

Pengaruh Variasi Sudut Kemiringan Bilah terhadap Efisiensi Turbin Angin Sumbu Horizontal (HAWT) Berdiameter 500 mm untuk membangkitkan generator listrik DC 5-24 Volt

Widyantoro¹, Nizam Fikry Akbar², Damar jati Pamungkas³, Damar jati Pamungkas⁴, Aldi Muhammad⁵,
Lutfi Muhamad Ridwan⁶

^{1,2,3,4,5,6} Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mayasari Bakti Tasikmalaya
Jl. Jl. Tamansari No.210, Mulyasari, Kec. Tamansari, Kab. Tasikmalaya, Jawa Barat 46196
E-mail: ¹widyantoro82@gmail.com

Submitted Date: April 22, 2025

Revised Date: Mei 17, 2025

Reviewed Date: Mei 15, 2025

Accepted Date: Mei 30, 2025

Abstract

The increasing demand for energy has led to a growing dependency on fossil fuels, contributing to carbon dioxide (CO₂) emissions and environmental pollution. Wind energy is one of the renewable energy alternatives that is environmentally friendly and sustainable. This study aims to investigate the effect of blade tilt angle variations on the efficiency of a 500 mm diameter horizontal axis wind turbine (HAWT) made of wood, combined with a DC electric generator. The experimental method involved measuring voltage, current, and output power at various blade tilt angles (10° to 40°). The results indicate that the highest energy conversion efficiency occurs at a tilt angle of 15°, with an efficiency of 2.04%. Although the output power increased at higher tilt angles, the efficiency decreased due to the imbalance between input mechanical power and output electrical power. Therefore, a tilt angle of 15° is recommended as the optimal angle for the operation of this turbine-generator system to achieve maximum energy conversion efficiency.

Keywords: Wind turbine, blade tilt angle, energy efficiency, DC generator, renewable energy

Abstrak

Permintaan energi yang terus meningkat menyebabkan ketergantungan pada sumber energi fosil yang berkontribusi terhadap emisi karbon dioksida (CO₂) dan pencemaran lingkungan. Energi angin merupakan salah satu alternatif energi terbarukan yang ramah lingkungan dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi sudut kemiringan bilah terhadap efisiensi sistem turbin angin sumbu horizontal (HAWT) dengan diameter bilah 500 mm berbahan kayu yang dikombinasikan dengan generator listrik DC. Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan mengukur tegangan, arus listrik, dan daya keluaran pada berbagai sudut kemiringan bilah (10° hingga 40°). Hasil pengujian menunjukkan bahwa efisiensi konversi energi tertinggi terjadi pada sudut kemiringan 15°, dengan efisiensi sebesar 2,04%. Meskipun daya keluaran meningkat pada sudut kemiringan yang lebih besar, efisiensi cenderung menurun akibat ketidakseimbangan antara input daya mekanik dan output daya listrik. Oleh karena itu, sudut kemiringan 15° direkomendasikan sebagai sudut optimal dalam pengoperasian sistem turbin-generator ini untuk mencapai efisiensi konversi energi yang maksimal.

Kata kunci: Turbin angin, sudut kemiringan bilah, efisiensi energi, generator DC, energi terbarukan

I. Pendahuluan

Penggunaan energi listrik yang bersumber dari fosil juga berkontribusi terhadap peningkatan emisi karbon dioksida (CO₂), yang berdampak negatif pada lingkungan (Darwin, 2004). sementara itu permintaan kebutuhan energi di seluruh

dunia terus tumbuh pesat (Heier, 1998). menyebabkan kelangkaan sehingga di hampir semua negara berpacu untuk membangkitkan energi dari sumber-sumber energi baru dan terbarukan (Ardiatma, 2017). Energi angin adalah sumber energi terbarukan yang

dimanfaatkan secara luas untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil. Kincir angin terus dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan menghadapi masalah kekurangan sumber daya alam tak terbarukan sebagai bahan utama pembangkit listrik. (Bahri W Syamsul, Dkk, 2014). Potensi angin di Indonesia sangat besar untuk dikembangkan sebagai alternatif sumber energi terbarukan. Indonesia memiliki total garis pantai mencapai 81.000 km dengan kecepatan angin rata-rata 3 – 5 m/s, bahkan mencapai 10 m/s di beberapa daerah. (Ikaningsih dan Rosihan, 2019).

