



Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan Turbin Angin Savonius Tipe-U untuk Kapasitas 100 W

The Design of Wind Power Plant with a U-Type Savonius Turbine for a Capacity of 100 W

Eka Maulana*, Eddy Djatmiko, Dhidik Mahandika dan Roni Cahya Putra
Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, 12640, Jakarta, Indonesia

Informasi artikel

Diterima:
22/04/2021
Direvisi:
20/06/2021
Disetujui:
27/06/2021

Abstract

The current need for energy is many tools that use electrical energy as a source of energy from these tools, followed by the need for electrical energy in Indonesia, increasing every year. Currently, Indonesia is targeting to increase the role of new and renewable energy to maintain energy security and independence with a target of at least 23% in 2025 and 31% in 2050. The utilisation of wind energy converted into electrical energy by converting energy mechanical energy from the wind into kinetic energy in turbine blades to turn a generator that can produce electricity. This paper discusses the design of a wind power plant with a u-type Savonius turbine for a capacity of 100 W using the Pahl & Beitz method. The Savonius wind turbine designed has 3668 mm × 920 mm with galvanised steel plate material and shaft dimensions of 4310 mm × 20 mm using carbon steel material S-45 C. The average wind speed is around 4 m/s with a humidity of 30°C; if the turbine is arranged on the rotor with a suitable mechanism, it can produce a turbine rotational speed of 199.9889 rpm, a Savonius type U wind power plant designed for a capacity of 100 Watt.

Keywords: mechanical energy, design, Savonius turbine.

Abstrak

Kebutuhan energi saat ini banyak sekali alat yang menggunakan energi listrik sebagai sumber tenaga dari alat tersebut, dengan diikuti kebutuhan energi listrik di Indonesia yang semakin bertambah setiap tahun nya. Saat ini Indonesia sedang menargetkan dalam meningkatkan peranan energi baru terbarukan secara terus menerus untuk menjaga ketahanan dan kemandirian energi dengan target pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. Pemanfaatan energi angin merupakan dapat diubah menjadi energi listrik yang dilakukan dengan mengubah energi mekanik dari angin menjadi energi kinetik dalam bentuk sudu turbin yang digunakan untuk memutar generator yang dapat menghasilkan listrik. Tulisan ini membahas tentang perancangan pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin savonius tipe-u untuk kapasitas 100 W dengan menggunakan metode Pahl & Beitz. Turbin angin Savonius yang dirancang berdimensi 3668 mm × 920 mm dengan material *galvanies steel plate* dan dimensi poros 4310 mm × 20 mm memakai material *carbon steel S-45 C* kecepatan angin rata-rata berkisar 4 m/s dengan kelembaban suhu 30°C jika turbin disusun pada rotor dengan mekanisme yang tepat maka dapat menghasilkan kecepatan putar turbin sebesar 199,9889 rpm sehingga dapat dirancang pembangkit listrik tenaga angin savonius tipe u untuk kapasitas 100 Watt.

Kata Kunci : energi mekanik, perancangan, turbin Savonius.

*Penulis Korespondensi. Tel: - ; Handphone: +62 813 1519 0664
email : ekamaulana@univpancasila.ac.id

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di dunia terus mengalami peningkatan seiring dengan berjalannya waktu, hal tersebut dapat dikarenakan penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola pemakaian energi itu sendiri. Sumber energi utama di dunia sejauh ini berasal dari energi fosil, sedangkan energi fosil sendiri memiliki keterbatasan, dan memerlukan proses alam dalam waktu yang lama untuk memperbaharunya. Untuk itu perlu adanya energi alternatif non-fosil untuk memenuhi semua kebutuhan energi dunia.

Sementara di Indonesia Pemerintah mendorong dalam meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Sesuai Peraturan Pemerintah No.79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050.

Potensi energi baru terbarukan di Indonesia mempunyai cukup besar untuk mencapai target bauran energi primer tersebut salah satu contohnya energi angin yang memiliki potensi sebesar 60,6 GW. (Fadila, 2020). Beberapa lokasi di Indonesia sudah dilakukan survei potensi angin baik oleh BMKG, LAPAN dan BPPT khusus nya kecepatan angin yang terdapat di daerah Merak Banten Kecamatan Pulo Merak Kota Cilegon Provinsi Banten berkisar antara 3,8 m/detik hingga 4,3 m/detik dengan kelembaban suhu 30°C (Fadila, 2020).

