

Pengaruh Torsi terhadap Daya Keluaran pada Pembangkit Listrik Tenaga *Hybrid Solar Panel* dan *Turbin Helix*

Samsul Nur Hidayat^{1*}, Tedi Indra Gunawan¹, Bilal Maulana Yusuf¹, Emir Ridwan¹, dan
Rahman Filzi¹

¹Program Studi Konversi Energi, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Jakarta, Jl. Prof. G. A. Siwabessy, Kampus
UI, Depok, 16425².

Abstrak

Indonesia merupakan negara dengan konsumsi energi fosil yang besar. Konsumsi energi yang tidak diimbangi dengan cadangan energi fosil yang tersisa akan menyebabkan menipisnya cadangan energi fosil yang ada. Potensi pemanfaatan energi alternatif di Indonesia termasuk besar, namun minim dalam pemanfaatannya. Sumber energi alternatif di Indonesia berupa energi surya, angin, air, dan panas bumi perlu ditingkatkan pemanfaatannya agar ketika cadangan energi fosil telah habis maka energi alternatif dapat menggantikannya. Salah satu pemanfaatan energi alternative adalah dengan membuat pembangkit listrik tenaga hybrid (PLTH) angin dan surya. Turbin angin helix salah satu pemanfaatan energi yang terdapat pada pembangkit Listrik Tenaga Hybrid ini. penelitian ini dilakukan untuk mengetahui besaran daya yang dapat dikeluarkan oleh turbin helix yang ditentukan dengan kecepatan angin yang memutar turbin sehingga memutar generator dengan rentang kecepatan angin dari 2 m/s hingga 6 m/s pada selisih kecepatan 0,2 m/s. Data hasil dalam penelitian ini berupa nilai torsi turbin angin dan daya keluaran turbin helix yang dihasilkan oleh Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid Solar Panel dan Turbin Helix.

Kata-kata kunci: Energi, Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid, Kecepatan Angin, Turbin Helix, Daya Turbin

Abstract

Indonesia is a country with a large consumption of fossil energy. Energy consumption that is not balanced with the remaining fossil energy reserves will cause the depletion of existing fossil energy reserves. The potential for using alternative energy in Indonesia is large, but its utilization is minimal. Alternative energy sources in Indonesia in the form of solar, wind, water, and geothermal energy need to be improved so that when fossil energy reserves are exhausted, alternative energy can replace them. One of the alternative energy uses is to create a wind and solar hybrid power plant (PLTH). The helix wind turbine is one of the uses of energy contained in this Hybrid Power plant. This study was conducted to determine the amount of power that can be issued by the helix turbine which is determined by the wind speed that rotates the turbine so that it rotates the generator with a wind speed range from 2 m/s to 6 m/s at a speed difference of 0.2 m/s. The result data in this study are the wind turbine torque value and the helix turbine output power produced by the Hybrid Solar Panel Power Plant and the Helix Turbine.

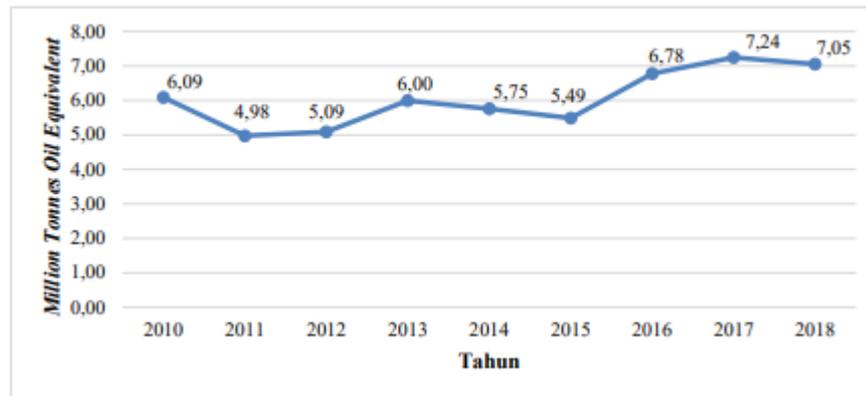
Keywords: Energy, Hybrid Power Generation, Wind Speed, Helix Turbine, Turbine Power

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara dengan pertumbuhan konsumsi energi yang cepat. Konsumsi total energi primer di Indonesia yang terus-menerus mengalami peningkatan. Hal ini dijelaskan oleh BP Statistical Review of World Energi pada tahun 2019[1], berikut gambar 1.1 tentang Konsumsi Total Energi Primer Indonesia.

