
**RANCANG BANGUN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN DENGAN
MEMANFAATKAN ENERGI ANGIN DARI EXHAUST MESIN KOMPRESOR**

Bambang Tri Jatmoko¹, Komarudin²

^{1,2}Universitas Dian Nusantara

Email: bambang.trijatmoko@gmail.com¹, komarudin@undira.ac.id²

Abstrak: Peningkatan kebutuhan energi listrik di sektor industri mendorong perlunya pemanfaatan sumber energi alternatif yang lebih efisien dan ramah lingkungan. Salah satu potensi energi terbarukan yang belum banyak dimanfaatkan adalah angin buangan (exhaust) dari mesin kompresor, yang memiliki aliran udara konstan dan berkecepatan tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membuat, dan menguji prototipe pembangkit listrik tenaga angin skala kecil berkapasitas 300 Watt dengan memanfaatkan angin buang kompresor menggunakan turbin Savonius yang dimodifikasi menjadi poros horizontal. Metode penelitian menggunakan pendekatan rekayasa (engineering design) berbasis Project-Based Learning (PjBL), meliputi tahapan perancangan, pembuatan prototipe, pengukuran eksperimental, serta analisis kinerja sistem. Prototipe turbin dirancang dengan diameter 0,62 m dan tinggi 0,93 m berdasarkan perhitungan luas sapuan 0,58 m² pada kecepatan angin kompresor 15 m/s. Pengujian dilakukan pada tiga variasi kecepatan angin yaitu 7,4 m/s, 13,7 m/s, dan 15,2 m/s. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya angin maksimum mencapai 1240 W dan dapat dikonversi menjadi daya mekanik turbin tertinggi sebesar 372 W dengan efisiensi 25–30%, sesuai karakteristik umum turbin Savonius. Sistem transmisi pulley rasio 1:4 meningkatkan putaran generator hingga 4643 rpm, menghasilkan daya listrik maksimum 70,47 W. Efisiensi generator tertinggi adalah 29,5% pada rpm rendah, sedangkan pada putaran tinggi efisiensi menurun akibat rugi mekanis dan rugi tembaga pada generator. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa angin buangan kompresor memiliki potensi besar sebagai sumber energi terbarukan skala kecil. Sistem yang dikembangkan mampu menghasilkan energi listrik untuk beban ringan seperti lampu LED, kipas angin, dan pengisian baterai. Hasil penelitian ini memberikan kontribusi penting dalam pemanfaatan energi terbuang di sektor industri serta menawarkan alternatif solusi efisiensi energi yang ekonomis dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: Turbin Savonius, Energi Buangan Kompresor, Pembangkit Listrik Tenaga Angin, Prototipe 300 Watt, Energi Terbarukan.

Abstract: The increasing demand for electrical energy in the industrial sector encourages the need to utilize alternative energy sources that are more efficient and environmentally friendly. One of the renewable energy potentials that has not been widely utilized is exhaust wind from compressor engines, which has a constant and high-speed air flow. This study aims to design, build, and test a prototype of a small-scale wind power plant with a capacity of 300 Watts by utilizing compressor exhaust wind using a Savonius turbine modified to a horizontal axis. The research method uses an engineering design approach based on Project-Based Learning (PjBL), including the stages of design, prototype creation, experimental measurements, and

system performance analysis. The turbine prototype was designed with a diameter of 0.62 m and a height of 0.93 m based on the calculation of a swept area of 0.58 m² at a compressor wind speed of 15 m/s. Testing was carried out at three variations of wind speed, namely 7.4 m/s, 13.7 m/s, and 15.2 m/s. The results showed that the maximum wind power reached 1,240 W and could be converted into the highest turbine mechanical power of 372 W with an efficiency of 25–30%, in accordance with the general characteristics of the Savonius turbine. A 1:4 pulley transmission system increased the generator speed to 4,643 rpm, producing a maximum electrical power of 70.47 W. The highest generator efficiency was 29.5% at low rpm, while at high rpm the efficiency decreased due to mechanical and copper losses in the generator. Overall, this study demonstrates that compressor exhaust wind has great potential as a small-scale renewable energy source. The developed system is capable of generating electrical energy for light loads such as LED lights, fans, and battery charging. The results of this study provide an important contribution to the utilization of wasted energy in the industrial sector and offer an alternative, economical and environmentally friendly energy efficiency solution..

