

NASKAH PUBLIKASI

TUGAS AKHIR

**Studi Kinerja Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA
4412 dengan Modifikasi Sudu Tipe Flat Pada Variasi
Sudut Kemiringan 0° , 10° , 15°**



Disusun Sebagai Syarat Untuk Mencapai Gelar Sarjana Teknik
Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Surakarta

Disusun oleh :

Maret Enggar Prasetya

NIM : D 200 110 007

**JURUSAN TEKNIK MESIN FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA**

2015

HALAMAN PENGESAHAN
NASKAH PUBLIKASI TUGAS AKHIR

Naskah publikasi berjudul "Studi Kinerja Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA 4412 Dengan Modifikasi Sudu Tipe Flat Pada Variasi Sudut Kemiringan 0°, 10°, 15°", telah disetujui dan disahkan oleh Pembimbing utama untuk diusulkan sebagai syarat memperoleh gelar sarjana pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.

Dipersiapkan Oleh :

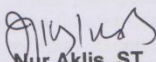
Nama : Maret Enggar Prasetya
NIM : D 200 110 077


Disetujui pada :

Hari : Sabtu
Tanggal : 14 November 2015



Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping


Nur Aklis, ST., M.Eng


Nurmuntaha A.N, ST.,Pg.Dip

Mengetahui,
Ketua Jurusan Teknik Mesin



Tri Widodo Besar Riyadi, ST.,M.Sc.,Ph.D

Studi Kinerja Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA 4412 dengan Modifikasi Sudu Tipe Flat Pada Variasi Sudut Kemiringan 0°, 10°, 15°

Maret Enggar Prasetya, Nur Aklis, M.Eng, Nurmuntaha A.N, Pg.Dip

Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A. Yani Tomol Pos I Pabelan, Kartasura

Email : maretenggarprasetya@gmail.com

ABSTRAKSI

Turbin Angin adalah alat yang digunakan untuk mengkonversi energi angin menjadi energi listrik melalui sudu turbin yang kemudian diteruskan ke generator. Dimensi, sudut serang, maupun material yang digunakan sering kali dimodifikasi oleh para peneliti untuk mendapatkan efisiensi optimum. Dalam penelitian ini modifikasi dilakukan pada sudu turbin dengan material plat besi dengan tebal 3mm. Sudu didesain dengan tipe Flat berdasarkan profil NACA 4412 (*National Advisory Committee for Aeronautics*) pada variasi sudut kemiringan 0°, 10°, 15°.

Proses pembuatan turbin angin diawali dengan mendesain turbin pada software AutoCAD dan SolidWorks. Setelah itu dilanjutkan dengan proses pemindahan desain ke plat besi dengan tebal 3mm yang selanjutnya dilakukan proses shearing sesuai dengan bentuk sudu. Setelah didapatkan bentuk sudu kemudian dilanjutkan proses bending sesuai dengan sudut yang sudah didapatkan dari profil NACA 4412. Proses yang tak kalah penting yaitu proses balancing sudu dengan cara menimbang sudu agar didapatkan berat sudu ketiga-tiganya sama. Proses terakhir yaitu proses pengecekan dengan memasang seluruh instalasi turbin angin dan mencobanya sebelum pengujian di alam.

Pada pengujian turbin angin kali ini dilakukan di alam pada ketinggian 8meter dan variasi sudut kemiringan 0°, 10°, 15°. Pengambilan data meliputi kecepatan angin, daya, energi dan juga Rpm dilakukan selama 2 jam pada masing –masing sudut kemiringan.

Dari hasil pengujian didapatkan hasil bahwa Rpm tertinggi yang didapat saat pengujian dengan pembebanan yaitu sebesar 587 Rpm, pada kemiringan sudut 15°. Sedangkan Rpm terendah yaitu sebesar 127,3 Rpm pada pengukuran sudut 10°. Untuk akumulasi energi terbesar didapatkan pada kemiringan sudut 15° yaitu sebesar 51,85 watt.jam. Sedangkan untuk akumulasi energi paling sedikit yaitu pada kemiringan sudut 10° yaitu sebesar 14,96 watt.jam. Sedangkan efisiensi terbesar didapatkan pada pengujian dengan kemiringan sudut 15°, yaitu sebesar 4,44%. Sedangkan nilai efisiensi tekecil didapatkan pada pengujian dengan kemiringan sudut 0°, yaitu sebesar 4,16%.

