



Terbit online pada laman web jurnal : <http://metal.ft.unand.ac.id>

METAL: Jurnal Sistem Mekanik dan Termal

| ISSN (Print) 2598-1137 | ISSN (Online) 2597-4483 |



Artikel Penelitian

Analisa Eksperimental Pengujian Turbin Angin Propeller Tiga Sudu Horizontal Axis

Islahuddin, Sanny Ardhy, Meiki Eru Putra

Program Studi Teknik Mesin, Universitas Dharma Andalas, Padang, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 8 Agustus 2021

Revisi Akhir: 7 Oktober 2021

Diterbitkan Online: 21 Oktober 2021

KATA KUNCI

Wind Turbine

Turbine Design

Wind Turbine Characteristics

Turbine Performance

KORESPONDENSI

E-mail: islahuddin@unidha.ac.id

A B S T R A C T

Energy needs in Indonesia are increasing every year along with the increase of human population. On the other hand, the rate of energy demand in Indonesia is not matched by the current energy availability. The lack of energy availability in Indonesia, one of which can be overcome by the use of alternative energy from nature, for example wind energy. Therefore, a three-blade horizontal axis propeller wind turbine was designed to obtain electrical energy. The design of this turbine uses several stages consisting of designing, assembling and testing the turbine. The test was conducted to determine the characteristics and performance of the wind turbine. Based on the initial design, the turbine sweep area is 2.4 m with three blades. The blade type is based on the NACA 2410 airfoil made of fiber composite and epoxy resin which is very effective at low wind speeds. The test was carried out on January 13-15, 2021 at Dharma Andalas University Padang with 16 hours for three days. Data recording is done with an automatic system using an octocoupler sensor, anemometer, and a voltage sensor integrated with a raspberry pi 3 microcontroller. From the tests carried out, the wind turbine starts to rotate at a V_{cut-in} of 1.5 m/s. The maximum rotation of the rotor obtained is 65 rpm with the highest wind speed of 3.9 m/s. The average power and average efficiency of the wind turbine are 9.8 Watt DC and 25.47%. The total electrical energy generated for 3 x 16 hours is 0.219 kWh.

1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi di Indonesia setiap tahunnya semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah penduduk. Rata-rata pertumbuhan konsumsi energi di Indonesia mencapai 5,9 persen setahun [1]. Namun, laju kebutuhan energi di Indonesia tidak diimbangi dengan ketersediaan energi yang saat ini masih terbatas. Kurangnya ketersediaan energi di Indonesia, salah satunya dapat diatasi dengan pemanfaatan energi alternatif dari alam, contohnya energi dari turbin angin. Seperti diketahui, Indonesia adalah negara kepulauan yang terletak di garis khatulistiwa yang memiliki sumber energi dari

angin yang sangat melimpah, sama halnya dengan sumber energi dari turbin air [2].

Data dari Badan Pusat Statistik (BPS) Sumatera Barat pada tahun 2017-2018, kecepatan angin rata-rata di Kota Padang mencapai 3 m/s [3]. Kecepatan ini mendekati kecepatan angin skala sedang dan energi tersebut dapat dimanfaatkan. Salah satu pemanfaatan sumber energi dari angin adalah penggunaan turbin angin. Kota Padang terletak di daerah dekat pantai, memiliki tingkat kecepatan angin yang tinggi, dan rata-rata sedang di daerah Kota Padang. Hal ini sangat mendukung kinerja turbin angin. Berbagai macam turbin angin sebagai

pembangkit energi alternatif, tipe *horizontal axis* adalah salah satu turbin angin yang ditemukan sebagai pemanfaatan energi angin yang bekerja dengan memanfaatkan energi kinetik angin yang akan memutar rotor. Besarnya putaran rotor yang dihasilkan berbanding lurus dengan besarnya kecepatan angin.

