [3], lantai yang memanfaatkan langkah kaki [4], dan pendulum [5]. Sumber getaran dapat berasal dari gerak manusia [4], gelombang laut [5], [6], dan angin [7], [8]. Mekanisme pembangkitan listrik umumnya menggunakan elektromagnetik [6], dan piezoelektrik [4], [7].

Penelitian pemanenan energi getaran dengan pendulum umumnya digunakan untuk gelombang laut. Mekanisme pendulum ditaruh di atas ponton yang mengambang di atas permukaan air dan bergerak mengikuti gelombang laut. Posisi pendulum dapat mendatar sejajar permukaan ponton dan permukaan air [9], maupun vertikal menggantung [5]. Mekanisme mirip pendulum diterapkan dengan posisi terbalik dan menggunakan model batang terjepit, sumber getaran dari hembusan angin, yang disebut *bladeless wind turbine* [8].

Salah satu mekanisme pembangkitan listrik adalah penggunaan piezoelektrik. Mekanisme ini menggunakan material piezoelektrik yang mampu membangkitkan listrik dari regangan atau deformasi yang terjadi. Pembebanan berosilasi dengan penekanan seperti pada pemanenan energi dari langkah kaki [4]. Cara lain dengan memberikan tarikan seperti pada pemanenan energi dari deformasi gerak batang terjepit [7]. Mekanisme pembangkitan ini umum digunakan pada *bladeless wind turbine*.

Mekanisme pembangkitan listrik lain adalah dengan elektromagnetik. Mekanisme ini memanfaatkan gerak relatif antara kumparan dan magnet permanen. Konfigurasi generator dapat berupa rotari [6], dan linier [10]. Mekanisme ini juga ditemukan pada *bladeless wind turbine* [11], [12].

ISSN 2775-5630

Pemanen energi getaran dengan *bladeless wind turbine* menggunakan getaran batang terjepit berdiri yang dihembus angin [13]. Batang ini bergetar karena adanya interaksi aliran udara pada struktur batang tersebut [14]. *Bladeless wind turbine* ini dapat menggunakan mekanisme piezoelektrik [7], dan elektromagnetik [11], [15]. Alat ini dipengaruhi oleh massa dan kekakuan batang. Nilai parameter batang yang tepat mampu menghasilkan getaran maksimal [16].
Pada penelitian sebelumnya, *bladeless wind turbine* menempatkan mekanisme pembangkitan listrik pada bagian pangkal batang. Pada mekanisme elektromagnetik, pergerakan batang pada bagian pangkal terbatas dan kecil. Deformasi batang maksimal pada bagian ujung batang. Pada penelitian ini, deformasi batang besar ini dimanfaatkan dengan menempatkan mekanisme elektromagnetik. Gerak respons ujung batang yang besar akan menghasilkan perubahan fluks magnet yang besar.