Turbin angin savonius tipe-U termasuk jenis turbin savonius dengan desain sisi sudu yang lurus lebih besar dibandingkan pada sisi sudu lengkung seperempat lingkaran (Bhutta, dkk., 2019).

Rancangan pembangkit listrik dengan menggunakan tenaga angin untuk dirasa perlu untuk dapat digunakan pada rumah-rumah energi mandiri sehingga di Indonesia dimasa depan semua rumah akan memiliki pembangkit listrik rumah mandiri energi terutama untuk rumah-rumah yang belum

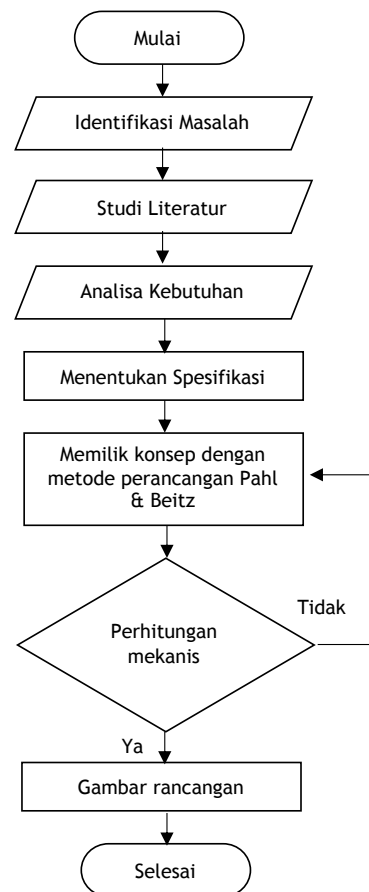
terjangkau listrik dari Perusahaan Listrik Negara (PLN) (Bhutta, dkk., 2019).

Tulisan ini membahas tentang perancangan pembangkit listrik tenaga angin dengan turbin savonius tipe-u untuk kapasitas 100 W dengan menggunakan metode perancangan Pahl and Beitz.

2. METODOLOGI

Diagram Alir

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis dalam diagram alir yang dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian

Pembuatan diagram alir perancangan turbin angin savonius tersebut berdasarkan metode pada perancangan Pahl dan Beitz dengan mempertahankan fase perancangan secara umum yaitu penjabaran tugas (*Classification of tasks*) ada juga pada point identifikasi masalah dan studi literatur, Penentuan konsep rancangan (*Conceptual design*) ada pada point menentukan

spesifikasi dan pemilihan konsep, Perancangan wujud (*Embodiment Design*) ada pada point perhitungan mekanis, Perancangan rinci (*Detail Design*) ada pada point gambar perancangan.

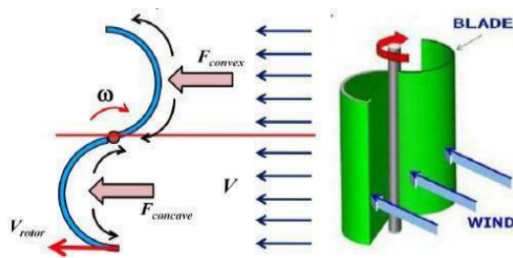
Metode Perancangan Pahl dan Beitz

Dalam buku *Engineering Design A Systematic Approach* (Pahl & Beitz, 2007) mengusulkan bagaimana cara merancang suatu produk. Ada 4 tahap yang harus dilalui menurut *Pahl dan Beitz*, ke 4 tahap tersebut adalah:

1. Perencanaan dan Penjelasan Tugas
2. Perancangan Konsep Produk
3. Perancangan Bentuk Produk
4. Perancangan Detail Produk

Turbin Savonius

Rotor savonius pertama kali dikembangkan oleh ilmuwan yang bernama J. Savonius pada tahun 1920. Konsep awalnya dikembangkan oleh *flettner*. Bentuk rotor savonius dibuat dari sebuah silinder yang dipotong pada sumbu bidang sentral menjadi dua bagian dan bagian tersebut disusun menyilang menyerupai huruf S bisa dilihat pada gambar 2.