¹ Corresponding author E-mail address: samsul.nurhidayat.tm19@mhs.w.pnj.ac.id

Gambar 1.1 Konsumsi Total Energi Primer Indonesia



Sumber : BP Statistical Review of World Energy, 2019

Konsumsi energi primer di Indonesia didominasi oleh konsumsi energi fosil berjalan seiring dengan meningkatnya kebutuhan energi, sementara itu cadangan energi fosil yang dimiliki semakin terbatas dan tidak dapat diproduksi kembali. Menurut Direktur Jendral Energi Baru Terbarukan dan Konversi Energi (EBTKE) Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral pada tahun 2018 bahwa cadangan energi fosil semakin menipis [1]. Data dari dirjen EBTKE menunjukkan bahwa cadangan batu bara saat ini sekitar 7.3-8.3 miliar ton yang diprediksi akan habis pada 2026. Stok minyak saat ini sebesar 3.7 miliar barrel diprediksi akan habis pada 2028. Sedangkan untuk bahan bakar gas, tersedia cadangan sebesar 151.33 triliun cubic feet (TCF) dan diprediksi habis pada 2067[1].

Energi angin yang dibangkitkan ini masih jauh dari potensi yang Indonesia miliki, yaitu sekitar 60,6 GW atau hanya 0,24% yang dibangkitkan, hal ini dipaparkan dalam Indonesia Outlook Energy (Dirjen EBTKE, 2018)[2]. Kemudian salah satu sumber energi alternatif lainnya yang memiliki jumlah sangat melimpah dan ramah lingkungan adalah energi matahari. Potensi energi matahari di Indonesia cukup tinggi karena secara geografis Indonesia mendapatkan radiasi matahari sepanjang tahun dengan lama penyinaran 6-8 jam per hari. Nilai rata-rata insolasi intensitas puncak radiasi sekitar 1000 W/m² atau 100 mW/cm². [3]

Pengembangan sistem pembangkit hybrid adalah cara yang digunakan untuk menghasilkan energi listrik dari dua sumber secara bersamaan untuk memaksimalkan efisiensi energi dan keseimbangan yang lebih besar dalam pasokan energi.[4] Pada penelitian ini peneliti memanfaatkan sumber energi angin dan surya. Bagian yang menjadi fokus penelitian ini meliputi pengaruh torsi terhadap daya yang dihasilkan turbin angin dan generator.

Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid memanfaatkan kedua sumber energi dengan membuat rancang bangun PLTH surya dan angin. kemudian dari pembuatan rancangan PLTS dengan bahan Polycrystalline, lalu PLTB dengan Turbin Angin Helix. Tujuan penelitian studi ini adalah sebagai bentuk dari penerapan dari pemanfaatan energi baru terbarukan dan untuk mengetahui besarnya daya turbin angin dan generator yang dipengaruhi oleh torsi turbin.

2. METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian Alat

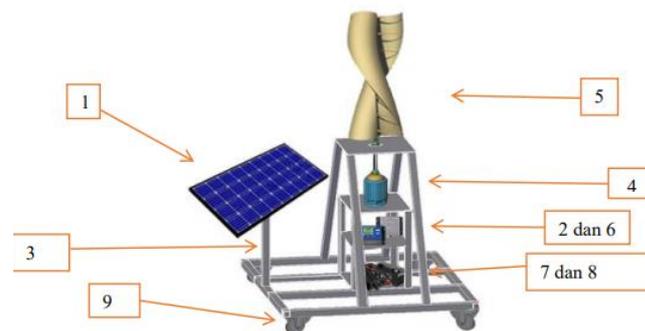
Penelitian ini dilakukan dari bulan Mei – Agustus 2022 di Laboratorium Konversi Energi, Politeknik Negeri Jakarta. Lokasi tersebut dipilih karena pertimbangan turbin angin helix dapat berputar pada kecepatan konstan. Putaran angin konstan didapatkan dari blower yang berada di Laboratorium Konversi Energi.