Kata Kunci : turbin angin, sudu, NACA, flat, efisiensi

PENDAHULUAN

Indonesia yang termasuk dalam negara dengan garis pantai terpanjang tentunya menjadi salah satu potensi dikembangkannya energi alternatif. Salah satunya yang cocok untuk dikembangkan yaitu sumber energi yang berasal dari angin (*wind energy*). Sejak tahun 2010/2011 sampai sekarang pemerintah Indonesia mencoba mengembangkan sumber energi angin ini di beberapa daerah seperti Jawa, Sumatra, dan Nusa Tenggara. Hal ini diharapkan menjadi salah satu solusi untuk mengurangi penggunaan energi fosil dan juga mengurangi pemanasan global disamping pengembangan sumber energi alternatif lainnya seperti Biomassa, Geotermal, dll.

Memperhatikan hal di atas maka beberapa peneliti Indonesia menyesuaikan desain dan juga dimensi turbin angin yang akan diterapkan di wilayah Indonesia. Selain pertimbangan sudut serang maupun sudut kemiringan sudu juga menjadi perhatian penting. Dalam beberapa penelitian sudut yang paling optimal berada pada kisaran 10° - 15° . Yogyakarta sebagai salah satu lokasi di Indonesia yang telah terpasang instalasi turbin angin, menggunakan jenis turbin horizontal 3 sudu NACA 4412 dengan material berasal dari serat fiber buatan pabrikan.

Mengacu pada beberapa hal di atas maka peneliti mencoba untuk melakukan beberapa inovasi pada turbin angin dan diharapkan mendapatkan hasil yang lebih optimum, salah satunya yaitu dengan mencoba untuk membuat turbin angin horizontal 3 sudu NACA 4412 dengan modifikasi sudu jenis flat menggunakan material plat

besi pada variasi sudut kemiringan 0° , 10° , 15° .

RUMUSAN MASALAH

Adapun rumusan masalah pada penelitian kali ini adalah :

1. Bagaimana desain dan konstruksi sudu turbin angin yang dimodifikasi tipe flat ?
2. Bagaimana kinerja turbin angin dengan modifikasi sudu tipe flat pada variasi sudut kemiringan 0° , 10° , 15° terhadap datangnya angin?

BATASAN MASALAH

Adapun batasan masalah pada penelitian kali ini adalah :

1. Turbin Angin menggunakan 3 bilah sudu dengan NACA 4412 yang telah dimodifikasi.
2. Diameter turbin angin sebesar 3 meter.
3. Pengujian dilakukan di Pantai Pandansimo Yogyakarta pada variasi sudut kemiringan 0° , 10° , 15°
4. Penelitian hanya dibatasi pada bagian sudu turbin angin, sedangkan bagian konstruksi diabaikan.

TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Dapat merancang turbin angin dengan efisiensi yang optimum.
2. Mengetahui energi keluaran turbin angin hasil rancangan.
3. Mengetahui pengaruh sudut kemiringan terhadap berbagai kecepatan angin.
4. Mengetahui efisiensi turbin angin terhadap pembebanan kelistrikan.

TINJAUAN PUSTAKA

Andhika (2011), melakukan pengujian pada turbin angin sumbu horizontal 6 sudu dengan diameter 1,5 meter dan NACA 4412 hasil rancangannya. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa turbin angin mulai berputar pada kecepatan angin 2,7 m/s dan menghasilkan arus pada kecepatan angin 4 m/s. Selain itu arus maksimal didapatkan pada kecepatan angin mencapai 7,5 m/s yaitu 0,7 Ampere. Untuk Daya keluar dari turbin angin ini sebesar 2,4 watt hingga 16,8 watt. Dari rancangan turbin anginnya didapatkan koefisien daya (C_p) sangat rendah yaitu 0,028-0,057, dengan rata-ratanya adalah 0,039 atau 3,9%.

