



ANALISA PENGARUH RATIO SUDU DAN TINGGI SUDU TERHADAP EFISIENSI TURBIN ANGIN SAVONIUS U

Moch. Romadhon

Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya
Jalan Semolowaru No. 45 Surabaya 60118, Tel. 031-5931800, Indonesia
email: madhoent20@gmail.com

ABSTRAK

Wind is a moving air, because the movement is caused by the difference in the air density itself. Low air-type masses cause the air pressure in place itself to be low so that it can be filled by higher air pressure and has a higher air density.

Wind turbines or so-called windmills is one of the energy conversion machines that generate electrical energy, from the use of wind kinetic energy changes to mechanical energy to rotate the generator and remove electricity, so it can generate electrical energy. Windmills can generally be said to be an air-driven device to produce mechanical forces and proceed as needed. The use of different combinations of different designs, including the blade shape, the number of blades, and of course the blades are defined as variables to define the transmission equipment comparison to produce higher efficiency, greater reliability or to reduce costs.

The method we use is a wind turbine savonius U which is one type of turbine that can be made with materials and equipment that is affordable and does not require electrical energy in operation, because it utilizes the air pressure and wind speed itself as the driving force, but the pressure and wind speed all it takes is big enough. The variable used with the ratio of the blade h/L : $0.06/0.15$, $0.08/0.2$, $0.1/0.25$, and the height or blade length of 0.5 m, 0.6 m, 0.7 m.

The results of the analysis can be concluded that the best system efficiency results at $0.1/0.25$ blade ratio and 0.7 m high blade with efficiency of 69%. While the lowest efficiency obtained at a blade ratio of $0.06/0.2$ with a height of 0.5 m.

Keywords: Ratio Sudu, High Sudu, Wind Turbine Efficiency

PENDAHULUAN

Seiring dengan peningkatan dan kemajuan teknologi modern kebutuhan manusia terhadap energi semakin meningkat setiap tahun. Ini terjadi karena bertambahnya peralatan yang memerlukan lebih banyak sumber energi. Ada dua jenis sumber energi yaitu sumber energi yang dapat diperbaharui dan tidak dapat diperbaharui. Bahan bakar

fosil merupakan contoh energi yang tidak bisa diperbaharui dan penggunaannya paling besar hingga saat. Namun, cadangan sumber energi dari bahan bakar fosil tentunya akan semakin menipis. Oleh sebab itu, diperlukan suatu sumber energi alternatif untuk mengatasi krisis energi di masa yang akan datang.

Di bumi ini banyak terdapat sumber energi alternatif terutama yang dapat diperbaharui seperti energi matahari, panas bumi, gelombang laut, dan lain lain. Kata “alternatif” bisa diartikan sebagai pengganti bahan bakar fosil yang umum dipakai. Pemanfaatan sumber energi angin sangat berlimpah, sangat ramah terhadap lingkungan, dan selalu dapat diperbaharui, potensi ini bisa dimanfaatkan atau dikembangkan. Di Indonesia sendiri rata-rata angin bervariasi, tidak terlalu besar dan tidak terlalu kecil tergantung dari musimnya. Rata-rata angin tahunan di Indonesia melalui survei sejak tahun 1979 kecepatan angin 3-5 m/s. Untuk kecepatan angin demikian bisa dimanfaatkan sebagai sumber yaitu pembangkit energi listrik dengan skala kecil 10 kW. Teknologi kincir angin menawarkan solusi yang tepat mengatasi ketergantungan penggunaan sumber energi fosil. Teknologi ini juga menyediakan energi listrik tanpa menimbulkan peningkatan kadar emisi karbon dioksida (CO₂).

Ada beberapa sumber energi berdasarkan poros, jenis turbin angin yang bisa dikategorikan turbin angin sumbu horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine, HAWT) dan turbin angin sumbu vertikal (Vertical Axis Wind Turbine, VAWT). Pemanfaatan turbin angin VAWT memiliki keuntungan yang paling besar, karena jenis turbin angin vertikal hanya membutuhkan sedikit atau kecilnya hembusan angin. Dengan ini memudahkan kita untuk memanfaatkan sumber angin di Indonesia. Turbin angin savonius salah satu turbin angin yang mampu memutar rotor walaupun dengan hembusan angin yang rendah atau kecil, namun torsi yang dihasilkan relatif tinggi.

Energi angin

Angin merupakan udara yang bergerak, karena gerakan itu di sebabkan oleh perbedaan massa jenis udara itu sendiri. Massa jenis udara yang rendah menyebabkan tekanan udara ditempat itu sendiri menjadi rendah sehingga bisa terisi oleh tekanan

udara yang lebih tinggi dan memiliki massa jenis udara yang lebih tinggi. Tinggi rendahnya massa jenis udara disebabkan oleh temperature sedangkan perbedaan temperature disebabkan oleh perbedaan dari sinar matahari karena perbedaan permukaan bumi.

