



Perancangan dan Uji Kincir Angin Vertikal Darrieus Tipe-H Dengan Daya 0,31 Hp

Mahyuddin^{1*}, Usman¹

¹) Program studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Abulyatama, Jl. Blang Bintang Lama Km.8,5
Lampoh Keudee Aceh Besar 23372, Indonesia.

* Email korespondensi : mahyuddin_mesin@abulyatama.ac.id

Diterima: 19 Oktober 2018; Disetujui 17 Januari 2019; Dipublikasi 31 Januari 2019

Abstrak: Angin merupakan salah satu energi terbarukan yang dapat dikembangkan saat ini. Energi angin termasuk energi yang dapat diproduksi kembali melalui proses alam. Beberapa kelebihan dari energi terbarukan seperti angin adalah sumbernya yang terus menerus didapat dari alam tanpa adanya pencemaran lingkungan. Pemanfaatan sumber energi angin sebagai pembangkit listrik merupakan salah satu upaya untuk memenuhi akan kebutuhan energi listrik yang semakin hari jumlah kebutuhannya semakin meningkat baik itu dibidang industri maupun dibidang komersial. Untuk mengembangkan potensi tersebut diperlukan suatu alat pengkonversian energi kinetik angin menjadi energi listrik berupa kincir angin yang bekerja untuk memutar sebuah generator listrik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada kecepatan angin minimum yaitu 4,5 m/s, kincir angin mampu berputar mencapai 746 rpm dengan kecepatan putar generator 4183 rpm, pada kecepatan angin maksimum yaitu 7,3 m/s, kincir angin mampu berputar mencapai 2953 rpm dengan kecepatan putar generator mencapai 6850 rpm.

Kata Kunci : Kincir Angin Vertikal, Darrieus Tipe-H, Konversi energy, Pembangkit Listrik.

Sepanjang sejarah manusia kemajuan-kemajuan besar dalam kebudayaan selalu diikuti oleh meningkatnya konsumsi energi. Peningkatan ini berhubungan langsung dengan tingkat kehidupan penduduk serta kemajuan industrialisasi. Sejak revolusi industri, penggunaan bahan bakar meningkat secara cepat, oleh karena itu diperlukan sumber energi

yang dapat memenuhi semua kebutuhan. Salah satu sumber energi yang banyak digunakan adalah energi fosil. Sayangnya energi ini tidak dapat diperbaharui dan jika energi fosil ini habis maka diperlukan sumber-sumber energi baru. Selain itu penggunaan energi fosil juga berdampak negatif terhadap lingkungan, baik secara langsung maupun tidak langsung seperti

pemanasan global yang berdampak pada kerusakan ekologi[1]. Di Indonesia sebenarnya cukup banyak sumber-sumber energi alternatif yang tersedia, berdasarkan hasil pengkajian potensi pemanfaatan energi alternatif di Indonesia sangat besar. Untuk potensi *solar cell*, letak Indonesia yang berada di garis khatulistiwa sudah tidak diragukan lagi dengan potensi sebesar 19.658 MW, *hydro* memiliki total potensi sebesar 75.000 MW. Energi angin Indonesia memiliki potensi sebesar 9.286 MW[2]. Kincir angin darrieus tipe-H merupakan jenis kincir angin sumbu vertikal yang banyak digunakan sebagai sistem konversi energi angin ke listrik karena mampu menghasilkan listrik ketika angin memutar turbin. Kincir angin Darrieus tipe-H termasuk jenis kincir angin darrieus dengan desain sudu yang lurus lebih besar dibandingkan pada sisi sudu lengkung seperempat lingkaran. Kincir angin ini biasa terdiri dari tiga sudu dan mempunyai poros ditengahnya. Prinsip kerja kincir angin adalah berdasarkan interaksi sudu dan rotor dengan hembusan angin, tetapi perputaran kincir angin seringkali terhambat oleh gaya hambat (*Drag*) yang besar akibat angin yang menyapu dinding sudu yang lebar.

Tujuan dari Penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja kincir angin darrieus tipe-H dari hasil rancangan yang dilakukan.