Bambang (2011), melakukan penelitian pada turbin angin NACA 4412 dengan diameter 2,07 meter berbahan kayu hasil rancangannya. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa rotor mulai berputar pada kecepatan angin 2,2 m/s, Untuk nilai cut in speed didapatkan 2,7 m/s, Selain itu didapatkan Arus maksimal sebesar 6,8 Ampere pada kecepatan angin 9,2 m/s. Sedangkan keakuratan data saat pengukuran dipengaruhi oleh beberapa hal salah satunya yaitu penempatan anemometer, dikarenakan jika terlalu jauh jaraknya dari turbin angin maka data yang terambil kurang akurat. Alat penunjang lainnya yang mesti dipersiapkan untuk penelitian turbin angin yaitu data logger, logger berfungsi untuk meminimalisir jeda waktu pengambilan data pada kecepatan angin, Arus, dan Tegangan pada turbin angin.

Rengga (2011), berhasil membuat pembangkit listrik tenaga angin menggunakan 3 sudu rectangular chord berdiameter 2,2

meter dengan profi NACA 4412 dimana dari hasil penelitian dan pengujiannya didapatkan bahwa Daya maksimum sebesar 192 watt pada kecepatan angin 10,1 m/s. Nilai performa yang didapatkan cukup baik jika dibandingkan dengan pengujian blade tipe yang lain namun harus memerlukan perhitungan yang lebih akurat untuk menghindari kegagalan.

LANDASAN TEORI

Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak yang diakibatkan oleh rotasi bumi dan juga karena adanya perbedaan tekanan udara di sekitarnya. Angin bergerak dari tempat bertekanan udara tinggi ke bertekanan udara rendah. Apabila dipanaskan, udara memuai. Udara yang telah memuai menjadi lebih ringan sehingga naik. Apabila hal ini terjadi, tekanan udara turun karena udaranya berkurang.

Turbin Angin

Turbin angin adalah sebuah alat yang digunakan untuk merubah energi angin menjadi energi putar menggunakan bilah-bilah sudu yang kemudian diteruskan ke generator sebagai penghasil listrik

Jenis Turbin Angin

Turbin angin sumbu horizontal (TASH). Turbin angin sumbu horizontal (TASH) memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. Sebagian besar memiliki

sebuah gearbox yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar.

Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV). [Turbin angin sumbu vertikal](#)/tegak memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. VAWT mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah.

Konsep Dasar Sistem Konversi Energi Angin (SKEA)

Sistem konversi energi angin merupakan suatu sistem yang bertujuan untuk mengubah energi potensial angin menjadi energi mekanik poros oleh rotor untuk kemudian diubah lagi oleh alternator menjadi energi listrik. Prinsip utamanya adalah mengubah energi kinetik yang dimiliki angin menjadi energi kinetik poros. Besarnya energi yang dapat ditransferkan ke rotor tergantung pada massa jenis udara, luas area rotor dan kecepatan angin. Hal ini selanjutnya akan dibahas melalui persamaan-persamaan.

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \text{ (Nm)} \dots\dots\dots(2.1)$$

dimana :

m = massa udara yang bergerak (kg)

v = kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik yang terkandung dalam angin inilah yang ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor.

Dengan menganggap suatu penampang melintang A , dimana udara dengan kecepatan v

mengalami pemindahan volume untuk setiap satuan waktu, yang disebut dengan aliran volume V sebagai persamaan :

$$\dot{V} = vA \text{ (m}^3\text{/s)} \dots\dots\dots(2.2)$$

dimana:

V = laju volume udara (m³/s)

v = kecepatan angin (m/s)

A = luas area sapuan rotor (m²)