Keywords: *Savonius Turbine, Compressor Exhaust Energy, Wind Power Plant, 300 Watt Prototype, Renewable Energy.*

PENDAHULUAN

Di era modern, kebutuhan listrik untuk industri, perkantoran, dan rumah tangga terus meningkat. Sebaliknya, sumber energi konvensional seperti bahan bakar fosil dan batubara menghadapi masalah yang semakin meningkat terkait ketersediaan dan dampak negatifnya terhadap lingkungan. Akibatnya, ada inisiatif di seluruh dunia untuk memanfaatkan sumber energi alternatif yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan.

Salah satu sumber energi terbarukan yang telah banyak dikembangkan di seluruh dunia adalah energi angin. Karena mereka membutuhkan area terbuka yang luas dan kecepatan angin yang rendah, pengembangan pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) konvensional masih menghadapi masalah. Kompresor dan mesin industri lainnya biasanya menghasilkan aliran angin buangan yang kuat dan terus-menerus, terutama dalam aplikasi industri. Akibatnya, mereka dapat dianggap sebagai sumber energi alternatif yang belum banyak dipelajari. Aliran buangan ini sering dibuang begitu saja tanpa digunakan. Karena masalah ini, muncul ide untuk merancang dan membangun pembangkit listrik tenaga angin skala kecil. Energi kinetik angin buangan dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik oleh penggerak ini.

Rumusan Masalah

Permasalahan utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang sistem turbin angin dengan kapasitas 300Watt yang menggunakan angin buangan (*Exhaust*) dari mesin kompresor secara optimal?
2. Dalam berbagai kondisi operasional, berapa banyak energi listrik yang dapat dihasilkan dari energi angin buangan?
3. Dalam situasi ini, apa saja parameter desain dan yang mempengaruhi efisiensi sistem konversi energi angin menjadi energi listrik?

Hipotesis Penelitian

Hipotesis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

"Jika angin buangan (*Exhaust*) dari mesin kompresor dimanfaatkan secara optimal melalui desain turbin yang sesuai, maka dapat dihasilkan energi listrik dalam jumlah yang signifikan untuk skala kecil atau kebutuhan lokal."

Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Desain dan pembuatan prototipe pembangkit listrik tenaga angin dengan kapasitas 300Watt yang menggunakan angin buangan (*exhaust*) mesin kompresor.
2. Menguji bagaimana turbin angin mengubah energi kinetik dari angin buangan (*Exhaust*) menjadi Listrik.
3. Menilai efisiensi sistem dan bagaimana parameter desain memengaruhi jumlah daya yang dihasilkan; dan
4. Menyediakan solusi praktis untuk penggunaan energi sisa dalam konteks industri.

Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan mencapai tujuan yang diinginkan, batas-batas masalah berikut harus ditentukan:

1. Tempat penelitian

Tempat penelitian dan pengujian lapangan dilakukan di PT.XXX yang memiliki sistem kompresor aktif.

2. Sumber Energi Angin

Angin yang digunakan adalah hasil dari aliran udara buangan (*exhaust*) mesin kompresor, bukan angin alami.

3. Skala Sistem

Untuk memverifikasi konsep, sistem dirancang dengan kapasitas 300 Watt.

4. Keluaran Energi

Energi listrik yang dihasilkan hanya digunakan untuk beban Maksimal 150 watt, seperti lampu LED, kipas angin, pengisian baterai dan tidak untuk aplikasi beban/daya diatas 150 Watt.