Energi Angin

Energi angin dapat dikonversikan atau di transfer ke dalam bentuk energi yang lain seperti energi listrik atau mekanik dengan menggunakan turbin. Oleh karena itu turbin angin sering disebut sebagai sistem konversi angin[1]. Energi angin merupakan sumber daya alam yang dapat diperoleh secara Cuma-Cuma yang jumlahnya melimpah dan tersedia terus menerus sepanjang tahun. Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki sekitar 17.500 pulau dengan panjang garis pantai lebih dari 81.290 Km. Indonesia memiliki potensi energi angin sangat besar yaitu sekitar 9,3 GW dan total kapasitas yang baru terpasang saat ini sekitar 0,5 MW[3]. Akibat perbedaan suhu dan tekanan antara suatu tempat dan tempat lain, terjadilah gerakan udara yang disebut angin. Angin dicirikan dengan arah dan kecepatannya. Arah angin dinyatakan dengan derajat, angin dari utara arahnya dinyatakan 360 derajat, dari timur 90 derajat, dari selatan 180 derajat, dari barat 270 derajat. Kecepatan angin dinyatakan dalam Km/Jam, m/detik, atau Knot (1 Knot = 1 mil/jam = 1,8 Km/Jam)[4]. Kincir angin adalah suatu alat mesin konversi energi yang mengkonversikan energi angin menjadi daya yang berguna dalam bentuk putaran poros, angin yang bertiup dengan kecepatan tertentu memiliki energi dalam bentuk energi kinetik. Jika angin menumbuk sudu pada suatu kincir

angin, maka rotor pada kincir angin tersebut akan berputar dan kemudian diteruskan ke sistem kinerja pembangkit tenaga angin maka dapat menghasilkan suatu energi dari putaran yang dihasilkan tersebut. Beberapa Penggunaan kincir angin secara umum anatara lain yaitu, pompa air untuk keperluan rumah tangga, irigasi, pembangkit listrik, penggunaan pada industri-industri menengah dan lain sebagainya. Energi yang dimiliki oleh angin dapat dihitung dengan persamaan daya energi angin[4]:

$$W = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots (1)$$

Dimana :

- W = Energi angin (Watt)
- ρ = Kerapatan udara (Kg/m³)
- A = Area penangkapan angin (m²)
- v = Kecepatan angin (m/s)

Persamaan di atas merupakan sebuah persamaan untuk kecepatan angin pada kincir angin yang ideal, dimana dianggap energi angin dapat dirubah seluruhnya menjadi energi kinetik, walaupun tidak secara keseluruhan. Pada kincir angin terdapat beberapa faktor efesiensi, baik efesiensi energi mekanik maupun efesiensi dari generator sehingga daya yang didapat dari energi angin dapat diketahui melalui persamaan berikut ini[4]:

$$W_{wt} = \eta_{wt} \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3 \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

- η_{wt} = Efisiensi kincir angin (%)

Turbin Angin

Turbin angin atau dalam bahasa sederhana kincir angin merupakan turbin yang digerakkan oleh angin, yaitu udara yang bergerak di atas permukaan bumi. Sudah sejak dahulu angin berjasa bagi kehidupan manusia. Turbin angin pada awalnya juga dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, memompa air dan menggiling jagung. Penggunaan turbin angin terus mengalami perkembangan guna memanfaatkan energi angin secara efektif, terutama pada daerah-daerah dengan aliran angin yang relatif tinggi sepanjang tahun. Turbin angin dahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan *Windmill*. Salah satunya adalah sebagai pembangkit listrik tenaga angin yang telah digunakan di Denmark sejak tahun 1980. Dalam beberapa dekade terakhir ini kekhawatiran akan habisnya energi fosil telah mendorong pengembangan dan penggunaan turbin angin secara meluas dalam mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat dengan prinsip konversi energi[3].

Tabel 1. Tipe Turbin Angin dan Kegunaannya^[4]

Type	Speed	Torque	Cp	Solidity (%)	Use	
Horizontal axis	Multi Blade	Low	High	0,25 - 0,40	50 - 80	Mechanical Power Electricity Production
	Three Blade Aerfoil	High	Low	Up to 0,45	Less Than 5	Production
Vertical axis	Pane mone	Low	Medium	Less than 0,1	50	Mechanical Power
	Darriues	Modere rate	Very low	0,25 - 0,35	10 - 20	Electricity Production