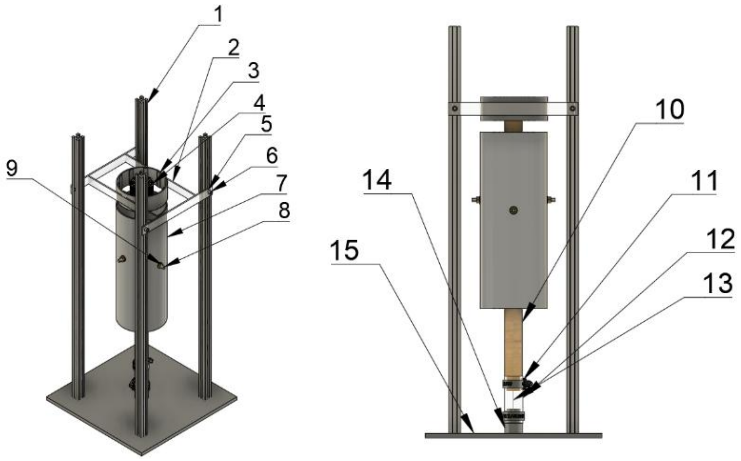
TINJAUAN PUSTAKA

Enrique meneliti pengaruh bentuk *mast* terhadap tegangan bangkitan *bladeless wind turbine* [17]. Variasi bentuk *mast* antara lain *convergent*, *straight*, dan *divergent*. Bentuk *straight* adalah bentuk umum *bladeless wind turbine*. Bentuk *convergent* dengan ukuran penampang lebih besar di pangkal, sebaliknya bentuk *divergent* ukuran penampang lebih besar di ujung atas. Bentuk *convergent* mengalami puncak pembangkitan energi dengan kecepatan angin paling rendah. Sedangkan bentuk *divergent* mengalami puncak dengan kecepatan angin paling tinggi.
Kang melakukan pengaturan pada kekakuan *bladeless wind turbine* [12]. Kekakuan ini mempengaruhi frekuensi natural *bladeless wind turbine*. Mekanismenya menggunakan sistem magnet dan *magnetorheological elastomers*. Pilihan aktif mekanisme dengan mengaktifkan magnet untuk kekakuan tinggi. Demikian sebaliknya. Pengaktifannya meningkatkan frekuensi natural sebesar 65%. Hal ini mempengaruhi tegangan bangkitan. Respons getaran mengikuti tegangan bangkitan. Respons getaran maksimal saat resonansi juga diikuti dengan tegangan bangkitan.
Tripathi melakukan studi frekuensi dan *static structural* pada *bladeless wind turbine* dengan berbagai macam geometri penampang [18]. Model *mast* menggunakan bentuk *divergent* seperti penelitian Enrique. Variasi penampang sejumlah 5 dengan bentuk permukaan lingkaran, dan yang serupa gelombang sinusoidal dan satu bentuk dekagon. Frekuensi natural tertinggi terjadi pada bentuk penampang lingkaran, dan terendah pada bentuk sinus 10 gelombang. Deformasi maksimum pada penampang bentuk sinus 10 gelombang, dan minimum pada penampang bentuk dekagon.
Bahadur mengembangkan *bladeless wind turbine* yang dapat diatur kekakuan *stand* [15]. *Stand* berupa batang kantilever yang panjangnya dapat diatur. Kekakuan diatur dengan mengatur panjang batang tersebut. Semakin pendek semakin kaku *stand*. Mekanisme menggunakan elektromagnetik. Kekakuan diatur sedemikian sehingga terjadi resonansi dan bangkitan energi maksimal.
Younis mengembangkan *bladeless wind turbine* dengan modifikasi bentuk penampang *mast* dan mekanisme piezoelektrik [19]. Modifikasi bentuk dengan menambahkan *vorticity*. Penggunaan modifikasi bentuk dan peningkatan kecepatan angin meningkatkan energi bangkitan.

METODE

Penelitian ini menggunakan peralatan uji seperti pada Gambar 1. Di mana nomor 1 rangka aluminium profile, 2 *holder* magnet, 3 magnet Neodymium, 4 kumparan kawat tembaga, 5 mur *sliding*, 6 L-*bolt*, 7 pipa diameter 114 mm, 8 as drat luar M6, 9 mur M6, 10 batang kayu, 11 *clamp*, 12 selang silikon, 13 plat aluminium, 14 as baja, 15 plat baja. Pada peralatan uji ini, *mast* meliputi batang dan pipa, dan *stand* meliputi plat aluminium. Mekanisme pemanenan energi menggunakan mekanisme elektromagnetik dengan sistem magnet dan kumparan. Magnet menggunakan grade N52, panjang 40 mm, lebar 10 mm, tebal 2 mm, sejumlah 10 buah, dan dirangkai mengelilingi dan berjarak di sekitar kumparan. Kumparan diletakan pada ujung atas batang kayu. Panjang batang kayu 500 mm, dan bagian pipa yang terkena angin sepanjang 350 mm. Jarak antara *blower* dan peralatan uji sejauh 3 m. Kecepatan angin sebesar 300 m/s.

ISSN 2775-5630



pandangan isometri pandangan depan

Gambar 1. Peralatan uji.

Variasi dilakukan pada diameter kumparan yang ada pada ujung atas batang kayu, dan posisi rangkaian magnet terhadap kumparan. Rangkaian magnet dapat diubah posisi, digeser vertikal, dengan mekanisme geser *holder* magnet sepanjang *aluminium profile* rangka. Variasi diameter kumparan tersebut antara lain 30 mm, 40 mm, dan 50 mm, dengan posisi rangkaian magnet tengah terhadap kumparan. Variasi posisi rangkaian magnet terhadap kumparan antara lain atas, tengah dan bawah, dengan diameter kumparan 40 mm. Berikut ilustrasi kondisi posisi rangkaian magnet terhadap kumparan tersebut.