Sedangkan aliran massa dengan kerapatan udara ρ sebagai:

$$m = \rho vA \text{ (kg/s)} \dots\dots\dots(2.3)$$

Persamaan-persamaan diatas menunjukkan energi kinetik dan aliran massa yang melewati suatu penampang melintang A sebagai energi P yang ditunjukkan dengan mensubstitusi persamaan (2.3) ke persamaan (2.1) menjadi :

$$P = \frac{1}{2}\rho Av^3 \text{ (W)} \dots\dots\dots(2.4)$$

dimana;

P = daya mekanik (W)

v = kecepatan angin (m/s),

ρ = densitas udara (ρ rata-rata 1,2 kg/m³)

Koefisien Daya

Koefisien daya adalah hal penting dalam merancang turbin angin karena menunjukkan berapa besar energi angin yang dapat diekstraksi dari energi kinetik angin yang melalui penampang rotor. Koefisien daya sangat mempengaruhi kinerja turbin angin, dan koefisien daya dipengaruhi oleh konstruksi turbin angin dan prinsip konversi energinya. Keluaran daya dari rotor dinyatakan dengan

$$P = \frac{1}{4} \rho A (v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2) \quad ..(2.5)$$

dimana :

v_1 = kecepatan angin sebelum melewati turbin

v_2 = kecepatan angin setelah melewati turbin

sedangkan daya yang melewati penampang rotor adalah

$$P_0 = \frac{1}{2} \rho v_1^3 A \quad \dots\dots\dots(2.6)$$

Efisiensi/perbandingan antara daya luaran turbin terhadap daya total yang melalui penampang rotor disebut koefisien daya c_p .

$$c_p = \frac{P}{P_0} = \frac{\frac{1}{4} \rho A (v_1^2 - v_2^2) (v_1 + v_2)}{\frac{1}{2} \rho v_1^3 A} \quad \dots\dots(2.7)$$

dimana:

c_p = koefisien daya (power coefficient)

P = Daya mekanik yang Dihasilkan turbin(Watt)

P_0 = Daya mekanik total yang terkandung dalam angin yang melalui A (Watt)

Energi Listrik

Energi listrik yang dimaksud adalah energi akumulasi yang dihasilkan oleh kincir angin dalam satuan watt jam, dimana diperoleh dari perhitungan berikut :

$$E = V.I.t \quad \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

E = energi listrik (watt.jam)

V = tegangan (volt)

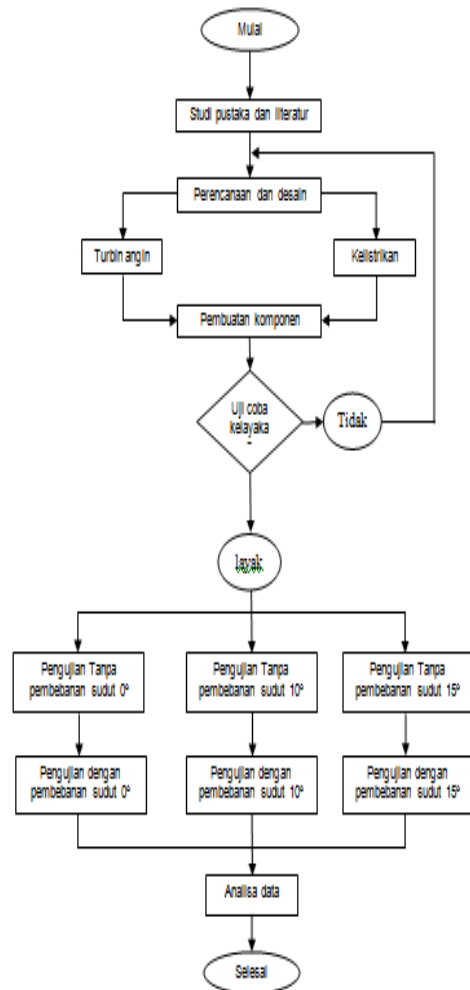
I = arus (Ampere)

t = waktu (jam)

METODE PENELITIAN

(2.14)

Diagram alir penelitian :



Dalam perancangan turbin angin terdapat beberapa tahapan, yaitu:

- a. Menentukan diameter rotor serta jumlah sudu
- b. Menentukan kecepatan angin nominal
- c. Menentukan *tip speed ratio*
- d. Menghitung daya maksimum keluaran dari rotor pada berbagai kecepatan angin
- e. Menentukan *airfoil*
- f. Merancang *yaw mechanism*
- g. Merancang bagian-bagian lainnya dari turbin angin.