Penelitian yang mendukung teknologi turbin angin telah dilakukan sebelumnya oleh Ruzita Sumiati, dkk [4] yang membuat rancangan mikro turbin angin skala rumahan. Penelitian ini mengembangkan teknologi kincir angin tipe Savonius atau turbin angin sumbu vertikal. Desain dari turbin angin Savonius berbentuk dua sudu dengan konstruksi overlap antara kedua sudu. Ini bertujuan untuk memanfaatkan tekanan angin balikan dari sudu satu ke sudu ke dua dan sebaliknya, sehingga dapat meningkatkan putaran rotor. Dari hasil pengujian, didapat daya maksimum sebesar 7,7 watt, putaran rotor 340 rpm dengan kecepatan angin 5,68 m/s dan koefisien daya 0,3 [4].

Penelitian selanjutnya, Antonov Bachtiar, dkk [5] menganalisa potensi pembangkit listrik energi angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras. Sistem yang diterapkan menggunakan *wind turbine*, baterai, konverter dan perhitungan dari sistem secara menyeluruh menggunakan *software HOMER* versi 2.68. Hasil simulasi menjelaskan bahwa potensi angin dapat dimanfaatkan untuk mengembangkan energi terbarukan di sekitar pantai dan membantu perekonomian masyarakat agar lebih maju. Besar daya listrik yang dihasilkan dalam satu tahun melalui simulasi HOMER rata-rata daya yaitu 129 watt. Sementara dalam perhitungan didapatkan 137 watt [4]. Penelitian ini juga memiliki kelemahan, seperti tidak mempertimbangkan kecepatan angin yang rendah.

Pengujian turbin angin tipe Horizontal Axis tiga sudu menggunakan metoda eksperimental. Ini bertujuan untuk mengetahui kinerja, karakteristik dan spesifikasi yang dimiliki turbin angin ini. Pengujian ini dilakukan selama 3x16 jam menggunakan turbin angin tipe propeller empat sudu berbahan komposit dengan *reinforcement* serat kaca dan menggunakan matriks resin dengan

campuran katalis. Pengujian ini dilakukan di kampus Universitas Dharma Andalas, Padang. Ada tiga tujuan penelitian ini. Pertama, guna mengetahui *Vcut-in* hasil perancangan turbin angin jenis propeller tipe horizontal axis. Kedua, untuk mendapatkan hasil perancangan turbin angin jenis propeller tipe horizontal axis. Ketiga, untuk mendapatkan nilai karakteristik dan prestasi dari turbin angin jenis propeller tipe horizontal axis.

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini, yakni jenis turbin angin yang dirancang adalah turbin angin sumbu horizontal dengan profil *airfoil* menggunakan tipe NACA 2410. Material yang digunakan pada sudu-sudu turbin menggunakan bahan komposit. Pengambilan data dan analisa berdasarkan variasi kecepatan angin selama 3x16 jam setiap 20 menit pada tanggal 13-15 Januari 2021. Selanjutnya, manfaat penelitian ini yakni memberikan informasi mengenai pemanfaatan turbin angin propeller sebagai media untuk pengaplikasian energi terbarukan dan alternatif tenaga listrik yang ramah lingkungan serta guna mengetahui proses pengujian dan performa turbin angin.

2. METODOLOGI

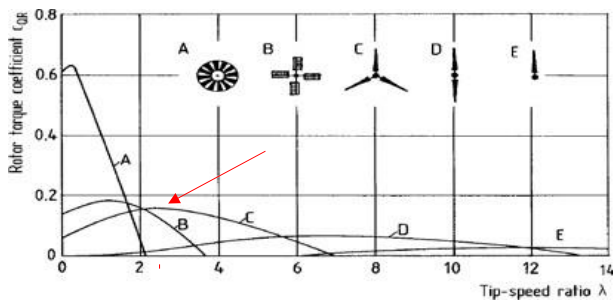
Proses pembuatan turbin angin dilakukan di laboratorium Teknik Mesin Unidha dan dilakukan pengambilan data pada tanggal 13-15 Januari 2021 di gedung C lantai 5 Universitas Dharma Andalas dengan koordinat lokasi 0°56'43.0'' Lintang Selatan 100°22'33.0'' Lintang Timur dengan ketinggian ±25 meter di atas permukaan laut.