Pada saat ini, angin merupakan salah satu sumber energi dengan perkembangan relatif cepat dibanding sumber energi lainnya. Walaupun demikian sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional, misalnya PLTD atau PLTU. Pengkajian potensi angin pada suatu daerah dilakukan dengan cara mengukur serta menganalisa kecepatan maupun arah angin. Dasar dari alat untuk merubah energi angin adalah turbin angin. Meskipun masih terdapat susunan dan perencanaan yang beragam. Kincir angin dapat digolongkan menjadi dua tipe yaitu horizontal dan vertikal, namun yang paling banyak digunakan adalah kincir angin jenis horizontal. Kincir jenis ini mempunyai rotasi horizontal secara sederhana yaitu sejajar dengan arah tiupan angin. Prinsip dasar kincir angin adalah mengkonversi tenaga mekanik dari putaran

kincir menjadi energi listrik dengan induksi magnetik. Putaran kincir dapat terjadi dengan efektif dengan mengaplikasikan dasar teori aerodinamika pada desain batang kincir (*blade*). Ketersediaan angin dengan kecepatan yang memadai menjadi faktor utama dalam implementasi teknologi kincir angin. Perencanaan kincir angin harus disesuaikan dengan kebutuhan berdasarkan Tabel 1 maka dalam perancangan ini, kincir angin dapat digunakan sebagai pembangkit listrik dalam skala kecil. Kita dapat menentukan beberapa jumlah *blade* yang harus digunakan untuk berbagai penggunaan kincir angin. Demikian juga dengan perancangan jumlah blade yang digunakan yaitu 3 (tiga) *blade*. Kincir angin yang menggunakan 3 (tiga) *Blade* akan menghasilkan kecepatan tinggi dengan torsi rendah dan mempunyai *solidarity* yang rendah dan khusus digunakan untuk menghasilkan tegangan listrik.

Kincir Angin Tipe Darrius-H

Kincir angin jenis merupakan pengembangan lanjutan dari kincir angin tipe darrius. kincir angin jenis ini memiliki torsi awal yang rendah namun dari segi pabrikasinya lebih mudah bila dibandingkan dengan kincir angin darrius.



Gambar 1. Kincir Angin Darrieus Tipe-H7^[3]

Gaya yang memutar sudu kincir angin merupakan gaya *aerodinamika* yang terjadi karena angin mengalir melalui sudu kincir angin yang berpenampang (*airfoil*). Dalam hal tersebut gaya *aerodinamika* biasanya diuraikan menjadi gaya *lift*, yaitu komponen gaya yang tegak lurus kecepatan angin relatif, tetapi gaya *aerodinamika* yang terjadi tersebut dapat pula diuraikan menjadi gaya yang sejajar sumbu poros dan gaya tegak lurus sumbu poros kincir angin. Dengan demikian gaya yang bekerja pada sebuah sudu kincir angin adalah jumlah integrasi gaya-gaya pada *airfoil* tersebut sepanjang sudu kincir angin, posisi sudu terhadap bidang putaran rotor beroperasi pada putaran konstan, meskipun kecepatan angin berubah atau berhenti pada kecepatan angin yang tinggi[8]. Pada sebuah sudu ada gaya angkat (*lift*) dan gaya dorong (*drag*), untuk tipe kincir angin yang vertikal harus dibuat agar gaya *lift* lebih besar dari gaya *drag*. Gaya inilah yang menyebabkan proses perputaran kincir. Gaya yang bekerja pada sudu-sudu kincir angin

pada dasarnya terdiri dari tiga gaya diantaranya adalah:

- 1) Gaya aksial, yang mempunyai arah yang sama dengan arah angin, gaya ini harus ditampung oleh poros dan bantalan. Untuk menghitung gaya aksial dapat di hitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [5]:

$$a = 0,00142 \cdot v^2 \cdot r^2 \dots\dots\dots (3)$$

Dimana :

v^2 = Kecepatan angin

r^2 = Jari-jari rotor

- 2) Gaya sentrifugal, yang meninggalkan titik tengah. Untuk menghitung gaya sentrifugal dapat di hitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [5]:

$$S = 367 \frac{r \cdot P}{V_1 \cdot V} \dots\dots\dots (4)$$

Dimana :

r = Jari-jari rotor

P = Daya kincir angin

v = Kecepatan angin

V_1 = Kecepatan relatif ujung sudu terhadap kecepatan angin.