METODE PENELITIAN

1. Rancang bangun

Untuk mengubah ide atau desain sistem menjadi sistem yang dapat digunakan, seperti kode atau bahasa pemrograman, digunakan rangkaian proses yang disebut rancang bangun. Tujuan dari tahap ini adalah untuk memberikan gambaran mendalam tentang perancangan dan penerapan setiap komponen sistem. Di sisi lain, proses pembangunan sistem adalah serangkaian tindakan yang bertujuan untuk membuat sistem baru, mengganti sistem yang sudah ada, atau memperbaiki sistem yang sedang digunakan, baik secara menyeluruh maupun parsial. Dalam rancang bangun, perancangan dan pembangunan sistem dilakukan secara bersamaan. Perancangan adalah proses merumuskan pekerjaan yang akan dilakukan dengan berbagai metode serta memberikan deskripsi arsitektur sistem yang lengkap, termasuk rincian setiap komponen dan kemungkinan keterbatasan dalam implementasinya. Mengubah hasil analisis menjadi rancangan sistem yang dapat digunakan, baik perangkat lunak maupun perangkat keras, adalah tujuan perancangan. Sementara itu, pembangunan atau pengembangan sistem mencakup pembuatan sistem baru, penggantian, atau penyempurnaan sistem yang sudah ada.

2. Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB)

Pembangkit listrik tenaga angin menggunakan angin sebagai sumber energi. Pembangkit ini dapat menghasilkan listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin, menjadikannya sistem alternatif yang sangat berkembang pesat. Ini karena energi angin yang tidak terbatas dapat diubah menjadi listrik dengan menggunakan kincir angin atau turbin angin. Cara kerjanya sangat mudah.

Energi kinetik angin digunakan. Angin akan memengaruhi permukaan bilah, bagian pembangkit, dan memutar bagian rotor generator. Berdasarkan teori Michael Faraday bahwa lilitan tembaga mengubah energi kinetik menjadi energi listrik, hal ini mengubah fluks magnetik pada stator.[3]

3. Turbin Angin

Karena mereka mengumpulkan energi gerak dari angin dan mengubahnya menjadi energi mekanik yang digunakan untuk menggerakkan generator, turbin angin adalah komponen penting dari sistem pembangkit listrik tenaga angin. Bentuk dan desain turbin angin menentukan klasifikasi mereka. Termasuk dalam kategori ini adalah tipe fan, sailwing, Darrieus, Savonius, dan propeller, serta turbin dengan poros vertikal dan horizontal.

Pada awalnya, turbin angin digunakan untuk mengairi dan mengolah padi serta menghasilkan listrik. Banyak turbin angin yang lebih tua dibuat di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya. Biasanya disebut windmill.

4. Energi Angin

Energi angin relatif bersih dan ramah lingkungan karena tidak menghasilkan karbon dioksida (CO₂), sulphur dioksida, dan nitrogen oksida, yang merupakan gas yang menyebabkan hujan asam. Selain itu, energi ini tidak menghasilkan limbah yang merugikan lingkungan atau manusia. Oleh karena itu, penting untuk diingat bahwa hasil produksi energi, apapun bentuknya, selalu berdampak pada lingkungan. Turbin angin, di sisi lain, memiliki dampak yang sangat kecil dan mudah digunakan di lingkungan lokal.

5. Pemulihan Energi dari Udara Buang

Udara buang dari menara pendingin atau sistem kompresor memiliki kecepatan dan arah yang hampir sama dan dapat berfungsi sebagai sumber energi potensial untuk turbin angin. Dengan penempatan turbin yang tepat, energi kinetik dari udara buang dapat diubah menjadi energi listrik, meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan.

6. Rumus Perhitungan

1) Menghitung Potensi Daya Angin/Input Power (P_{angin})

Energi kinetik angin yang melewati bidang turbin dihitung / Daya potensial angin yang tersedia pada area sapuan turbin, dengan:

$$P_{\text{angin}} = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

Keterangan:

- P_{angin} = Potensi daya angin (Watt)
- ρ = Massa jenis udara atau densitas udara ($\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3$)
- V = kecepatan angin yang mengenai turbin (m/s)
- A = Luas sapuan turbin (m^2)

2) Menghitung luas sapuan dengan diameter & tinggi turbin

Untuk turbin **Savonius** berbentuk silinder:

$$A = D \times H$$

di mana:

D = diameter turbine (m),

H = tinggi turbin (m)

7. Koefisien Daya Turbin (C_p)

Nilai *Coefficient of Power* (C_p) turbin Savonius (0.20 – 0.32). Sumber dari berbagai penelitian Savonius: Goh, K. et al. (2018) dan Khan, M.J. & Iqbal, M.T. (2005).