Langkah pertama adalah pencarian studi literatur yang berkaitan dengan turbin angin. Setelah itu, dilakukan pengambilan data awal kecepatan angin untuk menentukan geometri perancangan turbin angin. Langkah selanjutnya adalah pengumpulan komponen alat dan bahan untuk dilakukan proses fabrikasi alat sesuai dengan desain perancangan turbin. Jika proses telah sesuai, maka dilakukan proses pemasangan komponen-komponen alat secara keseluruhan. Langkah terakhir adalah pengambilan data kecepatan angin, daya generator,

V_{cut-in} dan efisiensi dari turbin sehingga akan didapatkan hasil analisa dan kesimpulan.

2.1 Menentukan Jenis Turbin Angin

Perancangan jumlah sudu turbin angin menggunakan nilai *tip speed ratio*, sehingga didapatkan tipe sudu melalui kurva pada Gambar 1.



Gambar 1. Model turbin sejumlah turbin angin

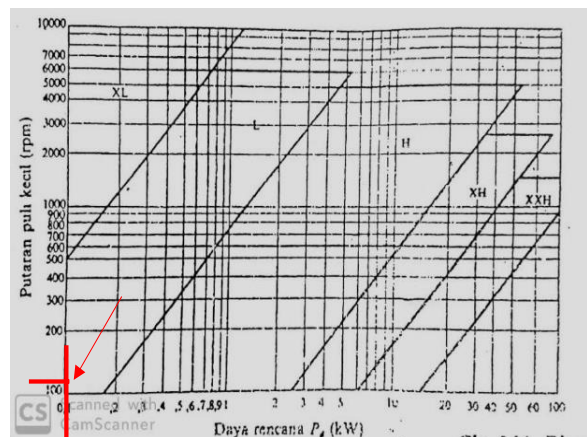
Berdasarkan dari gambar hubungan koefisien rotor dari beberapa turbin angin, didapat perpotongan garis pada kurva dengan titik *ultimate C* yaitu rotor turbin jenis *horizontal axis* tiga sumbu. Pemilihan *airfoil* yang tepat untuk perancangan turbin angin ini adalah *airfoil* NACA 2410. Menurut badan laboratorium NREL (*National Renewable Energy Laboratory*) telah melakukan penelitian dan merilis beberapa *airfoil-airfoil* yang cocok untuk diterapkan pada turbin angin sumbu horizontal dengan sekala kecil hingga besar. Dari hasil penelitian [6] dengan penggunaan komposit *fiberglass* sangat mudah dilakukan dan sesuai dengan standar Amerika tentang sudu turbin NACA yaitu NACA 2410.

2.2 Pemilihan Sabuk (belt)

Pemilihan *belt* atau sabuk menggunakan tipe sabuk gilir. Pemilihan ini didasari karena faktor-faktor sebagai berikut [7]:

1. Sangat efektif untuk transmisi kecepatan tinggi dan daya yang besar.
2. Pemakaian puli di bidang sempit dan puli yang dipakai kecil.
3. Tahan temperatur sampai 80°C .

Di samping faktor-faktor di atas, pemilihan sabuk juga didasari pada pemilihan sabuk yang ada pada Gambar 2.



Gambar 2. Pemilihan tipe sabuk [7].

Berdasarkan gambar di atas, dengan parameter daya dan kecepatan poros maka didapatkan sabuk dengan tipe L. Setelah mengetahui tipe sabuk maka akan didapatkan ukuran dan spesifikasi dari dimensi sabuk gilir seperti yang terlihat pada Gambar 3[7].