- 3) Gaya tangensial, yang menghasilkan momen, bekerja tegak lurus terhadap radius dari rotor yang merupakan daya produktif. Untuk menghitung gaya tangensial dapat di hitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut[5] :

$$t = 0,00219. W. V_2. v/r_1 \dots\dots\dots(5)$$

Dimana:

- W = Berat per-buah sudu
- v_2 = Kecepatan relatif titik berat sudu terhadap kecepatan angin
- v = Kecepatan angin
- r_1 = Jari-jari sudu

Beban yang terjadi pada sudu akibat dari pada berat sudu sendiri dapat dihitung dengan persamaan[5]:

$$Q = \frac{W}{L} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana :

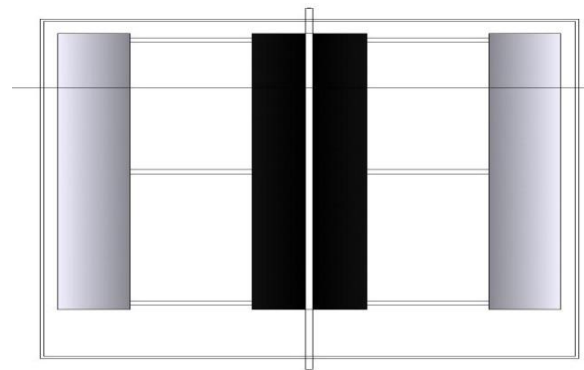
- W = Berat sudu
- L = Panjang sudu direncanakan

Sudu (Airfoil)

Sudu merupakan suatu komponen dari kincir angin yang berfungsi sebagai penangkap energi kinetik yang merubah menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran poros kincir. Dalam perencanaan kincir angin ini menggunakan persamaan drag force, sudu yang direncanakan sebanyak 3 buah, bahan sudu terbuat dari aluminium.

Tabel 2. Karakteristik Material (Materials Science and Engineering, Anintroduction, William D. Callister Jr, Wiley, 2004)

Logam	Kekuatan luluh (MPa)	Kekuatan tarik (MPa)	Keuletan %El.
Au	-	130	45
Al	28	69	45
Cu	69	200	45
Fe	130	262	45
Ni	138	480	40
Ti	240	330	30
Mo	565	655	35



Gambar 2. Perencanaan Sudu Kincir Angin Darrieus-H

Bila sejumlah udara dengan kecepatan bergerak melalui bidang seluas πr^2 (luas sudu), maka daya yang terdapat di dalam angin dapat dihitung dengan persamaan menghitung daya kincir angin sebagai berikut[8]:

$$P = 1/2 . \rho . v^3 . \pi r^2 \dots\dots\dots(7)$$

Dimana:

- P = Daya (watt)
- ρ = Kerapatan udara (Kg/m³)
- v = Kecepatan angin (m/s)
- πr^2 = Luas sudu (m²)

Energi kinetik dari satu m³ udara yang bergerak dapat di hitung dengan persamaan menghitung energy kinetik sebagai berikut[8] :

$$E = 1/2 . \rho . V^2 \dots\dots\dots(8)$$

Dimana:

- E = Energi (Joule)
- v = Kecepatan angin (m/s)

Langkah awal dalam menghitung energi angin adalah mengetahui kecepatan angin rata – rata. Kecepatan angin rata – rata dapat dihitung dengan persamaan:

$$V = \frac{\sum_{i=1}^n V_i.T_i}{\sum_{i=1}^n T_i} \dots\dots\dots (9)$$

Dimana :

- V = Kecepatan angin rata – rata (m/s)
- V_i = Kecepatan angin yang terukur (m/s)
- T_i = Lamanya angin bertiup dengan kecepatan V_i (m/s)
- n = Banyaknya data pengukuran

Daya angin

Berdasarkan hasil pengujian maka di dapatkan nilai-nilai untuk menghitung daya angin, perhitungan daya angin dilakukan secara matematis dengan membedakan waktu pengambilan data yaitu dalam bentuk per jam dapat dihitung dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

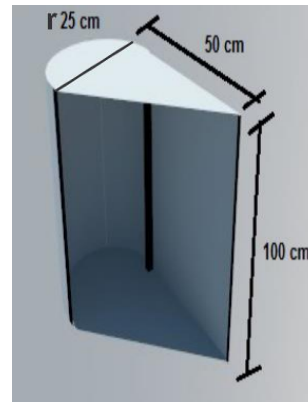
$$W = \frac{1}{2} \rho . A . v^3 \dots\dots\dots (10)$$