1) Perhitungan Daya Mekanik Turbin (P_{turbim})

$$P_{\text{turbim}} = C_p \times P_{\text{angin}}$$

Dimana:

- P_{turbim} = Daya Mekanik Turbin (Watt)
- P_{angin} = Potensi daya angin (Watt)
- C_p = Koefisien Daya Turbin

2) Perhitungan Kecepatan Sudut dan Torsi Turbin

a. Menghitung Kecepatan sudu (ω)

$$\omega = \frac{2\pi N}{60}$$

Dimana:

- ω = Kecepatan sudut (rad/s)
- N = kecepatan putaran poros (rpm)

b. Menghitung torsi turbin (T)

$$\tau = \frac{P_{turbin}}{\omega}$$

Dimana:

- T = Torsi Turbin (Nm)
- ω = Kecepatan sudut (rad/s)
- P_{turbin} = Daya Mekanik Turbin (Watt)

3) Menghitung Effisiensi turbin

$$\eta_{turbin} = \frac{P_{turbin}}{P_{angin}} \times 100\%$$

Dimana:

- η_{turbin} = Efisiensi Turbin (%)
- P_{turbin} = Daya Mekanik Turbin (Watt)
- P_{angin} = Potensi daya angin (Watt)

8. Menghitung Daya listrik Output Generator (P_{gen})

$$P_{gen} = V \times I$$

Dimana:

- P_{gen} = Daya output generator (Watt)
- V = Tegangan Listrik (Volt)
- I = Arus Listrik (Ampere)

1) Menghitung Efisiensi Generator

Efisiensi generator (η_{gen}) menunjukkan seberapa besar energi mekanik yang diterima dari turbin dapat dikonversi menjadi energi listrik.

$$\eta_{gen} = \frac{P_{gen}}{P_{turbin}} \times 100\%$$

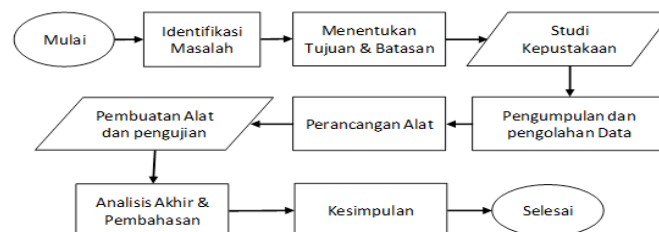
Dimana:

- η_{gen} = Efisiensi generator (%)
- P_{gen} = Daya output generator (Watt)
- P_{turbin} = Daya Mekanik Turbin (Watt).

METODE PENELITIAN

1. Diagram Alir

Berikut adalah alir penelitian yang menggambarkan proses kerja penelitian dari awal hingga akhir:



Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

2. Prosedur /Metode Pengambilan Data

Metode pengumpulan data digunakan dalam penelitian ini untuk membantu proses perancangan dan pengujian sistem pembangkit listrik tenaga angin yang menggunakan aliran udara dari exhaust mesin kompresor. Adapun metode yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Observasi Lapangan Kondisi lingkungan dan kondisi kerja mesin kompresor diamati secara langsung. Ini termasuk mengukur kecepatan angin keluar, suhu lingkungan, dan waktu kerja mesin.
2. Pengukuran Langsung Untuk mendapatkan parameter yang diperlukan untuk perancangan, pengukuran data teknis dilakukan, seperti:

- Kecepatan angin dari *exhaust* menggunakan anemometer.
 - Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan turbin menggunakan multimeter.
 - Putaran turbin menggunakan tachometer.
3. Studi Literatur Turbin angin kapasitas 300 watt, karakteristik udara mesin kompresor, dan prinsip kerja generator listrik dari energi mekanik adalah subjek dari penelitian yang dilakukan, yang mencakup referensi teknis, artikel ilmiah, dan jurnal.
4. Dokumentasi
- Untuk digunakan sebagai bukti dan referensi pengolahan data, foto, video, dan catatan lapangan digunakan untuk mendokumentasikan proses perancangan, pembuatan, dan pengujian sistem.