Turbin angin mengonversi energi kinetik angin menjadi listrik secara ramah lingkungan dan berkelanjutan. Energi angin yang dihasilkan dari gerakan udara akibat adanya perbedaan tekanan udara di dimanfaatkan untuk menghasilkan listrik (I.qsyah, 2017).

Turbin angin terdiri dari bilah-bilah yang terpasang ke sebuah poros. Selanjutnya, poros dihubungkan ke generator, kemudian ke baterai yang berfungsi sebagai penyimpan energi. Dalam hal ini, generator berfungsi mengubah energi mekanik menjadi energi listrik. Turbin angin yang banyak digunakan turbin angin sumbu horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine-HAWT) dan Turbin angin sumbu vertikal (Vertical Axis Wind Turbine-VAWT) (Machrus, Dkk, 2015). (Horizontal Axis Wind Turbine-HAWT) adalah turbin angin sumbu horisontal dengan sumbu putar yang terletak sejajar dengan permukaan tanah dan sumbu putarnya rotornya searah dengan angin yang datang dan generator terletak di ujung (Pintako, 2019). Vertical Axis Wind Turbine -VAWT) merupakan turbin yang Sumbu rotasi rotornya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Contoh adalah turbin savonius yang terdiri dari dua atau tiga plat yang ditekuk arah tangensial terhadap sumbu putar (Pintako, 2019). Komponen turbin angin terdiri dari struktur yang saling system yang mengkonversi energi angin menjadi energi mekanik menghasilkan energi listrik.

Komponen turbin listrik sudu, bilah, generator.

Generator adalah alat mengubah energi mekanik menjadi energi listrik Sumber energi mekanik generator didapat dari putaran poros generator yang didapat dari putaran poros generator yang digerakan oleh turbin uap, air, angin dan penggerak lainnya (I.qsyah, 2017). Generator listrik bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik yang ditemukan oleh Michael Faraday. Prinsip ini menyatakan bahwa perubahan medan magnet dalam suatu kumparan akan menghasilkan arus listrik. Ketika sebuah konduktor (kumparan kawat tembaga) diputar di dalam medan magnet atau sebaliknya, medan magnet yang berubah akan menginduksi tegangan listrik dalam konduktor tersebut. Tegangan ini akan menghasilkan arus listrik jika ada jalur tertutup.

Bilah merupakan komponen utama dalam system pembangkit tenaga listrik tenaga angin, yaitu komponen yang berinteraksi langsung dengan angin berfungsi untuk mengubah gerak angin menjadi mekanik (Rahim, 2021). Kebanyakan turbin angin memiliki tiga bilah karena memiliki efisiensi yang baik (Kurniawan, 2016). Berdasarkan design bilah dibedakan 3 jenis taper, taperless, Inverse Taper. Taper merupakan bilah yang ujungnya lebih kecil dari pada pangkalnya. Bilah jenis ini cocok untuk angin berkecepatan tinggi. Taperless bilah ujung dan pangkal memiliki lebar yang sama. Bilah jenis ini cocok untuk angin yang berkecepatan sedang. Inverse Taper bilah yang ujungnya lebih besar daripada pangkalnya. Bilah jenis ini cocok untuk daerah dengan angin berkecepatan rendah. Dengan putaran yang rendah, maka torsi yang dihasilkan akan tinggi. (Tim Lentera Angin Nusantara, 2014)

Berdasarkan penelitian terdahulu mengenai turbin angin sumbu horizontal tentang pengaruh blade terhadap daya turbin angin horizontal menunjukan pengujian 3 blade menghasilkan daya yang paling besar (Pranoto dan Ali, 2018). Hasil dari