Dimana :

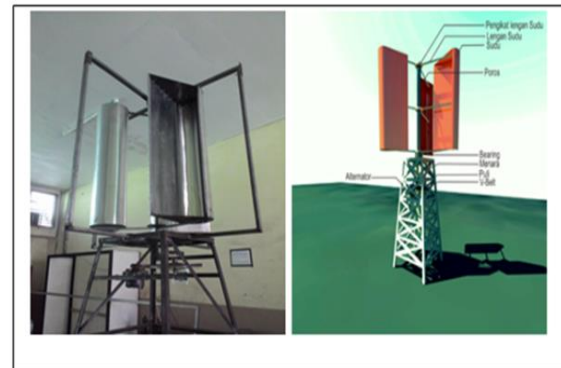
- W = Energi angin (Watt)
- ρ = Kerapatan udara (Kg/m^3)
- A = Area penangkapan angin (m^2)
- v = Kecepatan angin (m/s)

Perancangan Sudu Kincir Angin

Sudu yang direncanakan mempunyai 3 buah bilah, terbuat dari aluminium (SAE 322) dengan tebal 0,5 mm, direncanakan bisa berputar dengan kecepatan angin rata-rata 5 m/s[6].



Gambar 3. Rancangan Sudu Turbin Angin Vertikal



Gambar 4. Desain dan hasil rancangan Kincir Angin Darrieus Tipe-H

Hasil Pengujian Kincir Angin Darrieus Tipe-H

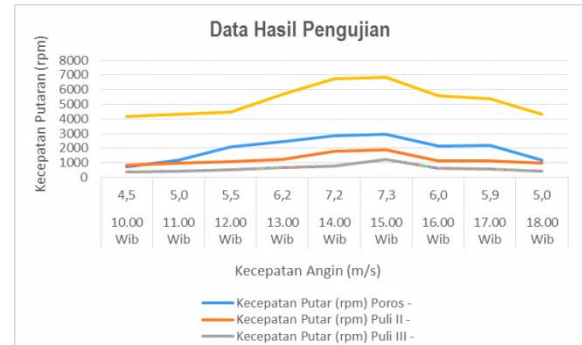
Dalam penelitian ini sudu kincir angin yang digunakan sebanyak 3 buah sudu. Pengujian yang dilakukan pada kincir angin merupakan pengujian dengan menggunakan beban dari generator, namun voltase (arus) yang dihasil dari generator diabaikan. Paramter yang diukur hanya berupa kecepatan angin dan kecepatan putaran poros kincir serta kecepatan putaran generator. Untuk mengukur kecepatan angin (m/s) digunakan Anemometer digital

(Kastrel 2000), dengan cara mengarahkan anemometer ke arah datangnya angin dengan letak ketinggian setara dengan ketinggian poros kincir angin yaitu 2 meter dari permukaan tanah. Untuk mengukur kecepatan putaran (rpm), digunakan Tachometer (TASI-8740). Dengan cara mengarahkan sinar laser yang terdapat pada alat tachometer tersebut ke arah poros kincir angin. Berikut adalah data hasil pengujian yang dihitung berdasarkan nilai rata-rata seperti yang ditunjukkan dalam tabel berikut ini;

Tabel 3. Hasil Pengujian Kincir Angin

No	Waktu	Kecepatan Angin (m/s)	Kecepatan Putar (rpm)			
			Poros	Puli II	Puli III	Puli IV
1	09.00 Wib	1,2	-	-	-	-
2	10.00 Wib	4,5	746	813	360	4183
3	11.00 Wib	5,0	1178	966	440	4326
4	12.00 Wib	5,5	2083	1089	540	4471
5	13.00 Wib	6,2	2435	1219	703	5698
6	14.00 Wib	7,2	2871	1797	772	6749
7	15.00 Wib	7,3	2953	1877	1255	6850
8	16.00 Wib	6,0	2155	1159	653	5558
9	17.00 Wib	5,9	2203	1159	600	5382
10	18.00 Wib	5,0	1178	966	440	4326

Dari tabel 3, data hasil pengujian menunjukkan bahwa kecepatan angin untuk mendapatkan putaran awal pada kincir angin berkisar antara 3 s/d 4 m/s.