Bahan dan Alat Penelitian

Bahan

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini antara lain :

- Besi Plat tebal 3mm
- Besi Plat tebal 4mm
- Besi Plat tebal 5mm
- Besi Plat tebal 10mm
- Besi as diamete 25mm
- Besi pipa diameter 30mm
- Triplek
- Teflon diameter 28mm

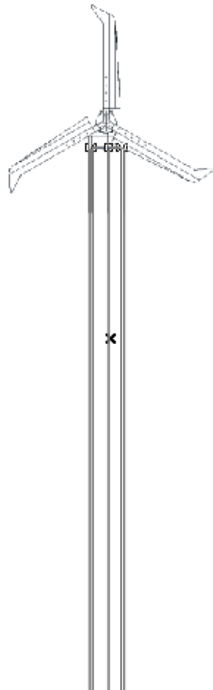
Alat

Alat dalam pembuatan turbin lain yaitu

- CNC
- Bending
- Bor
- Gerinda
- Las
- Timbangan
- Busur Drajat
- Penggaris

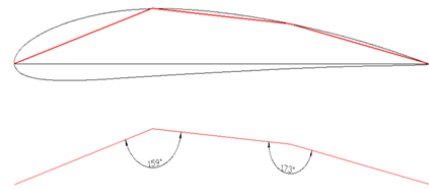
1. PERANCANGAN TURBIN ANGIN

a. Desain Turbin Angin



Gambar 1. Desain Turbin Angin

b. Desain Sudu



Gambar 2. Profil NACA 4412



Gambar 3. Sudu NACA 4412

2. PEMBUATAN DAN PENGUJIAN

a. Pembuatan

Hampir semua proses pembuatan dilakukan di laoratorium Teknik Mesin Universitas Muhammadiyah Surakarta, hanya beberapa part yang dikerjakan diluar antara lain proses Bending. Itupun hanya dikarenakan mesin di Laboratorium sedang ada penataan ulang.

Proses pembuatan Turbin angin sendiri dimulai dari proses perancangan menggunakan software AutoCAD dan SolidWork, kemudian dilanjutkan dengan memindahkan gambar dari software ke kertas dengan ukuran yang sesungguhnya. Setelah dimensi dan bentuk sudah didapatkan selanjutnya digambar pada plat yang akan dipotong sesuai dengan gambar tersebut. Proses yang tidak kalah penting yaitu sesudah proses pemotongan

plet maka selanjutnya dilakukan proses balancing dan penimbangan. Hal ini bertujuan untuk mendapatkan kesamaan berat dan dimensi pada masing-masing sudu. Kemudian dilanjutkan proses yang terakhir yaitu proses Bending yang disesuaikan dengan sudut yang dikehendaki.



Gambar 4. Sudu Turbin



Gambar 5. Flange (dudukan)



Gambar 6. Dudukan Generator



Gambar 7. Ekor Turbin



Gambar 8. Instalasi Turbin

b. Pengujian

Sedangkan untuk proses pengujian dilakukan pada :

Tanggal : 14 September 2015

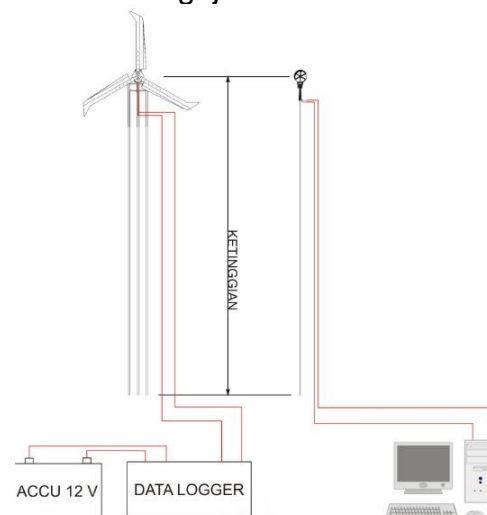
Pukul : 09.00 WIB -16.30 WIB

Tempat : Pantai Baru Pandansimo, Yogyakarta (8mdpl)