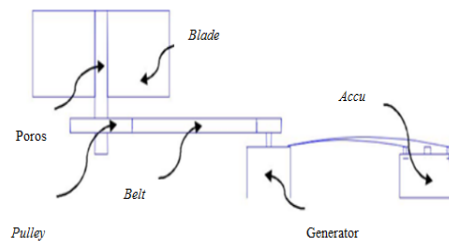


Gambar 2. Desain Rotor Savonius 2 sudu (Ridwan, 2019)

Turbin jenis ini pada umumnya bergerak secara perlahan dibanding dengan turbin angin sumbu horizontal. Tetapi turbin jenis ini menghasilkan torsi yang cukup besar jika dibandingkan dengan turbin angin sumbu horizontal. Rotor yang bekerja dibawah pengaruh gaya *drag* umumnya mempunyai torsi awal yang besar tetapi memiliki efisiensi yang lebih kecil bila dibandingkan dengan rotor yang bekerja dengan gaya *lift*.

Sistem Kerja Turbin Angin Savonius Tipe-U

Dalam mengkonversikan energi kinetik angin hingga berubah menjadi energi listrik melalui suatu proses sistem kerja yang sangat berurutan antara komponen-komponen turbin satu sama yang lainnya. Pada suatu sistem kerja turbin angin savonius tipe-U dapat di terangkan sistem kerjanya yaitu energi hembusan angin menghasilkan kecepatan angin yang bervariasi setiap saat nya bisa dilihat dari gambar 3.



Gambar 3. Skema Kerja Turbin Angin Savonius Tipe-U (Alditihan, 2011)

Elemen utama turbin angin adalah rotor, karena pada rotor inilah *blade* turbin *diassembly*. Dan apabila luas penampang dengan mengansumsi $A = 1,5 d^2$ maka dapat dirumuskan dengan persamaan berikut (Alditihan, 2011):

$$A = 1,5 \times d^2 \tag{1}$$

Dimana:

- A = Luas Rotor (m²)
- d^2 = Diameter Turbin (m)

Adapun tenaga total aliran angin yang mengalir adalah sama dengan laju energi kinetik aliran yang datang dapat dirumuskan dengan persamaan berikut (Fadila, 2020):

$$P_{total} = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3 \tag{2}$$

Dimana:

- P_{total} = Daya total angin (Watt)
- ρ = Massa Jenis Angin (kg/m³)
- A = Luas Rotor (m²)
- V = Kecepatan Angin (m/s)

Turbin tidak dapat mengekstraksi 100% energi angin karena beberapa energi angin digunakan dalam perubahan tekanan terjadi diseluruh bilah turbin.

Tenaga mekanik (P_m) yang didapat dari angin dengan turbin ideal maka dapat dirumuskan sebagai berikut (Bhutta, dkk., 2019):

$$P_m = \frac{1}{2} \times \rho \times \left(\frac{16}{27} \times A \times V^3\right) \quad (3)$$

Dimana:

P_m	= Daya Mekanik	(Watt)
ρ	= Massa Jenis Angin	(kg/m ³)
A	= Luas Rotor	(m ²)
v	= Kecepatan Angin	(m/s)

Perbandingan daya angin yang mampu diekstrak *blade* turbin merupakan koefisien daya (C_p) yang diukur dari besarnya energy listrik yang dihasilkan generator dengan daya angin teoritis dan koefisien daya dikenal juga sebagai ke efektifan rotor turbin dalam memanfaatkan energi kinetik angin (Fadila, 2020).

$$C_p = \frac{P_{total}}{\frac{1}{2} \times \rho \times A \times V} \quad (4)$$

Dimana:

C_p	= Koefisien Daya	
P_{total}	= Daya Total Angin	(Watt)
ρ	= Massa Jenis Angin	(kg/m ³)
A	= Luas Rotor	(m ²)
v	= Kecepatan Angin	(m/s)

Laju aliran massa udara dapat dihitung secara matematis menggunakan persamaan berikut (Alditihan, 2011):

$$\dot{m} = \rho \times A \times V \quad (5)$$

Dimana:

\dot{m}	= Aliran massa udara	(kg/s)
ρ	= Massa Jenis Angin	(kg/m ³)
A	= Luas Rotor	(m ²)
v	= Kecepatan Angin	(m/s)

Dari rumus mencari daya mekanik dapat digunakan untuk mencari kecepatan sudut, maka persamaannya adalah (Sularso, 1997):

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times N_1}{60} \quad (6)$$

Dimana:

ω	= Kecepatan Sudut	(rad/s)
N_1	= Putaran Turbin	(rpm)
π	= Jari-jari	

Untuk turbin savonius tipe- u memiliki nilai koefisien daya maksimum pada nilai *tip speed ratio* sehingga dapat dirumuskan dalam persamaan berikut (Yulianto, 2018):

$$\lambda = \frac{\omega \times r}{v} \quad (7)$$

Dimana:

λ	= <i>tip speed ratio</i>	
ω	= Kecepatan Sudut	(rad/s)
r	= Jari-jari Rotor	(m)
v	= Kecepatan Angin	(m/s)

Kecepatan angin rancangan dan diameter secara langsung mempengaruhi besarnya putaran rotor (rpm). Dengan demikian dapat dirumuskan dengan persamaan berikut (Yulianto, 2018):

$$rpm = 60 \frac{\lambda \times v}{\pi \times D} \quad (8)$$

Dimana :

λ	= <i>tip speed ratio</i>	
v	= Kecepatan Angin	(m/s)
D	= Diameter rotor	(mm)

Untuk kecepatan putar yang sama, semakin besar torsi yang diberikan sudu, maka akan semakin besar daya yang diserap, demikian juga sebaliknya. Sehingga torsi dapat dirumuskan dengan persamaan berikut (Yulianto, 2018):

$$T = \frac{60 \times P_{total}}{2 \times \pi \times rpm} \quad (9)$$

Dimana:

T	= Torsi	(N)
P_{total}	= Daya Total Angin	(Watt)
rpm	= Putaran Turbin	(rpm)
π	= Jari-jari	

Sistem Transmisi Putaran dan Daya Poros

Poros (*shaft*) adalah komponen yang cukup penting dalam sebuah mesin yang memiliki gerakan berputar. Dalam merancang suatu poros harus mencari daya yang harus direncanakan (P_d) terlebih dahulu dengan cara mengkalikan faktor koreksi (f_c) dengan daya masukan (P) (Sularso, 1997):

$$P_d = f_c \times P \quad (10)$$

Dimana:

P_d	= Daya yang direncanakan (Watt)
f_c	= Faktor koreksi

P = Daya Mekanik

Untuk menghitung momen puntir yang ada pada poros dapat digunakan persamaan berikut (Sularso, 1997):

$$T = 9,74 \times 10^5 \times \frac{P_d}{n} \quad (11)$$

Dimana:

T = Momen Puntir (kg•mm)
 P_d = Daya yang direncanakan (Watt)
 n = Kecepatan Putaran (rpm)

Untuk menghitung tegangan geser yang diizinkan pada poros dapat menggunakan rumus seperti berikut (Maulana, dkk., 2018):

$$\tau_a = \frac{\sigma_B}{S_{f1} \times S_{f2}} \quad (12)$$

Dimana :

τ_a = Tegangan Geser izin (kg/mm²)
 σ_B = Kekuatan Tarik Material (kg/mm²)
 S_{f1} = Faktor Koreksi Bahan
 S_{f2} = Faktor Koreksi Bentuk

Sedangkan persamaan untuk mencari tegangan geser yang terjadi pada poros adalah (Sularso, 1997):

$$\tau_{gp} = \frac{5,1 \times T}{d^3} \quad (13)$$

Dimana :

τ_{gp} = Tegangan Geser (kg/mm²)
 T = Momen Puntir (kg•mm)
 d = Diameter Poros (mm)

Untuk menghitung diameter poros yang akan digunakan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut (Sularso, 1997):

$$D \geq \left[\left(\frac{5,1}{\tau_a} \right) \times \sqrt{(K_m \times M)^2 (K_t \times T)} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (14)$$

Dimana:

τ_a = Tegangan geser izin (kg/mm²)
 D = Diameter Poros (mm)
 K_t = Faktor koreksi pembebanan puntir
 K_m = Faktor koreksi pembebanan momen lentur
 T = Momen Puntir (kg•mm)
 M = Momen Lentur (kg•mm)

Perbandingan putaran poros penggerak dan poros yang digerakkan dapat dirumuskan (Khurmi, 2005):

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{D_2}{D_1} \quad (16)$$

Dimana:

N_1 = Putaran Puli Penggerak (rpm)
 N_2 = Putaran Puli Digerakkan (rpm)
 D_1 = Diameter Puli Penggerak (m)
 D_2 = Diameter Puli Digerakkan (m)