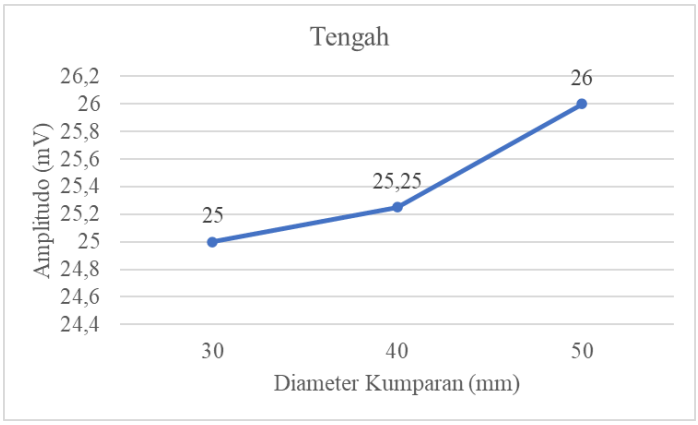
(a) (b) (c)

Gambar 2. Ilustrasi posisi rangkaian magnet terhadap kumparan, atas (a), tengah (b), bawah (c).

Data yang diambil adalah voltase yang terbangkit dari mekanisme. Bangkitan listrik diterima oleh oscilloscope. Dari oscilloscope, diambil data nilai amplitudo tegangan bangkitan yang ditimbulkan. Data nilai amplitudo ini digrafikkan dengan variabel bebas variasi nilai diameter kumparan dan posisi rangkaian magnet terhadap kumparan.

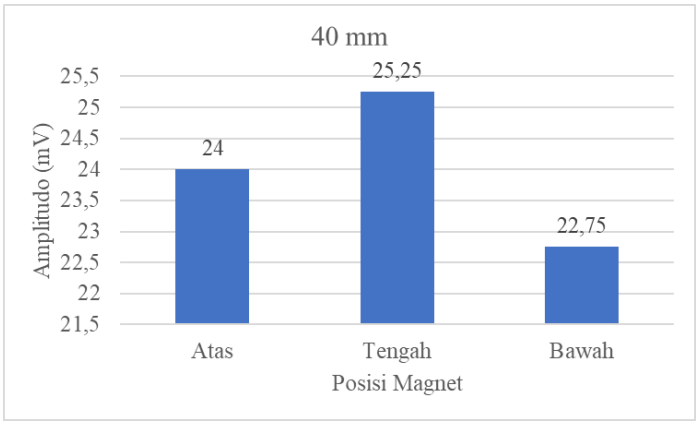
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 3 grafik pengaruh diameter kumparan terhadap nilai amplitudo tegangan bangkitan. Terlihat tren semakin besar ukuran diameter kumparan maka semakin besar nilai amplitudo tegangan bangkitan. Nilai amplitudo tegangan bangkitan tertinggi sebesar 26 mV pada kondisi diameter kumparan 50 mm.



Gambar 3. Grafik diameter kumparan (mm) vs amplitudo tegangan bangkitan (mV).

Gambar 4 pengaruh posisi rangkaian magnet-kumparan terhadap nilai amplitudo tegangan bangkitan. Terlihat nilai amplitudo tegangan bangkitan tertinggi di kondisi posisi rangkaian magnet tengah terhadap kumparan. Nilai amplitudo tegangan bangkitan tertinggi tersebut sebesar 25.25 mV. Sedangkan nilai amplitudo tegangan bangkitan terendah sebesar 22.75 mV di kondisi posisi rangkaian magnet bawah terhadap kumparan.



Gambar 4. Grafik posisi magnet vs amplitudo tegangan bangkitan (mV).