3. Jenis Penelitian

Penelitian tentang rancang bangun atau rekayasa (engineering design research) ini menggunakan pendekatan pembelajaran berbasis proyek (PjBL). Tujuan penelitian adalah untuk mengembangkan dan menerapkan sistem pembangkit listrik tenaga angin (PLTB) kecil yang menggunakan udara buang dari kompresor sebagai sumber energi

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perhitungan Perancangan Turbin.

Pada saat melakukan perancangan turbin ada beberapa data yang kami miliki. sebagai berikut:

- Kecepatan angin hasil pengukuran di lapangan (v) = 15 m/s
- Jumlah sudu (blade) = 8
- Target daya keluaran (P_{out}) = 300 Watt
- Jenis turbin = Savonius

B. Langkah perhitungan turbin

1. Menghitung Daya Angin dengan Luas Sapuan Turbin

Energi kinetik angin yang dapat ditangkap oleh turbin:

$$P_{angin} = \frac{1}{2} \rho A V^3$$

Dimana:

- ρ = massa jenis udara $\approx 1,225 \text{ kg/m}^3$
- A = luas sapuan turbin (m^2)
- V = kecepatan angin (m/s)

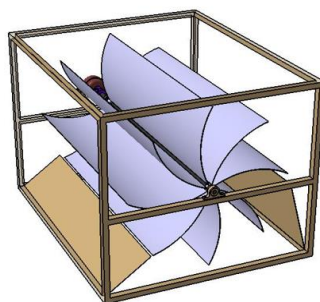
2. Hasil dari perhitungan

Dari hasil perhitungan diatas didapatkan data atau spesifikasi untuk melakukan pembuatan turbin.

Tabel 4.1 spesifikasi turbin

Parameter	Nilai Hasil Perhitungan
Daya target	300 W
Kecepatan angin	15 m/s
Luas sapuan A	0.58 m^2
Diameter D	0.62 m
Tinggi H	0.93 m

3. Gambar Turbin Angin Assembling 3D



Gambar 4.4 Turbin angin Assembling 3D

4. Koefisien Daya Turbin (C_p)

Koefisien daya Savonius umumnya rendah. Untuk penelitian ini saya asumsikan hasil uji berada pada kisaran realistis berikut :

- $V = 7.4 \text{ m/s} \rightarrow C_p \text{ Penelitain kami asumsikan mempunyai nilai} = 0.25$
- $V = 13.7 \text{ m/s} \rightarrow C_p \text{ Penelitain kami asumsikan mempunyai nilai} = 0.28$

- $V = 15.2 \text{ m/s} \rightarrow C_p \text{ Penelitian kami asumsikan mempunyai nilai } = 0.30$

5. Perhitungan Daya Mekanik Turbin (P_{turbin})

Tabel 4.5 Daya mekanik Turbin

Percobaan	P_{angin} (W)	C_p	P_{turbin} (W)
1	143	0.25	36
2	908	0.28	254
3	1240	0.30	372

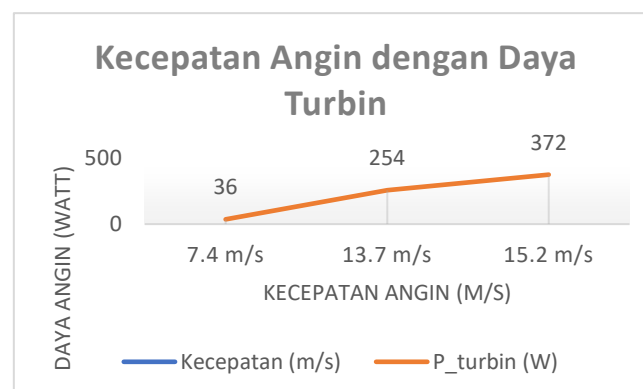
6. Rekapitulasi Hasil Penelitian

Tabel 4.10 Rekapitulasi Hasil Penelitian

Kecepatan Angin	rpm Turbin	rpm Generator	Daya Angin (W)	Daya Turbin (W)	Tegangan (V)	Arus (A)	Daya Generator (W)	Ef. Turbin	Ef. Generator
7.4 m/s	771.3	3085.2	142.9	35.7	18.2	0.58	10.55	25%	29.5%
13.7 m/s	865.6	3462.4	908.6	245.3	22.5	0.64	14.40	27%	5.9%
15.2 m/s	1160.9	4643.6	1239.4	371.8	48.6	1.45	70.47	30%	18.9%