Alat Pengujian :

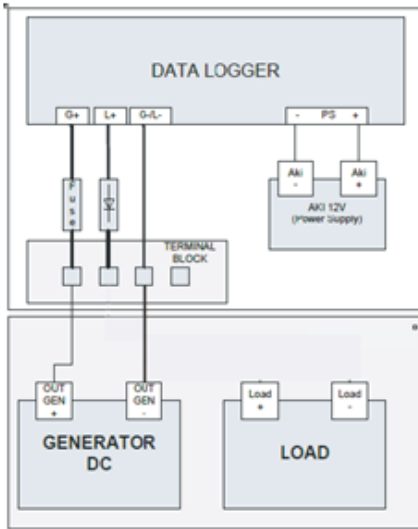
1. Data Logger
2. Laptop
3. Anemometer
4. Tachometer
5. Accu 12 V(Power Supply)
6. Accu 12 V (Beban)

Skema Pengujian

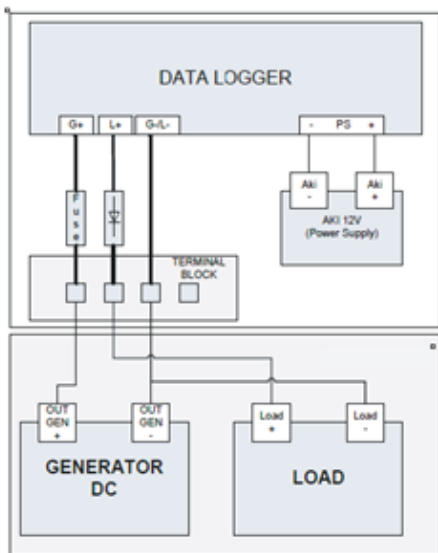


Gambar 9. Skema Pengujian Turbin Angin

Proses Pengujian dilakukan dengan menggunakan variabel sudut kemiringan sudu turbin angin dan beban, yaitu 0° , 10° , 15° . Selain itu pengujian juga dilakukan terhadap faktor pembebanan, saat turbin angin kondisi Open (tanpa pembebanan) maupun saat turbin angin terbebani oleh Accu 12 V.



Gambar 10. Skema pengujian tanpa pembebanan



Gambar 11. Skema pengujian dengan pembebanan

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, beberapa data didapatkan dari hasil pengukuran kinerja turbin angin yaitu :

1. Pengukuran Sudut 0°

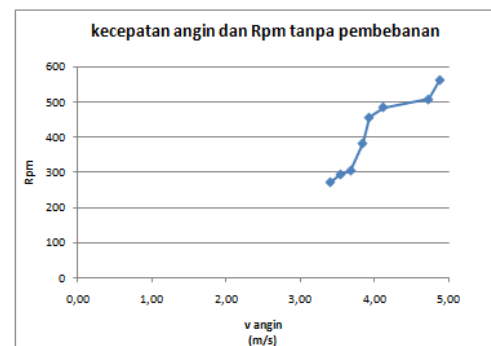
Tabel 1. Hasil pengukuran sudut 0°

	waktu	v angin	Rpm tanpa beban	energi
1	09.00 – 09.15	3.55	294	0.6
2	09.15 – 09.30	3.84	383	2.06
3	09.30 – 09.45	4.73	508	5.25
4	09.45 – 10.00	4.88	561	8.78
5	10.00 – 10.15	4.12	484	12.08
6	10.15 – 10.30	3.68	304	13.23
7	10.30 – 10.45	3.93	455.2	14.3
8	10.45 – 11.00	3.40	271	14.96
	RATA-RATA	4.02		

	waktu	v angin	P aktual	P tersedia	Cp
1	09.00 – 09.15	3.55	2.63	112.46	
2	09.15 – 09.30	3.84	5.42	142.34	
3	09.30 – 09.45	4.73	13.98	266.01	
4	09.45 – 10.00	4.88	14.29	292.13	
5	10.00 – 10.15	4.12	13.35	175.80	
6	10.15 – 10.30	3.68	4.39	125.27	
7	10.30 – 10.45	3.93	5.50	152.58	
8	10.45 – 11.00	3.40	2.24	98.80	
	RATA-RATA	4.02			4.16