Peningkatan diameter kumparan pada sistem turbin angin tanpa sudu berpengaruh langsung pada luas penampang kumparan yang terpapar perubahan fluks magnetik. Diameter kumparan semakin besar berarti kumparan semakin dekat dengan magnet, sehingga kuat medan magnet dan perubahannya juga semakin besar. Besarnya tegangan induksi berbanding lurus dengan laju perubahan fluks magnetik. Oleh karena itu, diameter kumparan yang lebih besar akan meningkatkan jumlah lilitan kawat yang terinduksi, sehingga amplitudo tegangan bangkitan menjadi lebih besar. Hal ini sejalan dengan hasil uji yang menunjukkan tren kenaikan amplitudo tegangan bangkitan pada diameter kumparan yang lebih besar.

Posisi magnet memengaruhi seberapa besar fluks magnetik memotong kumparan. Magnet yang ditempatkan di posisi tengah berada pada area simpangan osilasi maksimum batang turbin angin tanpa sudu, sehingga perubahan fluks magnetiknya juga maksimal. Semakin besar perubahan fluks magnetik, maka semakin besar pula tegangan induksi yang dihasilkan. Hal ini sesuai dengan hasil pengujian yang menunjukkan posisi magnet tengah selalu menghasilkan amplitudo tegangan bangkitan tertinggi dibandingkan posisi atas maupun bawah. Sedangkan posisi magnet yang bawah terhadap kumparan menyebabkan posisi ujung kumparan terjauh tidak mendekati rangkaian magnet, yang berbeda dengan posisi tengah dan atas. Hal ini menyebabkan perubahan fluks magnet rendah yang diikuti nilai amplitudo tegangan bangkitan yang paling rendah. Dengan demikian, posisi magnet di tengah paling optimal dalam pembangkitan listrik.

KESIMPULAN

Pada kondisi respons getaran maksimal, *displacement* tertinggi pada model *bladeless wind turbine* adalah pada bagian ujungnya. Oleh karena itu, pada penelitian ini meletakkan mekanisme pemanenan energi pada

sekitar ujung peralatan uji. Mekanisme elektromagnetik yang digunakan terdiri dari rangkaian magnet yang mengelilingi berjarak sekitar kumparan yang diletakkan pada ujung atas alat uji. Penelitian ini memvariasikan diameter kumparan dan posisi rangkaian magnet terhadap kumparan. Dari pengujian diperoleh hasil bahwa semakin besar diameter kumparan maka semakin besar nilai amplitudo tegangan bangkitan, dengan nilai maksimal 26 mV. Selain itu, nilai amplitudo tegangan bangkitan maksimal 25.25 mV di kondisi posisi rangkaian magnet tengah terhadap kumparan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] S. Alhumaid *et al.*, "The Effect of Vibration Energy Harvester Mechanism Toward the Shock Absorber Efficiency," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1594, no. 1, p. 012034, Jul. 2020, doi: 10.1088/1742-6596/1594/1/012034.

[2] B. E. Saputra and H. L. Guntur, "Desain dan Analisa Single-sided Regenerative Swingarm Untuk E-Scooter: Design and Analysis of Single-Sided Regenerative Swingarm for E-Scooter," *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin Undiksha*, vol. 12, no. 2, pp. 83–97, Aug. 2024, doi: 10.23887/JPTM.V12I2.83489.

[3] W. Huang *et al.*, "A simple speed bump energy harvester," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 2523, no. 1, p. 012006, Jul. 2023, doi: 10.1088/1742-6596/2523/1/012006.

[4] M. Z. Azmi and S. F. Syed Adnan, "Energy Generating from Footsteps on Piezoelectric Module," *IEACon 2024 - 2024 IEEE Industrial Electronics and Applications Conference*, pp. 152–156, 2024, doi: 10.1109/IEACON61321.2024.10797263.

[5] A. Noerpamoengkas and M. Ulum, "PEMODELAN GERAK PENDULUM VERTIKAL PADA KONVERTER ENERGI GELOMBANG BERINERSIA TAMBAHAN SAAT RESONANSI," *Jurnal IPTEK*, vol. 21, no. 1, pp. 61–68, May 2017.

[6] M. Ulum and A. Noerpamoengkas, "STUDI EKSPERIMENTAL PENGARUH FREKUENSI GELOMBANG DAN DIAMETER KAWAT GENERATOR DC TERHADAP DAYA BANGKITAN MODEL MEKANISME PLTGL TIPE APUNG," *JMESI (Journal of Mechanical Engineering, Science, and Innovation)*, vol. 1, no. 1 (April), May 2021.