Metode Penelitian

Metode pengambilan data dalam penelitian ini meliputi:

- Metode Pengumpulan Data
 - Data yang diperoleh didapatkan melalui beberapa metode yang dilakukan, diantaranya:
 - Metode Percobaan, yaitu melakukan percobaan terhadap kinerja peralatan uji untuk mendapatkan data uji coba yang dirancang.
 - Metode Dokumentasi, yaitu pengumpulan data dari hasil penelitian terhadap peralatan uji menggunakan dokumentasi digital.

- Metode Observasi, yaitu pengamatan yang dilakukan oleh praktikan terhadap peralatan uji secara langsung yang berkaitan dengan hasil data dari pembangkit *hybrid*.
- Sumber Data
Sumber data yang digunakan pada penelitian ini diperoleh dari percobaan yang dilakukan beberapa kali dan analisis data pengukuran meliputi data tegangan, arus, torsi turbin angin, Jumlah putaran permenit turbin angin, dan kecepatan angin.
- Jenis Data
Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah kuantitatif primer.
- Alat Ukur
Alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:
 1. Multimeter digital
Multimeter digital digunakan untuk mengukur tegangan dan arus dari turbin angin helix yang ditambihkan secara otomatis. Satuan dari alat ukur ini adalah ampere(A) untuk arus dan volt(V) untuk tegangan. [5]
 2. Anemometer
Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin. alat tersebut digunakan untuk mengetahui variabel kecepatan angin yang diinginkan dari putaran blower. Satuan pengukuran alat ini adalah m/s. [5]
 3. Tachometer
Tachometer merupakan alat yang digunakan untuk mengetahui putaran poros turbin (rpm). [6] cara kerja alat ini adalah sorotan lampu yang dipantulkan oleh poros turbin yang berputar dibaca oleh alat ini dan pada display akan terbaca berapa putaran permenit turbin dalam satuan *Rotation Per Minutes (RPM)*. [5]
 4. Neraca pegas
Neraca pegas digunakan untuk mengukur beban pengimbang torsi dinamis poros turbin saat alat berputar. Satuan alat ukur ini adalah Kg atau *Newton*. [7]
- Pengumpulan data
Data yang dikumpulkan berupa data pengukuran terhadap alat uji berupa turbin angin helix berupa:
 1. Data tegangan
 2. Data arus
 3. Data putaran turbin angin(RPM)
 4. Data torsi poros turbin angin
 5. Data kecepatan angin
- Desain Alat



Gambar 2.1 Desain Alat

Keterangan:

1. Panel Surya	6. Wind Controller
2. Solar Charger Controler	7. Aki
3. Rangka Besi	8. Inverter
4. Generator	9. Roda
5. Turbin Helix	

Tahap Pengambilan Data

1. Menyiapkan blower pada kecepatan, arah angin, dan jarak yang diatur sesuai variable kecepatan angin yang diinginkan.
2. menggunakan anemometer untuk mengetahui kecepatan angin yang dihasilkan blower guna memutar turbin angin. Pengaturan kecepatan blower disesuaikan dengan kebutuhan penelitian. Pada penelitian ini kecepatan diatur dari 2 m/s sampai 6 m/s dengan selisih 0,2 m/s.
3. Neraca Pegas digunakan untuk mengetahui gaya pembebanan pada turbin menggunakan prinsip *pronny brake*. Sistem *pronny brake* merupakan salah satu jenis dynamometer[8]. Prinsip kerjanya pembebanan pada turbin dengan pengaturan torsi tarikan[8]. Dengan mengatur dua neraca pegas yang dihubungkan lalu dipasang pada turbin angin hingga berhenti, maka dihasilkan selisih beban yang merupakan gaya beban dari turbin angin.
4. Pengambilan data jumlah putaran permenit turbin angin menggunakan tachometer. Pembacaan alat dilakukan setelah nilai terbaca dengan stabil.
5. Pengambilan data berupa tegangan dan arus dilakukan menggunakan multimeter digital, didapatkan dari arus dan tegangan generator turbin angin yang dipasang beban lampu LED 3 Watt.
6. Mengulangi langkah 2 sampai 5 sehingga didapatkan data dari pengaturan kecepatan angin 2 m/s hingga 6 m/s.