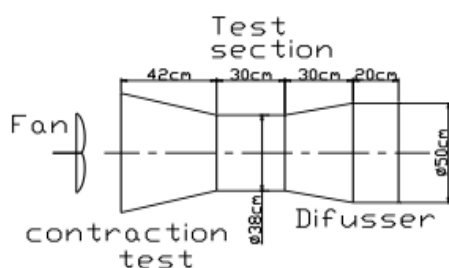
penelitian bilah jenis taper dan taperless dengan airfoil NACA 4412 mendapatkan bahwa bilah jenis taperless lebih optimal dari bilah jenis taper (Nuraini, Dkk 2019). desain bilah taperless dilaporkan bahwa penerapan bilah taperless untuk kecepatan angin di Tasikmalaya yang berkisar antara 7-12 m/s sangat cocok digunakan pada turbin angin dengan nilai C_p maksimum 0.5 (Sari dan Laksmiana, 2019). Berdasarkan penelitian yang dilakukan bahwa Twist dan Chord pada bilah sangat mempengaruhi desain dan performa turbin angin itu sendiri (Augustiantyo, Dkk 2021).

Tujuan penelitian ini untuk mengetahui kinerja bilah turbin angin diameter 500 mm dengan bahan kayu pada variasi sudut bilah dan berapa tegangan arus listrik dan daya yang dapat dihasilkan dari bilah pada generator listrik DC.

II. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan menguji kinerja dihubungkan dengan generator listrik DC. Pengujian dilakukan dengan mengukur rpm dengan tachometer anemometer untuk mengukur kecepatan angin dan avoneter untuk mengukur tegangan yang keluar dari generator.

Pengambilan data didasarkan pada kinerja bilah turbin angin diameter 500 mm dicatat abntara lain tegangan listrik, arus listrik, dan daya yang dibangkitkan generator listrik variasi sudut bilah yang dipengaruhi kecepatan angin.



Gambar 1 Terowongan angin (Widyantoro dan Wahyudin 2024).

Pada gambar 1 bentuk terowongan angin yang akan digunakan untuk uji coba. generator listrik yang digunakan. Generator ini mempunyai aruslistrik DC atau arus

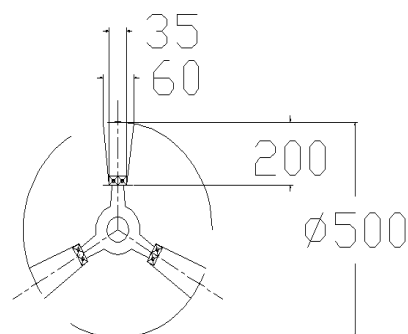
searah dengan spesifikasi tegangan 30 volt, daya 10 Watt, dan putaran 2750 rpm (Widyantoro, dkk 2024).

Anemometer berfungsi sebagai pengukur kecepatan angin, tachometer berfungsi mengukur kecepatan poros kincir angin, Avometer berfungsi sebagai mengukur voltase dan arus listrik, busur bilah untuk mengukur sudut benda ukur berbagai macam sudut bilah, bilah turbin angin.

Pada turbin bilah turbin angin berfungsi sebagai komponen yang berinteraksi dengan angin sebelum dikonversi menjadi energi mekanik yang diubah menjadi energi listrik oleh generator Pada table 1 dan gambar 1 merupakan rincian spesifikasi bilah turbin angin

Tabel 1. Rincian Dimensi Turbin angin

No.	Nama	Nilai
1	Diameter lingkaran	500 mm
2	Jumlah sudu	3 buah
3	Panjang bilah	200 mm
4	Lebar bilah bawah	35 mm
5	Lebar bilah atas	60 mm
6	Sudut kemiringan	10^0 - 40^0
7	Diameterudukan bilah	50 mm
8	Porosudukan	10 mm
9	Tebal plat besi	1.5 mm



Gambar 2 bilah turbin angin

Gambar 2 merupakan bilah turbin .bilah turbin angin yang digunakan untuk penelitian

III. Hasil dan Pembahasan

Dari pengambilan data didapat kecepatan aliran udara dalam terowongan angin 7,9 m/s. Massa jenis udara 1,2 kg/m³. Debit udara 1,56 m³/s. laju aliran udara 1.97 kg/s.