C. Grafik Hasil Penelitian

1. Grafik Kecepatan Angin dengan Daya Turbin



Analisis dan Pembahasan Kecepatan Angin dengan Daya Turbin

Hubungan antara kecepatan angin buang kompresor dengan daya keluaran turbin (P_{turbin}). Pengujian dilakukan pada tiga variasi kecepatan, yaitu 7,4 m/s, 13,7 m/s, dan 15,2 m/s. Hasil pengukuran memperlihatkan peningkatan daya yang signifikan seiring meningkatnya kecepatan angin.

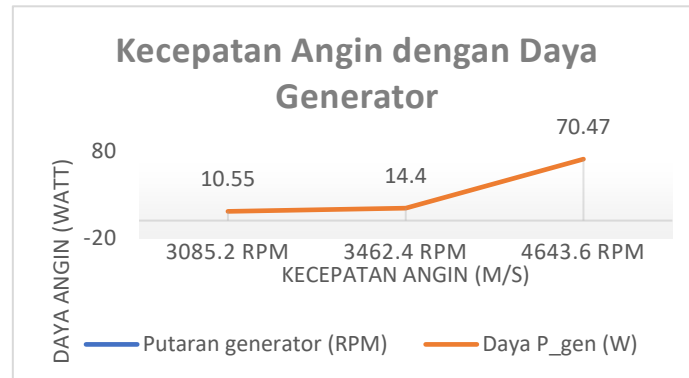
Pada kecepatan 7,4 m/s, turbin hanya mampu menghasilkan daya sebesar 36 W. Nilai daya yang relatif rendah ini disebabkan oleh energi kinetik aliran udara yang masih terbatas, sehingga torsi yang dihasilkan rotor belum optimal. Secara teoritis, daya angin berbanding lurus dengan kecepatan angin, sehingga perubahan kecil pada kecepatan dapat memberikan pengaruh besar terhadap daya.

Ketika kecepatan ditingkatkan menjadi 13,7 m/s, daya turbin naik drastis menjadi 254 W. Lonjakan daya ini menunjukkan bahwa pada kecepatan menengah, rotor mulai bekerja pada kondisi mendekati optimum. Efisiensi konversi energi meningkat karena bilah turbin menerima hembusan angin yang cukup kuat untuk memutar rotor dengan kecepatan lebih stabil.

Pada kecepatan tertinggi yaitu 15,2 m/s, turbin mencatat daya keluaran 372 W. Kondisi ini mengindikasikan bahwa sistem turbin yang dirancang mampu memanfaatkan energi angin buang kompresor secara efektif. Peningkatan daya sebesar 118 W dari kecepatan 13,7 m/s ke 15,2 m/s memperkuat karakteristik teoritis bahwa daya terus meningkat seiring meningkatnya kecepatan angin, meskipun peningkatannya tidak lagi sebanding karena adanya batasan aerodinamika rotor dan losses mekanis.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini membuktikan bahwa angin buang kompresor memiliki potensi besar sebagai sumber energi alternatif untuk menggerakkan turbin angin skala kecil. Sistem rancang bangun yang diuji menunjukkan performa yang stabil pada berbagai tingkat kecepatan angin, dengan tren peningkatan daya yang konsisten. Temuan ini sekaligus mempertegas bahwa pemanfaatan energi buang dapat meningkatkan efisiensi sistem kompresor serta mendukung upaya pengembangan energi terbarukan pada skala industri maupun laboratorium.

2. Grafik Kecepatan Putar Generator dengan Daya Generator



Analisis dan Pembahasan Kecepatan Putar Generator dengan Daya Generator

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem turbin–generator yang memanfaatkan angin buang kompresor sebagai sumber energi. Data hasil pengukuran menunjukkan bahwa baik daya turbin maupun daya generator meningkat signifikan seiring bertambahnya kecepatan angin dan putaran rotor.