Pemanggang	Jarak bagi (mm)	Ukuran	Pemakaian-pemakaian penting
XL	5,08		Mesin kantor Mesin jahit Instrumen Komputer
L	9,525		Mesin tekstil Mesin kompak tugas ringan

Gambar 3. Tipe, ukuran dan pemakaian sabuk gilir

Berdasarkan gambar 3, didapatkan spesifikasi sabuk (*belt*) yang sesuai kecepatan poros serta daya rencana. Setelah didapatkan tipe, ukuran dan pemakaian sabuk, maka dapat diketahui jumlah gigi puli sesuai tipe sabuk yang ada pada Gambar 4 [7].

Tabel 5.13 Jumlah puli minimum yang diizinkan.

Putaran puli kecil (rpm)	Penampang sabuk				
	XL	L	H	XH	XXH
3500	12	16	20		
1750	10	14	18	26	26
1160	10	12	16	24	24
870				22	22

Gambar 4. Jumlah puli minimum yang diizinkan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Pengujian

Setelah proses rancang bangun selesai dilaksanakan, tahapan selanjutnya pengambilan data pada 13-15 Januari 2021 di Gedung C lantai 5 Universitas Dharma Andalas dengan selang waktu 20 menit untuk mengetahui karakteristik dan prestasi turbin angin. Pengambilan data dilakukan dengan menggunakan sensor kecepatan poros yang diletakkan pada poros turbin, sensor arus yang dirangkai pada kontroler, alat pendeteksi kecepatan angin yang diambil secara manual dan alat multimeter untuk mendapatkan nilai voltase pada generator yang diambil secara manual selama hari pertama dan kedua. Namun pada hari ketiga, metode pengambilan data berubah menggunakan sensor-sensor yang ada pada alat mikrokontroler ini karena kurangnya anggota untuk melakukan pengambilan data tersebut.

Tujuan pengambilan data ini adalah untuk mendapatkan data hasil eksperimen berupa kecepatan angin, kecepatan poros, tegangan generator dan kuat arus generator yang digunakan dalam perhitungan untuk menentukan daya angin, daya generator dan efisiensi turbin. Sampel data analisa diambil dari tabel data, pengujian hari kedua pada 14 Januari 2021 mulai pukul 09.00 hingga 24.00 WIB. Adapun data yang diambil sebagai contoh pada pukul 10.20 WIB adalah sebagai berikut:

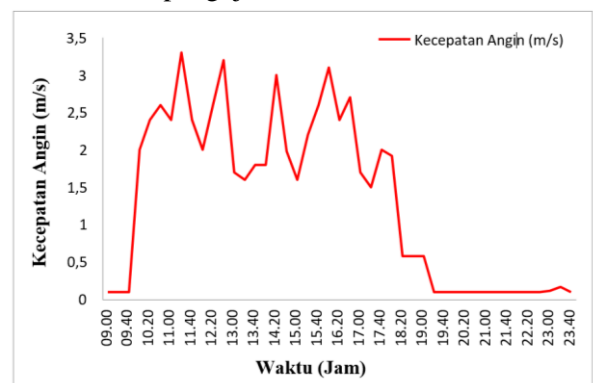
1. Tegangan generator (V) : 38 VDC
2. Kuat arus generator (A) : 0,5 A
3. Kecepatan angin : 3,3 m/s

4. Daya angin : 99,65 watt
5. Daya generator : 19 watt
6. Putaran poros turbin : 56 rpm
7. Efisiensi turbin : 19,06 %

Hasil data yang didapatkan sangat berpengaruh untuk mendapatkan performa turbin angin yang telah dirancang. Berdasarkan data hasil-hasil perhitungan tersebut, diperoleh beberapa grafik yang menggambarkan karakteristik dan prestasi turbin angin. Grafik yang dimaksud adalah grafik perubahan kecepatan angin terhadap waktu, kecepatan angin vs putaran poros turbin, kecepatan angin vs daya generator, hubungan putaran dengan daya, hubungan daya angin dan daya generator terhadap waktu dan efisiensi turbin serta grafik distribusi kecepatan angin pada hari di saat eksperimen berlangsung.