Perhitungan Daya Input Pembangkit Listrik Hybrid

1. Perhitungan Daya Angin

Daya angin adalah daya yang dihasilkan oleh angin yang membentur baling turbin. Untuk menghitung besar daya angin menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P_a = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3 \quad [9]$$

Keterangan :

- P_a = Daya Angin (Watt)
 ρ = Massa jenis udara (kg/m^3)
 A = Luas penampang bilah turbin (m^2)
 v = Kecepatan angin (m/s^2)

2. Perhitungan Torsi Turbin

Perhitungan torsi turbin angin menggunakan rumus berikut:

$$T (\text{Torsi}) = F \times r (\text{N.m}) \quad [9]$$

Keterangan :

- F = Gaya pembebanan(N)
 r = Lengan torsi(m)

3. Perhitungan Daya Turbin

Daya turbin adalah daya yang dihasilkan oleh turbin akibat dari adanya angin yang membentur bilah turbin. Untuk menghitung besar daya turbin angin menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P_t = T \times \omega \quad [9]$$

Keterangan :

- P_t = Daya Turbin Angin (Watt)
 ω = Kecepatan sudut turbin (rad/s)

4. Perhitungan Daya Generator

Perhitungan daya yang dihasilkan oleh generator, menggunakan rumus sebagai berikut :

$$P_{gen} = V \times I \quad [9]$$

Keterangan :

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

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Pengujian Komponen

Pengujian hasil alat ini dilakukan untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan meliputi : tegangan dan arus turbin angin yang diukur menggunakan multimeter digital, jumlah putaran permenit turbin angin yang diukur menggunakan tachometer, gaya pembebanan turbin angin menggunakan neraca pegas dengan sistem *pronny brake*, dan kecepatan angin blower yang diukur menggunakan anemometer. Beberapa data yang akan diolah sebagai sumber data analisis berupa nilai torsi, daya turbin angin, dan daya generator.

Gambar dibawah ini merupakan beberapa hasil uji coba pengukuran yang dilakukan pada turbin angin helix untuk mengetahui data yang dihasilkan setiap komponen.

Gambar 3.1 alat uji dan proses pengambilan data



Tabel 3.1 Data Spesifikasi Turbin Angin Helix

No.	Diameter turbin(m)	lengan turbin (m)	$P(Kg/m^3)$	tinggi turbin(m)	Massa poros(Kg)
1	0,32	0,16	1,2	0,6	3,155

Tabel 3.1 merupakan tabel spesifikasi turbin angin helix yang digunakan dalam penelitian. Diketahui tabel tersebut bahwa diameter turbin sebesar 0,32 m, lengan turbin 0,16 m, tinggi turbin 0,6 m, dan massa turbin angin sebesar 3,155 Kg. serta massa jenis udara sekitar sebesar 1,2 kg/m³[10].