Tetapi jika tebal perlu dipertimbangkan maka bisa dirumuskan dengan (Khurmi, 2005):

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{D_2+t}{D_1+t} \quad (17)$$

Dimana :

N_1 = Putaran Puli Penggerak (p/s)
 N_2 = Putaran Puli Digerakkan (p/s)
 D_1 = Diameter Puli Penggerak (m)
 D_2 = Diameter Puli Digerakkan (m)
 t = Tebal (m)

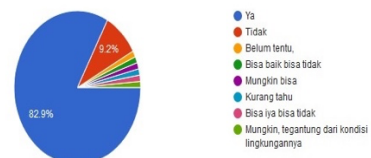
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Identifikasi Kebutuhan

Untuk mengetahui kebutuhan yang diinginkan konsumen dengan cara mewawancarai konsumen secara langsung. Tetapi yang terjadi kondisi saat ini tidak mungkin saya melakukan mewawancarai secara langsung karena adanya pandemi covid-19, maka *survey* kebutuhan melalui *google form* seperti gambar 4.

Apakah Pembangkit Listrik Tenaga Angin Savonius Tipe U dapat digunakan untuk rumah energi dan dapat digunakan pada daerah yang sulit dijangkau (pelosok) merupakan solusi yang baik ?

76 responses



Gambar 4. Data statistik Pembangkit Listrik Tenaga Angin Savonius Tipe U

Blok Fungsi

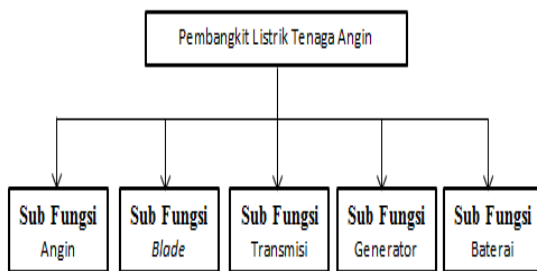
Tahap pertama perancangan konsep adalah tahap blok fungsi menentukan *input* yang akan diproses sehingga akan dihasilkan *output* dapat dilihat pada gambar 5.



Gambar 5. Blok fungsi

Pohon Fungsi

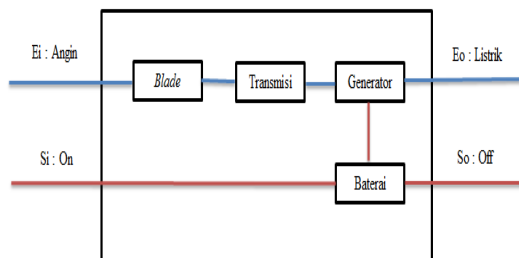
Setelah membuat blok fungsi selanjutnya adalah membuat pohon fungsi seperti gambar 6 berikut.



Gambar 6. Pohon Fungsi

Diagram Sub Fungsi

Pada diagram sub fungsi dijelaskan bahwa tentang gambaran sistem pembangkit listrik tenaga bayu tersebut. Sistem yang dibuat mengacu pada sub fungsi pada pohon fungsi yang sudah dibuat sebelumnya. Adapun diagram sub fungsi dapat dilihat pada gambar 7.



Gambar 7. Diagram sub fungsi

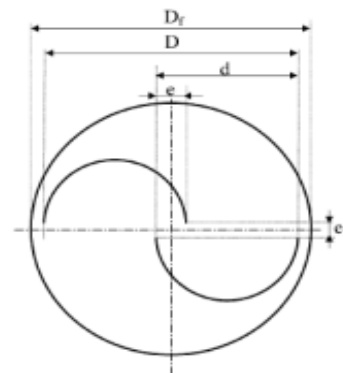
Kriteria Desain

Desain akan dipilih dengan pertimbangan kriteria-kriteria berikut ini:

- 1) Geometri
 - Ukuran Tinggi Produk
 - Ukuran Lebar dan Panjang Produk
- 2) Material
 - Kualitas Material

- Kuat dan Tahan Lama
- 3) Perakitan
 - Perakitan Mudah
 - Mudah dilepas dan dipasang
 - 4) Perawatan
 - Biaya Perawatan
 - Frekuensi Perawatan
 - 5) Produksi
 - Mudah Diproduksi
 - Komponen Mudah Dicari
 - 6) Operasi
 - Aman Pengoperasian
 - Mudah Pengoperasian

Bisa dilihat pada gambar 8 rotor tipe savonius yang dibuat dari pemilihan perancangan pada diagram alir dan tabel 1 untuk spesifikasi ukuran rotor tipe Savonius.