Gambar 11. Grafik kec. angin dan daya



Gambar 12. Grafik kec. Angin dan Rpm

2. Pengukuran Sudut 10°

Tabel 2. Hasil pengukuran sudut 10°

	waktu	v angin	Rpm tanpa beban	energi
1	12.00 – 12.15	3.43	290	0.61
2	12.15 – 12.30	3.38	280	1.02
3	12.30 – 12.45	4.06	396	2.94
4	12.45 – 13.00	3.61	336	4.68
5	13.00 – 13.15	4.32	503	7.24
6	13.15 – 13.30	4.19	425	9.2
7	13.30 – 13.45	4.22	477	11.78
8	13.45 – 14.00	4.88	587	15.07
	RATA-RATA	4.01		

	waktu	v angin	P aktual	P tersedia	
1	12.00 – 12.15	3.43	3.00	101.44	
2	12.15 – 12.30	3.38	1.99	97.07	
3	12.30 – 12.45	4.06	6.96	168.23	
4	12.45 – 13.00	3.61	6.16	118.26	
5	13.00 – 13.15	4.32	11.36	202.66	
6	13.15 – 13.30	4.19	7.91	184.91	
7	13.30 – 13.45	4.22	10.70	188.91	
8	13.45 – 14.00	4.88	13.17	292.13	
	RATA-RATA	4.01			Cp 4.30



Gambar 13. Grafik kec. angin dan daya



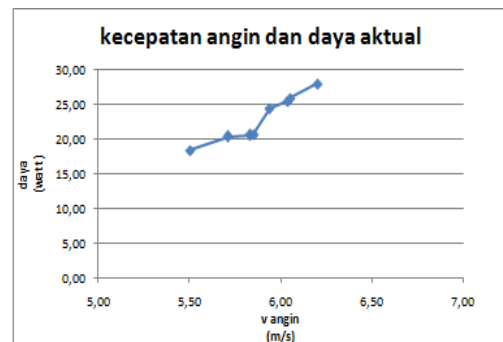
Gambar 14. Grafik kec. angin dan Rpm

3. Pengukuran Sudut 15°

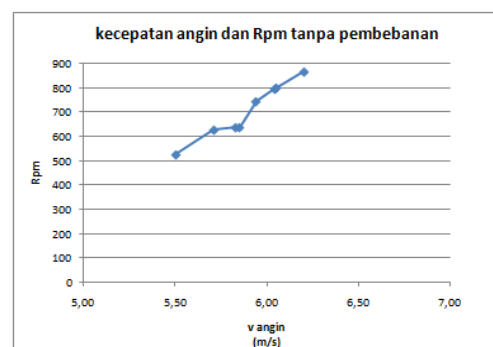
Tabel 3. Hasil pengukuran sudut 15°

	waktu	v angin	Rpm tanpa beban	Energi
1	14.30 – 14.45	5.94	745	6.52
2	14.45 – 15.00	6.05	801	13.77
3	15.00 – 15.15	5.71	627	20.16
4	15.15 – 15.30	6.04	796	27.17
5	15.30 – 15.45	6.20	866	34.43
6	15.45 – 16.00	5.85	639	40.87
7	16.00 – 16.15	5.50	527	46.26
8	16.15 – 16.30	5.83	637	51.85
	RATA-RATA	5.89		