Tabel 3.2 Hasil Pengujian Data Turbin Angin Helix

No.	Kecepatan(m/s)	n(RPM)	F(N)	Tegangan(V)	Arus(A)
1	2	0	0	0	0
2	2,2	0	0	0	0
3	2,4	0	0	0	0
4	2,6	27,4	0,07	0,08	0,00009
5	2,8	40,3	0,1	0,27	0,00015
6	3	42,1	0,11	0,43	0,00019
7	3,2	67,1	0,13	0,49	0,00023
8	3,4	105,7	0,11	0,54	0,00027
9	3,6	107,2	0,13	0,75	0,00031
10	3,8	130	0,12	0,87	0,00035
11	4	135,1	0,15	1,16	0,00038
12	4,2	148,3	0,17	1,24	0,00047
13	4,4	150,7	0,21	1,32	0,00051

14	4,6	159,1	0,29	1,35	0,00055
15	4,8	160,3	0,28	1,22	0,00058
16	5	161,4	0,34	1,41	0,00067
17	5,2	165,3	0,35	1,48	0,00081
18	5,4	174,2	0,48	1,51	0,00098
19	5,6	207,4	0,53	1,7	0,00102
20	5,8	217	0,57	1,71	0,00123
21	6	274,5	0,62	1,81	0,00125

Tabel 3.2 menunjukkan hasil pengukuran terhadap turbin angin helix. Pengukuran yang diambil adalah data kecepatan angin yang berhembus, putaran permenit turbin angin, gaya pembebanan turbin angin, tegangan dan arus pada generator turbin angin.

A. Daya Angin

Untuk mencari daya angin yang dihasilkan oleh blower, parameter yang dibutuhkan terdapat pada tabel 3.1 dan tabel 3.2. untuk menghitung daya angin dapat menggunakan persamaan (1) yang terdapat pada sub Bab 2.8, yaitu [9]:

$$Pa = \frac{1}{2} \rho \times A \times v^3$$

$$Pa = \frac{1}{2} \rho \times diameter \times tinggi \times v^3$$

$$Pa = \frac{1}{2} \times 1,2 \times 0,32 \times 0,6 \times 6^3$$

$$Pa = 27,993 \text{ watt}$$

Berdasarkan hasil perhitungan daya angin diatas, dapat diketahui bahwa daya angin yang dihasilkan oleh blower sebagai penggerak turbin adalah sebesar 27,993 watt.

B. Torsi Turbin

Nilai dari torsi turbin dapat diketahui dari data panjang lengan torsi yang terdapat pada *tabel 3.1* dan gaya pembebanan yang terdapat pada *tabel 3.2*. Perhitungan nilai torsi dapat diketahui menggunakan persamaan [9]:

$$T = F \times r$$

$$T = 0,62 \times 0,16$$

$$T = 0,0992 \text{ Nm}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, dapat diketahui bahwa nilai dari torsi turbin angin adalah sebesar 0,0992 Nm.

C. Daya Turbin Angin

Daya turbin angin dapat diketahui menggunakan nilai torsi pada perhitungan sebelumnya dengan data putaran turbin angin pada *tabel 3.2*. Data tersebut dapat kita temukan nilai daya turbin angin dengan persamaan[9]:

$$Pt = T \times \omega$$

$$Pt = T \times 2 \pi \times n / 60$$

$$Pt = 0,0992 \times 2 \times 3,14 \times 274,5 / 60$$

$$Pt = 2,84 \text{ watt}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka dapat diketahui nilai daya turbin angin pada kecepatan 6 m/s adalah sebesar 2,84 watt.

D. Daya Generator

Daya generator turbin angin dapat diketahui oleh nilai tegangan dan arus dari tabel 3.2 yang dihasilkan oleh generator AC 3 fasa yang kemudian dikonversikan menjadi DC menggunakan wind controller. Dari data pada tabel 3.2 dapat diketahui nilai daya menggunakan persamaan[9]:

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

$$P_{gen} = 1,81 \times 0,00125$$

$$P_{gen} = 0,0022 \text{ watt}$$

Berdasarkan hasil perhitungan daya generator diatas, dapat diketahui bahwa nilai dari daya generator adalah 0,0022 watt.

E. Data Hasil Perhitungan

Tabel dibawah ini merupakan data hasil perhitungan data yang telah diambil dalam penelitian. Data yang diperoleh berupa Daya Angin, Torsi Turbin Angin, Daya Turbin Angin, dan Torsi Generator.