[7] Z. Chen *et al.*, "Experimental Investigation of Three-Dimensional Multi-Directional Piezoelectric Wind Energy Harvester," *Sensors 2024, Vol. 24, Page 7757*, vol. 24, no. 23, p. 7757, Dec. 2024, doi: 10.3390/S24237757.

[8] R. S. Eldawy, A. A. Ghorab, and M. M. , Sayed, "A State-of-the-Art Review on Vortex Induced Vibrations Phenomenon Bladeless Wind Turbine Technology," *J. Sci. Res. Rep.*, vol. 30, no. 11, pp. 1045–1056, Nov. 2024, doi: 10.9734/JSRR/2024/V30I112631.

[9] A. Noerpamoengkas, H. L. Guntur, and Zamrisyaf, "Modeling Flat Pendulum And Simulating Its Validation At The Pendulum-Flat Pontoon Model Sea Wave Electric Generator Application," *Jurnal IPTEK*, vol. 17, no. 1, pp. 10–22, 2013.

[10] P. Zeng and A. Khaligh, "A permanent-magnet linear motion driven kinetic energy harvester," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 60, no. 12, pp. 5737–5746, 2013, doi: 10.1109/TIE.2012.2229674.

[11] J. N. Agnihotri, M. M. Bhamare, M. H. Amin, K. D. Patel, and D. G. Subhedar, "Design Enhancement and Vibration Analysis of Bladeless Wind Turbine," *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 775–786, 2022, doi: 10.1007/978-981-16-9952-8_67/SAVE-RESEARCH.

[12] H. ; Kang *et al.*, "A Novel Small-Scale Bladeless Wind Turbine Using Vortex-Induced Vibration and a Discrete Resonance-Shifting Module," *Applied Sciences 2024, Vol. 14, Page 8217*, vol. 14, no. 18, p. 8217, Sep. 2024, doi: 10.3390/APP14188217.

[13] D. Cao, J. Wang, X. Guo, S. K. Lai, and Y. Shen, "Recent advancement of flow-induced piezoelectric vibration energy harvesting techniques: principles, structures, and nonlinear designs," *Applied Mathematics and Mechanics 2022 43:7*, vol. 43, no. 7, pp. 959–978, Jul. 2022, doi: 10.1007/S10483-022-2867-7.

[14] S. Francis *et al.*, "Modelling and CFD simulation of vortex bladeless wind turbine," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2421, no. 1, Jan. 2022, doi: 10.1063/5.0076790/2822231.
[15] I. Bahadur, "Dynamic Modeling and Investigation of a Tunable Vortex Bladeless Wind Turbine," *Energies 2022, Vol. 15, Page 6773*, vol. 15, no. 18, p. 6773, Sep. 2022, doi: 10.3390/EN15186773.
[16] Z. Mohamed, M. Soliman, M. Feteha, and E. Saber, "A novel optimal design approach for bladeless wind turbines considering mechanical properties of composite materials used," *Scientific Reports 2024 15:1*, vol. 15, no. 1, pp. 1355-, Jan. 2025, doi: 10.1038/s41598-024-82385-9.
[17] E. González-González, D. J. Yáñez, S. Del Pozo, and S. Lagüela, "Optimizing Bladeless Wind Turbines: Morphological Analysis and Lock-In Range Variations," *Applied Sciences 2024, Vol. 14, Page 2815*, vol. 14, no. 7, p. 2815, Mar. 2024, doi: 10.3390/APP14072815.
[18] A. Tripathi, S. Thakur, and T. Aggarwal, "Modal and Static Analysis of Vortex Bladeless Wind Turbines with Different Geometries," *E3S Web of Conferences*, vol. 430, p. 01254, Oct. 2023, doi: 10.1051/E3SCONF/202343001254.
[19] A. Younis, Z. Dong, M. ElBadawy, A. AlAnazi, H. Salem, and A. AlAwadhi, "Design and Development of Bladeless Vibration-Based Piezoelectric Energy–Harvesting Wind Turbine," *Applied Sciences 2022, Vol. 12, Page 7769*, vol. 12, no. 15, p. 7769, Aug. 2022, doi: 10.3390/APP12157769.