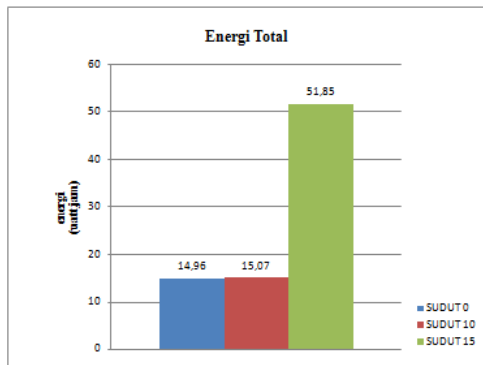
	waktu	v angin	P aktual	P tersedia	
1	14.30 – 14.45	5.94	24.46	526.84	
2	14.45 – 15.00	6.05	25.86	556.65	
3	15.00 – 15.15	5.71	20.30	467.98	
4	15.15 – 15.30	6.04	25.41	553.90	
5	15.30 – 15.45	6.20	27.99	599.09	
6	15.45 – 16.00	5.85	20.68	503.25	
7	16.00 – 16.15	5.50	18.33	418.22	
8	16.15 – 16.30	5.83	20.51	498.11	
	RATA-RATA	5.89			Cp 4.44



Gambar 15. Grafik kec. angin dan daya



Gambar 16. Grafik kec. Angin dan Rpm



Gambar 19. Histogram Energi total

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian maka didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Rpm tertinggi yang didapat saat pengujian tanpa pembebanan yaitu sebesar 866 Rpm, pada pengukuran pukul 15.30-15.45 WIB. Sedangkan Rpm terendah yaitu sebesar 271 Rpm pada pengukuran pukul 10.45-11.00 WIB.
2. Rpm tertinggi yang didapat saat pengujian dengan pembebanan yaitu sebesar 587 Rpm, pada pengukuran pukul 15.30-15.45 WIB. Sedangkan Rpm terendah yaitu sebesar 127,3 Rpm pada pengukuran pukul 10.45-11.00 WIB.
3. Nilai efisiensi terbesar didapatkan pada pengujian dengan kemiringan sudut 15° , yaitu sebesar 4,44%. Sedangkan nilai efisiensi terkecil didapatkan pada pengujian dengan kemiringan sudut 0° , yaitu sebesar 4,16%.

SARAN

1. Diperlukan konstruksi yang lebih kuat lagi dikarenakan sempat terjadi kerusakan di beberapa komponen turbin angin.
2. Diperlukan tachometer otomatis yang mencatat dan menyimpan data hasil pengukuran agar

didapatkan data yang lebih akurat.

3. Untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal, penggunaan generator magnet permanen sangat direkomendasikan dari pada generator sinkron.

DAFTAR PUSTAKA

Aryo Bambang N, 2011, Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian Turbin Angin Sumbu Horizontal Enam Sudu Berdiameter 2,07 meter, *Institut Teknologi Bandung*.

Desya Andhika A, 2011, Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian Turbin Angin Sumbu Horisonta Enam Sudu Diameter Satu Setengah Meter, *Institut Teknologi Bandung*.

Erich Hau, Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Application, Economics, 2005, 2nd Edition, terjemahan Horst von Renuard, Springer, Germany.

Firdaus Rengga, 2011, Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu Berdiameter 2,2 meter dengan Geometri Sudu Persedi Panjang, *Institut Teknologi Bandung*

http://en.wikipedia.org/wiki/NACA_airfoil, diakses Oktober 2015

Markus Nanda dkk, 2007, Kincir Angin Sumbu Horizontal bersudu Banyak, *Universitas Sanata Dharma*.

Purwanto, 2011, Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Vertikal *Mikro Wind Energy* Skala Rumah Tangga, *Universitas Muhammadiyah Surakarta*.

Serah Indah, 2009, Perancangan, Pembuatan, dan Pengujian Turbin Angin Sumbu Horizontal 3 Sudu Berdiameter 2 meter dengan Modifikasi, *Institut Teknologi Bandung*

Sucipto, 2008, Perancangan dan Pembuatan Turbin Angin Aksial Sumbu Horizontal Dua Sudu dengan Diameter 3,5 meter, *Institut Teknologi Bandung*

www.kincirangin.info, diakses Oktober 2015