Pada pengujian turbin, kecepatan angin 7,4 m/s menghasilkan daya 36 W. Ketika kecepatan meningkat menjadi 13,7 m/s dan 15,2 m/s, daya meningkat menjadi 254 W dan 372 W. Tren ini sesuai dengan teori bahwa daya angin berbanding lurus dengan kubik kecepatan angin ($P \propto v^3$), sehingga perubahan kecil pada kecepatan angin menghasilkan peningkatan daya yang besar. Hal ini menunjukkan bahwa energi buang kompresor memberikan hembusan yang cukup kuat dan stabil untuk menggerakkan turbin secara efektif.

Pada pengujian generator, hubungan antara putaran rotor dan daya keluaran juga menunjukkan peningkatan yang konsisten. Putaran 3085,2 RPM menghasilkan daya 10,55 W, sementara pada 3462,4 RPM daya meningkat menjadi 14,4 W. Pada putaran tertinggi, yaitu 4643,6 RPM, daya melonjak hingga 70,47 W. Kondisi ini menjelaskan bahwa generator bekerja sesuai prinsip induksi elektromagnetik, di mana peningkatan putaran akan meningkatkan tegangan terinduksi dan menghasilkan daya yang lebih besar.

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem rancang bangun mampu mengonversi energi angin buang kompresor menjadi energi listrik dengan baik. Turbin memberikan torsi dan kecepatan putar yang cukup untuk menggerakkan

generator, sementara generator menunjukkan respons daya yang sesuai dengan peningkatan putaran. Temuan ini membuktikan bahwa pemanfaatan angin buang kompresor merupakan solusi efektif dan berpotensi dikembangkan sebagai sumber energi alternatif yang efisien dan berkelanjutan.

3. Grafik Efisiensi Turbin dan Generator

Analisis dan Pembahasan Efisiensi Sistem

Data hasil pengujian menunjukkan variasi efisiensi turbin dan generator pada tiga tingkat kecepatan angin, yaitu 7,4 m/s, 13,7 m/s, dan 15,2 m/s. Secara umum, efisiensi turbin menunjukkan tren meningkat, sedangkan efisiensi generator mengalami fluktuasi. Hal ini memberikan gambaran penting terkait performa masing-masing komponen dalam sistem pembangkit listrik tenaga angin yang memanfaatkan angin buang kompresor.

Pada kecepatan angin 7,4 m/s, efisiensi turbin sebesar 25%, sedangkan efisiensi generator mencapai 29,5%. Nilai efisiensi generator yang tinggi pada kondisi ini menunjukkan bahwa beban mekanis yang diterima generator masih ringan sehingga konversi energi mekanis ke energi listrik berlangsung lebih optimal.

Ketika kecepatan angin meningkat menjadi 13,7 m/s, efisiensi turbin naik menjadi 27%, menandakan peningkatan kemampuan rotor dalam menangkap energi angin. Namun, efisiensi generator justru turun drastis menjadi 5,9%. Penurunan signifikan ini dapat terjadi akibat meningkatnya torsi dan putaran yang melebihi titik kerja optimal generator, sehingga muncul losses seperti peningkatan panas kumparan, gesekan mekanis, serta ketidaksesuaian beban listrik.

Pada kecepatan tertinggi, 15,2 m/s, efisiensi turbin mencapai nilai tertinggi yaitu 30%. Hal ini menunjukkan bahwa desain turbin bekerja semakin optimal pada kecepatan angin yang lebih tinggi. Sebaliknya, efisiensi generator naik kembali menjadi 18,9%, namun masih belum setinggi kondisi awal. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pada kecepatan angin tinggi, generator kembali berada lebih dekat pada kondisi operasi yang stabil, meskipun masih terpengaruh oleh beban mekanis dan peningkatan putaran rotor.