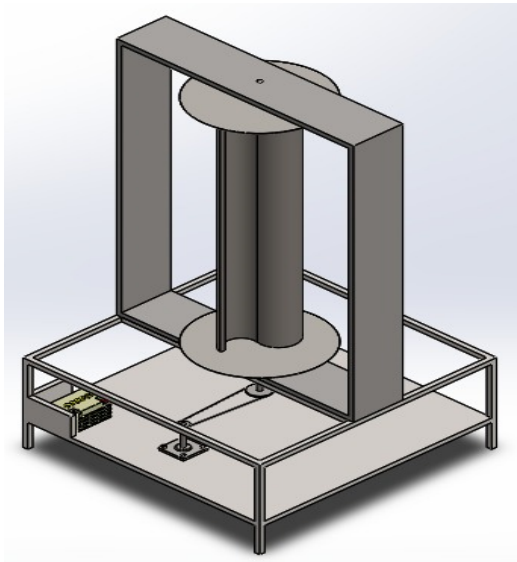
Gambar 8. Rotor tipe Savonius

Tabel 1. Spesifikasi rotor tipe Savonius

No	Spesifikasi	Nilai
1.	Diameter Turbin (D)	0,92 m
2.	Diameter Rotor (Df)	1,5 m
3.	Diameter Sudu (d)	0,46 m
4.	Offset (e)	200 mm
5.	Jumlah Blade	2
6.	Tinggi Turbin	3,66 m
7.	Tebal Turbin	3 mm ≈ 0,003 m
8.	End Plate	2

Varian Terpilih

Berdasarkan hasil identifikasi masalah dan perancangan konsep yang telah dilakukan, maka dihasilkan gambar 9 sebagai varian desain yang terpilih. Adapun pembuatan desain dilakukan dengan menggunakan *software Solidworks 2018*. Dengan spesifikasi teknis yang tersaji pada tabel 2.



Gambar 8. Varian Terpilih

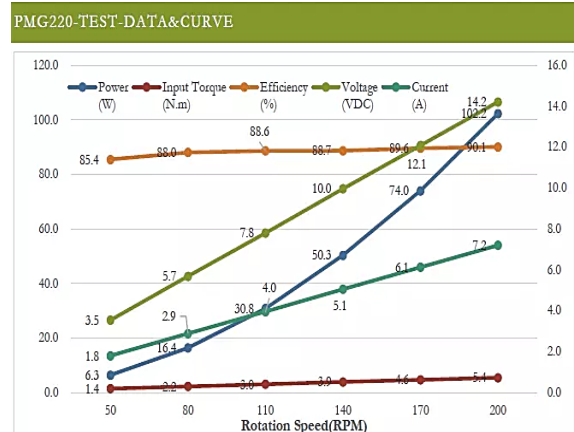
Tabel 2. Spesifikasi hasil perhitungan

No	Spesifikasi	Nilai	Keterangan
1	Kecepatan Putar	199,9889 rpm	-
2	Kecepatan Angin	4 m/s ≈ 14,4 km/jam	
3	Massa Jenis	1,1644 kg/m ³	
4	Blade	∅ 920 mm × 3668 mm	Galvanizes Steel Plate
5	Poros	∅ 20 × 4310 mm	Carbon Steel S-45 C
6	Bantalan	∅ d 20 × ∅ D 35 mm	Thrust Bearing NSK 51203
7	Pemindah Daya	Puli 4" - Puli 3,9"	Sabuk Tipe A
8	Rangka	40 × 40 × 3 mm	Mild Steel ST-37
9	Generator	200 rpm	PMG 220
10	Baterai	12 V-12 Ah	Yuasa NP 12-12

Perhitungan Spesifikasi Sistem

Daya Rencana yang akan dicapai dalam perancangan pembangkit listrik tenaga angin dengan menggunakan jenis turbin savonius tipe-u adalah sebesar 100 W dengan

kecepatan angin rata-rata 4 m/s ≈ 14,4 km/jam. Sementara generator yang digunakan adalah PMG 220. Generator jenis ini menggunakan magnet permanen dan biasanya di peruntukan untuk pembangkit dengan skala kecil, dikarenakan daya listrik yang mampu dihasilkan dari generator ini maksimal hanya 100 W dengan tegangan 14 Volt DC (gambar 9), maka dihasilkan perhitungan (tabel 3) dengan menggunakan rumus yang ada pada metodologi.