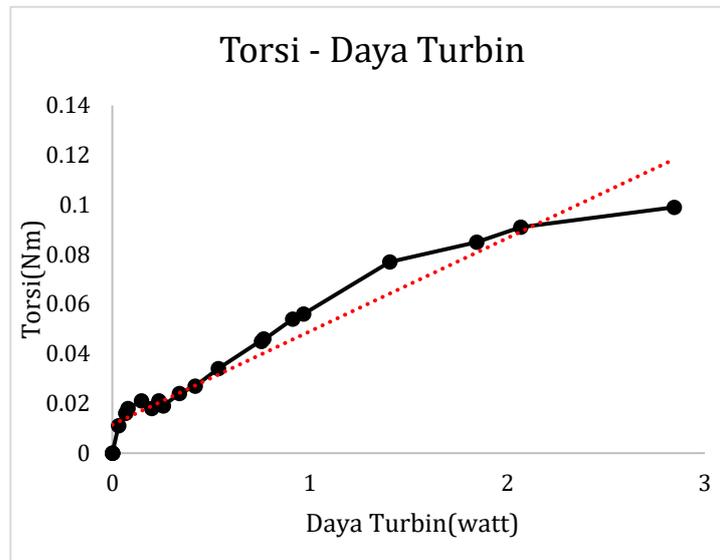
Tabel 3.3 Data hasil perhitungan daya angin, torsi, daya turbin, dan daya generator

No.	Pa(watt)	T(Nm)	Pt(watt)	Pgen(watt)
1	1,04	0	0	0
2	1,38	0	0	0
3	1,79	0	0	0
4	2,27	0,011	0,032	0,0000072
5	2,84	0,016	0,067	0,0000405
6	3,49	0,018	0,079	0,0000817
7	4,25	0,021	0,147	0,0001127
8	5,09	0,018	0,199	0,0001458
9	6,05	0,021	0,235	0,0002325
10	7,11	0,019	0,258	0,0003045
11	8,29	0,024	0,339	0,0004408
12	9,6	0,027	0,419	0,0005828
13	11,04	0,034	0,536	0,0006732
14	12,61	0,046	0,766	0,0007425
15	14,33	0,045	0,755	0,0007076
16	16,2	0,054	0,912	0,0009447
17	18,22	0,056	0,968	0,0011988
18	20,41	0,077	1,404	0,0014798
19	22,76	0,085	1,845	0,001734
20	25,28	0,091	2,067	0,0021033
21	27,99	0,099	2,844	0,0022625

Berdasarkan tabel 3.3 diketahi bahwa nilai daya turbin angin dipengaruhi oleh kecepatan angin(v) dan torsi(T). semakin besar kecepatan angin dan torsinya, semakin besar nilai daya turbin yang dihasilkan. Dari data yang diperoleh, maka daya turbin angin tertinggi dihasilkan pada kecepatan 6 m/s dan torsi sebesar 0,01302 Nm dengan nilai daya 0,0373 watt. Sedangkan pada kecepatan minimum sebesar 2 m/s turbin angin diketahui memiliki nilai daya 0 watt, nilai tersebut dipengaruhi karena kecepatan angin tidak dapat memutar turbin dan nilai norsi diketahui 0 Nm. Sehingga pada kecepatan tersebut tidak ada nilai daya turbin angin yang dihasilkan.