Tabel 2 hasil pengujian power poros turbin angin

Tingkat Kemiringan sudut	Power poros turbin angin (Watt)
10 ⁰	16,5
15 ⁰	17,3
20 ⁰	24,98
25 ⁰	74,63
30 ⁰	110,54
35 ⁰	170,56
40 ⁰	97,53

Dari tabel 2 daya poros turbin mengalami peningkatan bertahap dari 16,5 Watt pada sudut 10°, menjadi 170,56 Watt pada sudut 35°. Peningkatan ini menggambarkan bahwa semakin besar sudut kemiringan (hingga titik optimum), maka energi yang diubah menjadi energi mekanik juga semakin besar. Namun, pada sudut 40°, daya justru menurun menjadi 97,53 Watt. Penurunan ini diduga disebabkan oleh sudut kemiringan yang terlalu besar, sehingga aliran udara kehilangan arah optimal untuk memutar turbin secara efisien.

Fenomena ini menunjukkan bahwa terdapat **sudut optimum**, yakni pada 35°, di mana efisiensi konversi energi mencapai titik tertinggi. Setelah melewati titik tersebut, kerugian energi mulai meningkat akibat perubahan arah dan kecepatan aliran air yang tidak lagi selaras dengan sudut kerja turbin..

Secara keseluruhan, hasil pengujian ini dapat dijadikan acuan untuk menentukan sudut kemiringan optimal dalam sistem turbin angin skala kecil, guna memaksimalkan output daya dan efisiensi system

Tabel 3 Hubungan Kemiringan sudut dengan Daya Listrik yang dihasilkan generator.

Tingkat Kemiringan sudut	Arus (Ampere)	Voltase (volt)	Power Generator listrik
10 ⁰	0.05	2,93	0.1465
15 ⁰	0,07	5,03	0.3521
20 ⁰	0,08	4,87	0.3896
25 ⁰	0,10	4,97	0.497
30 ⁰	0,14	4,87	0.6818
35 ⁰	0,16	5,73	0.9168
40 ⁰	0,04	2,87	0.1148

Dari tabel 3 Hubungan Kemiringan sudut dengan Daya Listrik yang dihasilkan generator. Tingkat kemiringan meningkat, secara umum daya listrik juga meningkat, hingga titik tertentu. Dari 10⁰ hingga 35⁰, terjadi kenaikan signifikan pada daya. Dari 0.1465 W dengan sudut kemiringan bilah 10⁰ ke daya 0.9168 W sudut kemiringan bilah 35⁰. Namun, pada sudut kemiringan bilah 40⁰, daya tiba-tiba turun drastis ke 0.1148 W.

Tabel 4

Tingkat Kemiringan sudut	Daya Poros turbin (volt)	Power Generator listrik	Efisiensi %
10 ⁰	16,5	0.1465	0,89
15 ⁰	17,3	0.3521	2,04
20 ⁰	24,98	0.3896	1,56
25 ⁰	74,63	0.497	0,67
30 ⁰	110,54	0.6818	0,62
35 ⁰	170,56	0.9168	0,54
40 ⁰	97,53	0.1148	0,12

Dari tabel 4 daya listrik tertinggi dihasilkan pada sudut 35° sebesar 0,9168 W, namun dengan efisiensi yang rendah yaitu 0,54%. Efisiensi tertinggi dicapai pada sudut 15° sebesar 2,04%, meskipun daya listriknya belum mencapai maksimum. Terjadi penurunan efisiensi secara signifikan setelah sudut 20°, meskipun daya listrik sempat meningkat. Hal ini mengindikasikan bahwa peningkatan sudut

kemiringan tidak selalu sebanding dengan peningkatan efisiensi sistem.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian terhadap sistem pembangkitan listrik menggunakan turbin pada berbagai sudut kemiringan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Efisiensi konversi energi tertinggi dicapai pada sudut kemiringan 15° , yaitu sebesar **2,04%**.
2. Meskipun daya output generator meningkat pada sudut yang lebih besar, seperti 35° , efisiensi justru menurun karena daya input dari poros turbin meningkat secara signifikan.
3. Efisiensi sistem secara umum cenderung menurun setelah melewati sudut optimal, menunjukkan bahwa penambahan sudut kemiringan tidak selalu meningkatkan efektivitas konversi energi.
4. Oleh karena itu, sudut kemiringan 15° dapat direkomendasikan sebagai sudut optimal untuk pengoperasian sistem turbin-generator ini dalam rangka memperoleh efisiensi energi yang maksimal.
5. Sudut kemiringan sangat mempengaruhi daya dan efisiensi sistem turbin.