Gambar 5. Perbandingan Putaran Kincir Angin Darrieus Tipe-H

Berdasarkan gambar 5 diatas, terlihat bahwa perbedaan kecepatan putaran antara poros dengan generator (puli IV) sangat jauh berbeda di akibatkan perbandingan transimi dimana pada kecepatan putaran poros putaran 2953 rpm kecepatan maksimum sedangkan pada generator (puli IV) mencapai 6850 rpm. Perubahan arah angin serta kecepatannya sangat berpengaruh terhadap putaran kincir. Tabel 4. menunjukkan perubahan kecepatan angin. Kecepatan angin maksimum terjadi pada pukul 14.00 Wib s/d 15.00 Wib.

Tabel 4. Hasil Pengujian Kecepatan Angin dan Kecepatan Putaran

Waktu	Kecepatan Angin m/s	Kecepatan Putaran poros (rpm)
09.00 Wib	1,2	-
10.00 Wib	4,5	746
11.00 Wib	5,0	1178
12.00 Wib	5,5	2083

Waktu	Kecepatan Angin m/s	Kecepatan Putaran poros (rpm)
13.00 Wib	6,2	2435
14.00 Wib	7,2	2871
15.00 Wib	7,3	2953
16.00 Wib	6,0	2155
17.00 Wib	5,9	2203
18.00 Wib	5,0	1178



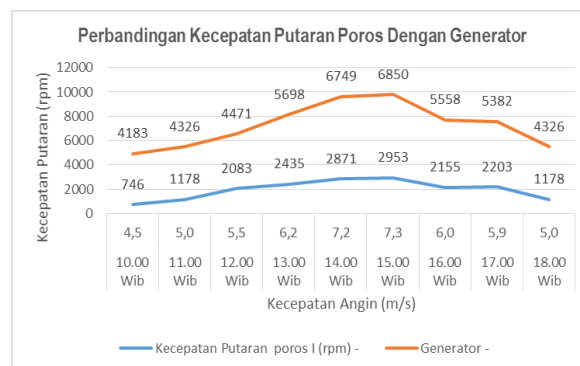
Gambar 6. Perbandingan Kecepatan Angin Dengan Kecepatan Putaran

Putaran dari poros di teruskan ke generator dengan menggunakan metode transmisi sabuk untuk mendapatkan putaran generator yang maksimal digunakannya pebandingan transimi, adapun hasil dari perbandingan putaran di tunjukkan pada tabel berikut;

Tabel 5. Perbandingan Putaran Poros Dengan Generator

Waktu	Kecepatan Angin m/s	Kecepatan Putaran poros (rpm)	Generator (rpm)
09.00 Wib	1,2	-	-
10.00 Wib	4,5	746	4183
11.00 Wib	5,0	1178	4326
12.00 Wib	5,5	2083	4471

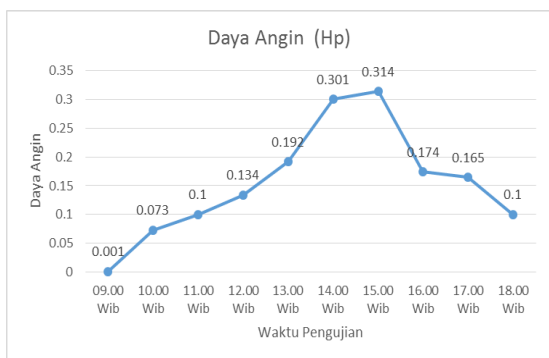
Waktu	Kecepatan Angin m/s	Kecepatan Putaran poros (rpm)	Generator (rpm)
13.00 Wib	6,2	2435	5698
14.00 Wib	7,2	2871	6749
15.00 Wib	7,3	2953	6850
16.00 Wib	6,0	2155	5558
17.00 Wib	5,9	2203	5382
18.00 Wib	5,0	1178	4326



Gambar 7. Perbandingan Kecepatan Putaran Poros Dengan Generator

Table 6. Hasil Perhitungan Daya Angin

Waktu	Kecepatan Putaran Poros (rpm)	Daya Angin (Watt)	Daya Angin (Hp)
09.00 Wib	-	1,04	0.001
10.00 Wib	746	54,9	0.073
11.00 Wib	1178	75,3	0.100
12.00 Wib	2083	100,2	0.134
13.00 Wib	2435	143,5	0.192
14.00 Wib	2871	224,8	0.301
15.00 Wib	2953	234,3	0.314
16.00 Wib	2155	130,1	0.174
17.00 Wib	2203	123,7	0.165
18.00 Wib	1178	75,3	0.100