Gambar 9. Grafik data tes generator (Hefei Ezpower Technology, 2020)

Tabel 3. Spesifikasi hasil perhitungan

No	Perhitungan	Hasil	Rumus
1	Daya Mekanik	110,9877 W	-
2	Luas rotor yang diperlukan	3,375 m ²	(1)
3	Daya total aliran angin	125,7552 W	(2)
4	Daya Mekanik dari angin	74,5216 W	(3)
5	Coefisien daya (CP)	0,7082	(4)
6	Massa udara	15,7194 kg/s	(5)
7	Kecepatan sudut putar	20,9321 rad/s	(6)
8	Tip speed ratio	2,4072	(7)
9	rpm	199,9889 rpm	(8)
10	Torsi	6,0072 Nm	(9)

4. SIMPULAN

Rancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin Dengan Turbin Savonius Tipe-U Untuk Kapasitas 100 W ini memiliki bagian utama, yaitu dengan menggunakan material *Steel Plate*. Untuk mekanisme pemindah daya rancangan ini menggunakan puli dan sabuk, untuk generator yang digunakan adalah generator DC lalu disimpan dan untuk menstabilkan arus listrik nya di baterai dengan kapasitas 12 V dan untuk rangka menggunakan *Hollow Square* 40 × 40 × 3 mm material *Mild Steel* ST-37. Material *blade* yang digunakan adalah material *Galvanized Steel plate*, untuk *blade* yang berdimensi \emptyset 920 mm × 3668 mm, *end plate* dimensi \emptyset 1500 mm sedangkan untuk poros menggunakan material *Carbon Steel* S-45 C dengan dimensi \emptyset 20 × 4310 mm dan kecepatan putar yang dibutuhkan adalah 199,9889 rpm.

DAFTAR PUSTAKA

- Ridwan dan A. Latief. 2019. Pengaruh Jumlah Sudu Pada Turbin Angin Sumbu Vertikal Terhadap Distribusi Kecepatan Dan Tekanan, *Jurnal Ilmiah Teknologi dan Rekayasa*, vol. 24, no. 2, hal. 141-151.
- A. Fadila dan I. Zakaria. 2020. Rancang Bangun Turbin Angin Tipe Darrieus Tiga Sudu Rangkap Tiga dengan Profil NACA 0006. *Eksergi*, vol. 15, no. 3, p. 102-110.
- A. Alditihan dan N. Tanti, Pembuatan Program Perancangan Turbin Savonius Tipe-U Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin, *J. Mech.*, vol. 2, pp. 1-9, 2011.
- Bhutta, M.M.A., Hayat, N., Farooq, A.U., Ali, Z., Jamil, S.R. dan Hussain, Z., 2012. Vertical axis wind turbine-A review of various configurations and design techniques. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(4), hal.1926-1939.
- E. S. Yulianto. 2018. Desain Dan Simulasi Sudu Turbin Model Savonius Tipe U Dengan 4 Sudu Menggunakan Software Solidwork 2018. *Laporan Penelitian*, Universitas Gunadarma, hal. 1-13, 2018.
- Sularso dan K. Suga, 1997. *Dasar - Dasar Pemilihan dan Perencanaan Elemen Mesin*. Jakarta: Pradnya Paramita.
- G. Pahl, W. Beitz, J. Feldhusen, dan K. H. Grote, 2007. *Engineering design: A systematic approach*. Springer: London.
- Maulana, E., Mahandika, D. dan Bahrudin, A.H., 2021. Design of refuse derived fuel (RDF) printing machine with a capacity of 50 kg/h. *Teknika: Jurnal Sains dan Teknologi*, 17(1), hal.92-103.
- R. S. Khurmi dan J. K. Gupta., 2005. *A textbook of machine design*. New Delhi: Eurasia Publishing House (PVT.) LTD.
- Hefei Ezpower Technology Co.,Ltd, 2020. *PMG220 Coreless Generator*, [Online], <https://www.aliexpress.com/item/32333746063.html>. diakses pada 5 Maret 2021.