Ucapan terimakasih

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Mayasari Bakti atas dukungan dan bantuan pendanaan yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik. Semoga hasil dari penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan penerapan teknologi di masyarakat.

Daftar pustaka

- Nuraini, Cecep, S. A., Fachruddin F, (2019), *Analisis Perbandingan Bilah Turbin Angin Jenis Taper dengan Taperless pada Turbin Angin Skala Mikro di PT. Lentera Bumi Nusantara*, Prosiding Semnas Mesin PNJ, pp. 138- 146, 2019.
- Ardiatma Brian (2017). *Rancang Bangun Mesin Turbin Angin Savonius Sebagai Penggerak Pompa Air*. Jurnal Ilmiah, Surabaya:Jurusan Teknik Pemersinan Kapal, Politeknik Negeri Surabaya
- Augustiantyo, R. Setiawan and Oleh, (2021). Optimasi Desain Bilah Dengan Metode Linearisasi Chord dan Twist terhadap Performa Turbin Angin Sumbu Horizontal, Jurnal Media Mesin, vol. 22, no. 2, pp. 97-110,
- Darwin, Roy, (2004). *Effects of Greenhouse Gas Emissions on World Agriculture, Food Consumption, and Economic Welfare*. *Journal of Climate Change*, 66(2004) page 191-238
- Heier, S.,(1998) *Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems*, John Wiley & Sons Ltd., Chichester,
- I.qsyah, A.M Hidayatullah. Ridwan. (2017), *Rancangan Pembangkit Listrik Kincir Angin Menggunakan Empat Sumbu Horizontal*, Skripsi Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro Universitas Muhamadiyah Makassar.
- Kurniawan hanif (2016) *Permodelan turbin angin sumbu vertikal VAWT type H rotor untuk pembangkit listrik Tenaga angin di Pulau Tabuhan*. Fakultas Teknologi Kelautan Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya
- N.H. Sari and W. G. Laksmana, (2019). *Perancangan bilah tipe taperless pada kincir angin: studi kasus di PT. Lentera Bumi Nusantara Tasikmalaya*, *Dinamika Teknik Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 104-109

- Pintako, Aji . (2019) *Rancang bangun bilah Inverse Taper dengan airfoil S1210 Pada turbin angin sumbu horisontal skala kecil* Skripsi Falkutas Teknik Universitas Gadjah Mada
- Pranoto , Ali Akbar (2018). *Analisa Daya Turbin Angin Sumbu Horizontal Profil NACA 0015 Dengan Variasi Jumlah Blade*, Seminar Nasional Inovasi Teknologi UN PGRI Kediri.
- Rahim, muhammad Nur Rahmat (2021). *Prediksi daya output turbin angin berdasarkan Faktor lingkungan dengan metode dekomposisi*, Skripsi Fakultas Teknik Jurusan Teknik Elektro universitas Hassanudin Makassar.
- S. B. Widodo, T. A. Adlie, and H. Umar (2014), *Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Dua Tingkat Empat Sudu Lengkung*, Jurutera, vol. 1, no. 01, pp. 14 - 17,
- Tim Lentera Angin Nusantara, (2014) *Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin. Tasikmalaya*
- Widyantoro, Mochamad Irlan Malik, Nurwahid, Deden Junaedi. (2024) *Analisis Pengaruh Debit Air Terhadap Kinerja Turbin Pada Pembangkit Listrik Nano Hidro (PLNH)*. Enthalpy Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin vol. 10 no.3, pp 95-100.
- Widyantoro, Wahyudin (2024). *Analisa Kinerja Terowongan Angin melalui Simulasi Computational Fluid Dynamics: Studi Kasus pada Terowongan Angin Subsonik Untuk alat Pratikum Mekanika Fluida* Enthalpy Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin vol. 9 no. 2 ,pp 40-44