3.2 Percobaan Kecepatan Angin Terhadap Waktu

Gambar 5 menunjukkan grafik perubahan kecepatan angin terhadap waktu dalam jam yang terukur, pada eksperimen hari kedua tanggal 14-15 Januari 2021 dari pengambilan data keseluruhan yang dimulai pada tanggal 13-15 Januari 2021. Bisa dilihat kondisi angin di Universitas Dharma Andalas Padang dalam selang waktu 16 jam. Data diambil dalam selang waktu 20 menit dan kondisi cuaca di saat pengambilan data hari kedua adalah cerah berawan. Pada gambar tersebut, dapat dilihat bahwa kecepatan angin berubah-ubah terhadap waktu. Perubahan kecepatan angin dapat disebabkan oleh perubahan cuaca mendadak di sekitar lokasi pengujian.



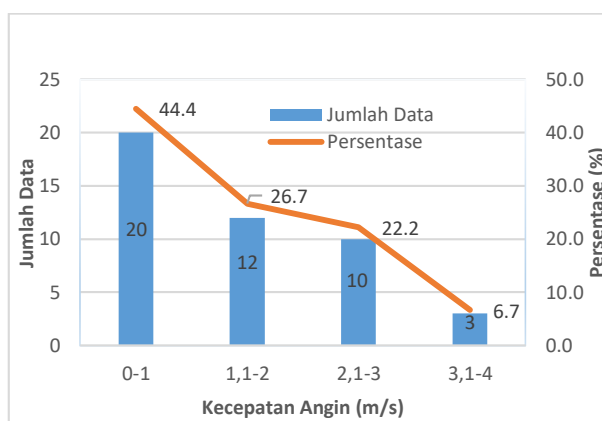
Gambar 5. Perubahan kecepatan angin terhadap waktu eksperimen.

Faktor lainnya yang dapat menyebabkan perubahan kecepatan angin adalah arah datangnya angin yang tiba-tiba berubah sehingga mempengaruhi pembacaan kecepatan angin pada anemometer. Pada awal eksperimen tercatat kecepatan angin 2 m/s, untuk delapan jam pertama kecepatan angin terukur adalah 1,5-3,3 m/s dan terlihat dalam grafik tersebut kecepatan angin sangat berfluktuasi. Kecepatan angin yang terbaca tergolong kecepatan angin sedang karena pengujian dilakukan diatas gedung dan posisi turbin angin terhalang oleh beberapa bangunan di sebelahnya, sehingga saat angin datang dan terhalang oleh bangunan, maka sensor kecepatan angin tidak dapat membaca angin dengan benar. Puncak kecepatan angin maksimal terjadi pukul 11.20-16.00 WIB dengan nilai tertinggi adalah 3,3 m/s pada pukul 11.20 WIB. Setelah pukul 18.00 WIB, kecepatan angin mengalami penurunan yang signifikan sampai pukul 24.00 WIB. Pada interval ini tidak tercatat adanya kenaikan intensitas kecepatan angin oleh sensor. Nilai toleransi 0,1 m/s pada Grafik merupakan nilai terendah yang dibaca oleh sensor. Artinya nilai 0,1 m/s adalah 0 m/s. Ini menunjukkan bahwa tidak ada angin yang mengenai sensor anemometer. Kecepatan angin bernilai nol terjadi pada malam hari di daerah pengujian. Pada data hari lain juga terdapat nilai yang sama, karena kondisi malam yang cerah dan tidak adanya badai. Pada eksperimen ini, kecenderungan arah datangnya angin berhembus dari arah Selatan ke Utara atau arah laut ke gedung Universitas Dharma Andalas. Untuk mendapatkan nilai kecenderungan kecepatan angin, maka dibuat grafik distribusi kecepatan angin, dapat dilihat pada Gambar 6.