Gambar 8. Hasil Perhitungan Daya Angin

Tabel 7. Hubungan Kecepatan Angin Dengan Daya Angin

Waktu	Kecepatan Angin m/s	Daya Angin (Watt)
09.00 Wib	1,2	-
10.00 Wib	4,5	746
11.00 Wib	5,0	1178
12.00 Wib	5,5	2083
13.00 Wib	6,2	2435
14.00 Wib	7,2	2871
15.00 Wib	7,3	2953
16.00 Wib	6,0	2155
17.00 Wib	5,9	2203
18.00 Wib	5,0	1178



Gambar 9. Hubungan Kecepatan Angin Dengan Daya Angin

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil rancangan, analisa dan pengujian maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu;

1. Perancangan kincir angin vertikal darrius tipe-H bersudu 3 digunakan bahan aluminium (SAE 322) dengan ketebalan 0,4 mm dengan diameter sudu 25 cm dan tinggi sudu 100 cm.
2. Kecepatan angin untuk putaran awal pada kincir angin dengan tidak menggunakan rangkaian pembangkit listrik adalah 2 m/s dan kecepatan angin untuk putaran awal pada kincir angin dengan menggunakan rangkaian pembangkit listrik adalah 3,5 m/s. ini menjelaskan bahwa pada kincir angin dengan menggunakan rangkaian pembangkit membutuhkan angin yang lebih cepat.
3. Pada kondisi operasi normal, putaran maksimum kincir angin pada saat pengujian adalah pada 2953 rpm dengan kecepatan angin 7,2 m/s, sedangkan putaran minimum yaitu 746 rpm dengan kecepatan angin 4,5 m/s.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Alawiy, Affandi, S, Fahrulrozi. (2015), *Rekayasa Peningkatan Daya Pembangkit Listrik Tenaga Surya*

- Perumahan Dari Daya 50 Watt Menjadi 1000 Watt.*
- [2]. Faizal Zul Ardhi. (2011), *Rancang Bangun Charge Controller Pembangkit Listrik Tenaga Surya*. Universitas Indonesia.
- [3]. Rusnia Zaidun & Mad Yamin. (2010), *Pengembangan Program Komputer Untuk Pemilihan Kincir Angin Pembangkit Tenaga Listrik Di Pedesaan*. Jurnal Keteknikan Pertanian Vol 24, No. 2
- [4]. Astu Pudjanarsa & Djati. (2008), *Mesin Konversi Energi*. Andi, Yogyakarta.
- [5]. Daryanto, Y. (2007), *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Balai PPTAGG - UPT-LAGG
- [6]. FATEC. (2006), *Inverter School Text, Inverter Practical Course, Mitsubishi Electric Corporation*, Tokyo, Japan, p.211.
- [7]. Hau, Eric. (2006), *Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Applications, Economics*. Edisi 2. Springer: Berlin, Germany.
- [8]. Wiranto Arismunandar. (2004), *Pengaruh Sudut Pengarah Aliran Jumlah Sudu Radius Berengsel Luar Roda Tunggal Terhadap Kinerja Turbin Kinetik*. Jurnal Rekayasa Mesin Vol. 5 No. 2, pp 149-156.
- [9]. Mittal, Neeraj. (2001), *Investigation of Performance Characteristics of a Novel VAWT*. Thesis. Departement of Mechanical Engineering University of Strathclyde.
- [10]. N. Efendi, A. K. Jahja dan S. Purnama. (2000), *Pembuatan dan Karakterisasi Sel Baterai Sekunder Bahan Superionik*. Jurnal Sains Material Indonesia Vol. 1 No. 2, ISSN 1411-1098.
- [11]. Sularso, Kiyokatsu Suga. (1997), *Dasar Perencanaan Dan Pemilihan Elemen Mesin*. Jakarta : Pradnya Paramita.
- [12]. Kadir, A.(1987), *Energi Sumber Daya, Inovasi, Tenaga Listrik Dan Potensi Ekonomi*, Universitas Indonesia Press, Jakarta.