Secara keseluruhan, analisis menunjukkan bahwa turbin memberikan kinerja yang konsisten dan meningkat seiring kecepatan angin, sedangkan generator memiliki titik operasi optimum yang sensitif terhadap perubahan putaran dan beban. Hasil ini

menegaskan pentingnya kesesuaian antara karakteristik turbin, rasio transmisi, dan kapasitas generator untuk mendapatkan efisiensi sistem yang lebih tinggi. Temuan ini juga memperlihatkan bahwa angin buang kompresor dapat dimanfaatkan secara efektif sebagai sumber energi alternatif, namun optimasi sistem mekanik dan elektrik diperlukan agar efisiensi keseluruhan dapat lebih maksimal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Rancang bangun turbin Savonius diameter 0.62 m dan panjang 0.93 m berhasil bekerja baik menggunakan angin keluaran kompresor.
2. Daya mekanik turbin tertinggi diperoleh pada kecepatan angin 15.2 m/s sebesar 371.8 W.
3. Sistem pulley 1:4 mampu menaikkan putaran generator hingga 4643 rpm sehingga PMG dapat menghasilkan daya maksimum 70.47 W.
4. Efisiensi turbin mencapai 30%, sesuai standar performa turbin Savonius.
5. Efisiensi generator PMG tertinggi 29.5% pada kecepatan angin rendah, namun mencapai daya maksimum pada rpm tinggi.
6. Udara kompresor terbukti dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan berskala kecil untuk aplikasi laboratorium atau pengisian baterai kecil.

Saran

1. Menggunakan pulley rasio lebih tinggi (1:5 atau 1:6) untuk menaikkan rpm PMG pada kecepatan angin rendah.
2. Menggunakan rectifier + DC-DC buck/boost untuk menstabilkan tegangan PMG.
3. Sudu dapat dimodifikasi dengan sudut lengkung berbeda untuk meningkatkan C_p .
4. Menggunakan bearing low-friction agar efisiensi meningkat.
5. Menguji dengan beberapa variasi tipe kompresor agar data lebih komprehensif.

DAFTAR PUSTAKA

- Surahman, A., Tri Prastowo, A., & Ashari Aziz, L. (2022). Rancang Alat Keamanan Sepeda Motor Honda Beat Berbasis SIM GSM Menggunakan Metode Rancang Bangun. *Jurnal Teknologi dan Sistem Tertanam*, 03, No. 01, 17–24

- D. S. Prayoga, M. S. S, M. Sc, and I. Hidayat, “Rancang Bangun Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Vertical-Axis Wind Turbine Design and Implementation of Wind Power Plant Using Vertical-Axis Wind Turbine,” ISSN 2355-9365 e-Proceeding Eng., vol. 3, no. 1, pp. 124–128, 2016.
- R. Sumiati, “Rancang bangun miniatur turbin angin pembangkit listrik untuk media pembelajaran,” *J. Tek. Mesin, Staf pengajar Jur. Tek. Mesin Politek. Negeri Padang*, vol. 3, no. 2, pp. 1–8, 2013D.
- M. L. DEWI, “Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal Dengan Modifikasi Rotor Savonius L Untuk Optimasi Kinerja Turbin,” Tugas Akhir, Mat. Fak. Ilmu, Dan Alam, Pengetah. Maret, Univ. Sebel., 2010.
- F. Kurniadi, “Pembuatan turbin ventilator,” *TA*, 2016.
- S. Bahari, “Analisis Pembangkit Listrik Tenaga Angin Di Desa Sungai Nibung Kecamatan Teluk Pakedai Kabupaten Kubu Raya,” *Tugas Akhir, Jur. Tek. Elektro, Fak. Tek. Univ. Tanjungpura.*, 2015.
- Surahman, A., Tri Prastowo, A., & Ashari Aziz, L. (2022). Rancang Alat Keamanan Sepeda Motor Honda Beat Berbasis SIM GSM Menggunakan Metode Rancang Bangun. *Jurnal Teknologi dan Sistem Tertanam* , 03, No. 01, 17–24.
- S. Kusuma A.1), “Analisis Generator 3 Fasa Tipe Magnet Permanen Dengan Penggerak Mula Turbin Angin Propeller 3 Blade Untuk Pltb,” *Eksergi J. Tek. Energi*, no. 1, pp. 12–17, 2015.
- J. T. Elektro, F. Teknik, and U. M. Surakarta, “Perancangan Kincir Angin Tipe Axial,” *Tugas Akhir, Jur. Tek. Elektro Fak. Tek. Univ. Muhammadiyah Surakarta*, 2012.