3.2 Distribusi frekuensi kecepatan angin eksperimen.

Setelah pukul 18.00 WIB, kecepatan angin mengalami penurunan yang signifikan hingga pukul 24.00 WIB. Pada interval ini, tidak tercatat adanya kenaikan intensitas kecepatan angin oleh sensor. Nilai toleransi 0,1 m/s pada grafik merupakan nilai terendah yang dibaca sensor. Artinya nilai 0,1 m/s adalah 0 m/s. Ini menunjukkan bahwa tidak ada angin yang mengenai sensor anemometer.

Kecepatan angin bernilai nol terjadi pada malam hari di daerah pengujian. Pada data hari lain, juga terdapat nilai yang sama, karena kondisi malam yang cerah dan tidak adanya badai. Pada eksperimen ini, kecenderungan arah datangnya angin berhembus dari arah Selatan ke Utara atau arah laut ke gedung Universitas Dharma Andalas. Untuk mendapatkan nilai kecenderungan kecepatan angin, maka dibuat grafik distribusi kecepatan angin, dapat dilihat pada Gambar 6.

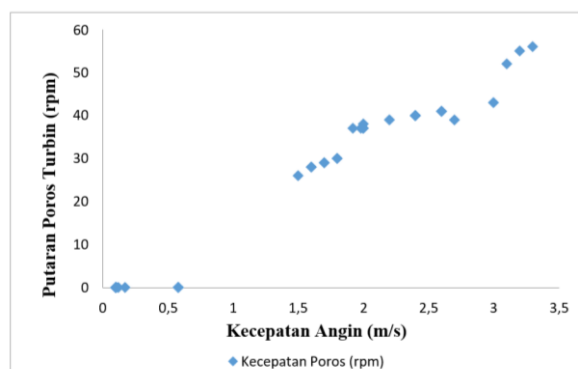


Gambar 6. Grafik distribusi frekuensi kecepatan angin eksperimen

Berdasarkan data hasil eksperimen 16 jam ini kecepatan angin paling banyak berada antara 0-1 m/s dengan presentase 44,4%. Kecepatan angin 1-2 m/s memiliki presentase 26,6%. Pada *range* tersebut memiliki nilai presentasi yang cukup tinggi, untuk kecepatan tersebut seharusnya turbin angin propeler tiga sudu yang digunakan sebagai pembangkit listrik akan sangat sulit memulai putaran awal (*Vcut-in*) karena berdasarkan pengujian, turbin angin baru bisa berputar pada kecepatan angin 1,5 m/s.

Namun data di atas merupakan hal yang wajar karena metode pengambilan data selama 20 menit, nilai kecepatan angin 1-2 m/s merupakan nilai yang disebabkan gaya inersia dari putaran turbin angin sebelumnya, tidak menutup kemungkinan sebelum waktu pengambilan data 20 menit terdapat nilai kecepatan angin diatas 1,5 m/s. Kecepatan angin pada kisaran 2-3 m/s memiliki presentasi yang cukup tinggi sekitar 22,2%, dimana operasional turbin angin mulai bagus pada kecepatan angin ini

dan menghasilkan daya. Pada kecepatan angin 3-4 m/s memiliki presentase sekitar 6,7%, nilai yang didapat cukup kecil namun daya yang dihasilkan generator semakin besar. Putaran poros turbin diambil menggunakan sensor *octocoupler* dengan cara membaca celah lubang dengan sinar laser pada media sensor yang melekat pada poros turbin. Seperti pada Gambar 7. Hubungan Kecepatan Angin Dengan Putaran Turbin yang diperlihatkan hubungan antara kecepatan angin dengan putaran rotor turbin, pada eksperimen selama 16 jam hari kedua.