- **GRAFIK PENGARUH TORSI TERHADAP DAYA TURBIN ANGIN**

Gambar 3.2 grafik pengaruh torsi terhadap daya turbin

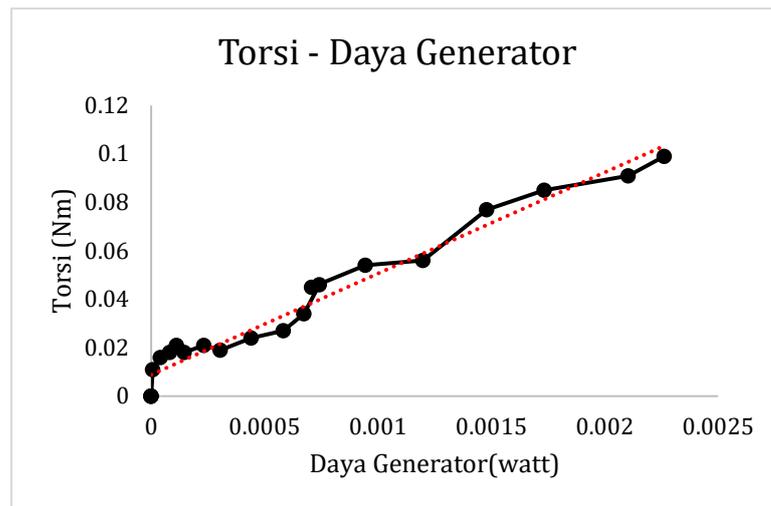


Gambar 3.2 menunjukkan hubungan antara torsi dengan daya turbin angin yang dihasilkan oleh turbin angin. Nilai torsi yang dihasilkan dipengaruhi oleh gaya pembebanan(F) yang dihasilkan akibat adanya tumbukkan energi angin dengan sudu turbin. Semakin besar gaya yang diberikan oleh turbin, semakin besar pula torsi yang dihasilkan. Oleh karena itu, nilai daya turbin angin dipengaruhi oleh nilai torsi dan jumlah putaran poros turbin.

Berdasarkan gambar 3.2 diketahui bahwa pengaruh nilai torsi berhubungan dengan daya turbin angin yang dihasilkan. Semakin besar nilai torsi yang diberikan, maka semakin besar pula daya turbin angin yang dihasilkan. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil nilai torsi yang diberikan, maka semakin kecil juga daya turbin angin yang dihasilkan. Terlihat pada grafik nilai daya turbin tertinggi diperoleh pada torsi sebesar 0,099 dengan daya 2,844 watt. Serta daya terkecil terdapat pada torsi sebesar 0,011 Nm dengan daya 0,032 watt.

- **GRAFIK PENGARUH TORSI TERHADAP DAYA GENERATOR**

Gambar 3.3 grafik pengaruh torsi terhadap daya generator



Pada grafik 3.3 menunjukkan bahwa hubungan pengaruh torsi(T) terhadap daya keluaran Generator(W). Berdasarkan grafik diatas, diketahui bahwa nilai torsi yang semakin besar, menyebabkan semakin besar pula nilai generator yang dihasilkan. Begitu pula sebaliknya. Semakin kecil nilai torsi yang dihasilkan, maka daya generator akan semakin kecil juga. Nilai daya generator terbesar diketahui sebesar 0,0022 watt, dengan besaran torsi sebesar 0,099 Nm. Sedangkan daya terkecil diketahui sebesar 0,0000072 watt, dengan besarnya torsi sebesar 0,032 Nm.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Torsi berpengaruh terhadap daya turbin angin yang dihasilkan. Semakin besar nilai torsi yang diberikan, maka semakin besar pula daya turbin angin yang dihasilkan. Begitu juga sebaliknya, semakin kecil nilai torsi yang diberikan, maka semakin kecil juga daya turbin angin yang dihasilkan. Terlihat pada grafik nilai daya turbin tertinggi diperoleh pada torsi sebesar 0,099 dengan daya 2,844 watt. Serta daya terkecil terdapat pada torsi sebesar 0,011 Nm dengan daya 0,032 watt.
2. Torsi berpengaruh terhadap daya generator yang dihasilkan. nilai torsi yang semakin besar, menyebabkan semakin besar pula daya generator yang dihasilkan. Begitu pula sebaliknya. Semakin kecil nilai torsi yang dihasilkan, maka daya generator akan semakin kecil juga. Nilai daya generator terbesar diketahui sebesar 0,0022 watt, dengan besaran torsi sebesar 0,099 Nm. Sedangkan daya terkecil diketahui sebesar 0,0000072 watt, dengan besarnya torsi sebesar 0,032 Nm.