Gambar 7. Hubungan Kecepatan Angin Dengan Putaran Turbin

Secara umum putaran rotor sebanding dengan kecepatan angin. Dengan kata lain putaran rotor turbin akan mengalami kenaikan jika kecepatan angin mengalami kenaikan. Pada grafik terlihat poros turbin tidak mengalami putaran, artinya putaran porosnya 0 rpm. Ini dikarenakan kecepatan angin yang mengenai turbin tidak cukup kuat untuk memutar turbin angin tersebut. Hal ini terjadi saat kecepatan angin berada pada range 0-0,58 m/s, ini disebabkan turbin harus mencapai *Cutt-off speed* (V_{cut-in}) untuk memulai putaran dari posisi diam. Turbin angin berputar pada kecepatan angin yang berada di antara 1,5-3,3 m/s. Putaran terendah sebesar 26 rpm pada saat kecepatan angin 1,5 m/s. Sehingga dapat diambil bahwa V_{cut-in} turbin angin adalah 1,5 m/s. Fluktuasi putaran turbin terhadap kecepatan angin juga terlihat pada kecepatan angin 2,7 m/s didapatkan putaran turbin 39 rpm.

Kemudian pada kecepatan angin yang lebih rendah yaitu sebesar 2,4 m/s didapatkan putaran turbin

sebesar 40 rpm. Ini disebabkan pada saat pencatatan untuk kecepatan angin tersebut turbin masih memiliki suatu momen inersia dari kecepatan angin sebelumnya yang lebih tinggi. Secara teoritis putaran rotor turbin berbanding lurus dengan kecepatan angin. Data hasil eksperimen menunjukkan kecenderungan yang tidak jauh beda. Adapun nilai-nilai yang berada di luar garis linear gambar 7 ini disebabkan oleh beberapa faktor yang mungkin menyebabkan penyimpangan seperti fluktuasi kecepatan angin terhadap waktu serta adanya perubahan cuaca secara mendadak yang mengakibatkan berubahnya arah angin dalam selang waktu tertentu dalam menyapu sudu turbin.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

1. Kecepatan angin awal (V_{cut-in}) untuk memutar turbin angin dari posisi diam adalah 1,5 m/s.
2. Jenis turbin angin yang didapatkan berdasarkan perancangan adalah tipe tiga sudu dengan diameter 2,45 m.
3. Diameter poros turbin hasil perancangan adalah 21 mm.
4. *Belt* hasil perancangan menggunakan nomor sabuk 270L dengan jarak puli 100 mm.
5. Parameter yang digunakan untuk menentukan karakteristik dan prestasi turbin angin adalah putaran turbin, daya generator efisiensi dan kecepatan angin. Putaran turbin rata-rata 39,59 rpm dengan rentang 0 sampai dengan 65 rpm. Daya generator rata-rata 9,8 watt DC dengan rentang 0 sampai dengan 23,1 watt DC. Efisiensi rata-rata 25,47% dengan rentang 0% sampai dengan 47,6%. Kecepatan angin rata-rata 2,4 m/s dengan rentang 0 sampai dengan 3,9 m/s.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ika, (2017, Sep. 14) Konsumsi Energi Indonesia Meningkat 5,9 Persen [Online], Available : <https://ugm.ac.id/id/berita/14723-konsumsi.energi.indonesia.meningkat.59.persen>.

- [2] A. Kadir, Energi: Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi, 1st ed., Jakarta: IU Press, 2011
- [3] Provinsi Sumatera Barat Dalam Angka 2018, Edisi katalog 1102001.13, Badan Pusat Statistik Provinsi Sumatera Barat, Padang, Indonesia, 2018.
- [4] Ruzita, Khairul dan Hanif. Rancang Bangun Micro Turbin Angin Pembangkit Listrik Untuk Rumah Tinggal di Daerah Kecepatan Angin Rendah, ISSN : 2407- 1846, November, 2014.
- [5] A. Bactiar dan W. Hayattul, “Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras”, *J. Teknik Elektro*, Vol.7, No.1, Januari, 2018.
- [6] M. Saputra, “Kajian Literatur Sudu Turbin Angin Untuk Skala Kecepatan Angin Rendah”, *J. Teknik Mekanova*, Vol.2, No.1, April, 2016.
- [7] Sularso, Dasar Perencanaan dan Pemilihan Elemen Mesin, Jakarta: Pradnya Paramita, 1997.