Saran

1. Menggunakan generator turbin angin dengan jenis putaran rendah sehingga nilai daya dapat lebih optimum pada kecepatan yang lebih rendah.
2. Menggunakan *gear box* yang dihubungkan antara turbin angin dan generator sehingga putaran turbin angin dan generator lebih optimum untuk menghasilkan daya listrik.
3. Menggunakan *bearing vertikal* yang sesuai dengan turbin angin sehingga putaran turbin angin lebih optimum.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada kelompok Tugas Akhir atas kerjasamanya dan Orang tua atas dukungan finansial dan doa pada penelitian ini. Penulis juga berterima kasih kepada dosen pembimbing Tugas Akhir atas dikusi, bimbingan, dan sarannya yang bermanfaat untuk membangun penelitian ini lebih baik.

REFERENSI

- [1] Y. Afriyanti, H. Sasana, G. Jalunggono, F. Ekonomi, and U. Tidar, "ANALYSIS OF INFLUENCING FACTORS Abstrak menerus akan mengakibatkan cadangan integral dan tidak dapat terpisahkan dalam konsumsi energi terbesar di kawasan Asia Korea Selatan dengan konsumsi energi Kebijakan Energi Nasional , Perpres RUEN," vol. 2, 2018.
- [2] W. A. Afandi, Ridwan, D. E. Puspitasari, and B. A. Mirayant, "JURNAL ENEEGI BALITBANG: TRANSFORMASI & INOVASI, DUKUNG SEKTOR ENERGI NASIONAL," *J. Energi*, vol. 02, pp. 1–99, 2018.
- [3] G. R. Cahyono, P. R. Ansyah, and M. Munthaha, "Pengaruh Variasi Kecepatan Hembusan Udara Terhadap Temperatur , Daya Output dan Efisiensi Pada Pendinginan Panel Surya," vol. 11, no. 02, pp. 141–146, 2020, doi: 10.35970/infotekmesin.v11i2.259.
- [4] Z. Tharo and M. Andriana, "Pembangkit Listrik Hybrid Tenaga Surya Dan Angin Sebagai Sumber Alternatif Menghadapi Krisis Energi Fosil Di Sumatera," *Semnastek UISU*, vol. 2, no. 4, pp. 141–144, 2019.
- [5] A. F. Rahman *et al.*, "Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Dua Tingkat," *Tek. Mesin*, vol. 1(1), pp. 92–102, 2021.
- [6] D. Hidayanti and G. Dewangga, "Rancang Bangun Pembangkit Hybrid Tenaga Angin dan Surya dengan Penggerak Otomatis pada Panel Surya," *Eksergi*, vol. 15, no. 3, p. 93, 2020, doi: 10.32497/eksergi.v15i3.1784.
- [7] A. Suryadi, A. Solihin, and D. B. Munthe, "Pemanfaatan Turbin Angin Savonius Hybrid Solar Cell sebagai Pembangkit Listrik Daerah Terpencil," *Pros. Semin. Nas. Tek. Elektro*, vol. 5, no. 2020, pp. 3–8, 2020.
- [8] M. Yahya, T. Sukmadi, and B. Winardi, "PERANCANGAN MODUL PRONY BRAKE UNTUK PENENTUAN KARAKTERISTIK MEKANIK (TORSI TERHADAP KECEPATAN) DAN EFISIENSI MOTOR INDUKSI 3 FASA".
- [9] I. Arif, "Analisis Dan Pengujian Kinerja Turbin Angin Savonius 4 Sudu," *J. Tek. Mesin ITI*, vol. 3, no. 2, p. 46, 2019, doi: 10.31543/jtm.v3i2.307.
- [10] F. Sondia, A. F. Rahman, A. Firdaus, A. Arrazaq, and D. E. Octavianto, "Kecepatan Minimal Turbin Angin Savonius Dua Tingkat Pada Pembangkit Listrik Tenaga Hybrid (Surya – Angin)," pp. 103–109, 2021.