Pengertian turbin angin

Turbin angin atau yang sering disebut kincir angin merupakan salah satu mesin konversi energi yang menghasilkan energi listrik, dari pemanfaatan perubahan energi kinetik angin menjadi energi mekanik untuk memutar generator dan mengeluarkan listrik, sehingga dapat membangkitkan energi listrik. Kincir angin secara umum dapat dikatakan sebagai suatu alat yang digerakkan oleh udara untuk menghasilkan gaya mekanis dan dilanjutkan sesuai kebutuhan. Penggunaan desain berbagai kombinasi yang berbeda-beda, yang meliputi bentuk sudu, jumlah sudu, dan tentunya sudu tersebut ditetapkan sebagai variable untuk menetapkan perbandingan perlengkapan pada transmisi untuk menghasilkan efisiensi lebih tinggi, keandalan yang lebih besar atau untuk mengurangi biaya. Model yang paling sederhana didasarkan pada suatu teori daya gerak yang dikembangkan selama seabad yang lalu untuk meramalkan bentuk baling-baling kapal. Adaptasi dari teori awal ini untuk memutar turbin telah dikerjakan oleh Bilau pada tahun 1925 dan betz pada tahun 1927. Yang telah dipahami selama bertahun-tahun kincir angin yang utama menjadi keinginan umum antara lain adalah horizontal-axis (poros datar) dan vertical-axis (poros tegak).

Menentukan luas plat yang digunakan sebagai bahan sudu

Menentukan luas plat yang akan digunakan untuk membuat sudu dapat diketahui dengan mencari sudut (α) atau sudut yang dibentuk oleh kedua ujung plat setelah proses pembentukan sudu. Adapun persamaan untuk menentukan sudut (α) yaitu sebagai berikut ini :

$$h = \frac{L}{2} x \tan \alpha$$

maka,

$$\frac{2h}{L} = \tan \alpha$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{2h}{L}$$

Dimana :

h : Tinggi lengkungan sudu (m)

L : Lebar sudu (m)

Setelah nilai sudut (α) didapatkan, maka untuk menentukan lebar plat yang akan digunakan dapat diperoleh dengan persamaan:

$$b = \frac{\pi x d x \alpha}{360}$$

Dimana :

b : Lebar sudu setelah dilengkungkan (m)

d : Diameter sudu (m)

Maka luas plat yang akan digunakan sebagai bahan sudu dapat diketahui dengan persamaan berikut :

$$A = t x b$$

Dimana :

A : Luas penampang sudu setelah dilengkungkan / luas penampang sapuan (m^2)

t : Panjang sudu (m)

b : Lebar setelah dilengkungkan (m)

Daya angin

Energi yang terdapat pada angin merupakan energi kinetik, sebagaimana diketahui energi kinetik dari sebuah benda dengan massa m dan kecepatan v adalah $E_k = \frac{1}{2} m.v^2$, dengan ketentuan, kecepatan v tidak mendekati kecepatan cahaya. Rumus ini juga berlaku untuk angin, yang merupakan udara yang bergerak.

$$E_k = \frac{1}{2} m.v^2$$

Dimana:

E_k : Energi kinetik (joule)

m : Massa udara (kg/m^2)

v : Kecepatan angin (m/s)

Volume udara per satuan waktu (debit) yang bergerak dengan kecepatan v dan melewati daerah dengan luas A adalah:

$$V = v.A$$

Dimana:

V : Volume udara

v : Kecepatan angin (m/s)

A : Luas penampang (m^2)

Bilamana suatu Blok udara yang mempunyai penampang A (m^2), dan bergerak dengan kecepatan v (m/s), maka jumlah massa, yang melewati suatu tempat adalah :

$$m = p.v = p.A.v \text{ (kg/s)}$$

Dimana:

A : Luas penampang (m^2)

v : Kecepatan (m/s)

ρ : Kepadatan udara (kg/m^3)

Daya angin (P_A) adalah daya yang dimiliki oleh angin untuk memutar sudu – sudu kincir Savonius U. Dengan demikian maka daya angin yang dapat dihasilkan per satuan waktu adalah :

$$P_A = \frac{1}{2} (p.A.v) v^2$$

$$P_A = \frac{1}{2} . \rho . A . v^3$$

Dimana :

PA : Daya angin (Watt)

ρ : Massa jenis udara ($kg m^3$)

A : Luas penampang sapuan (m^2)

v : Kecepatan angin (m/s)

Daya generator

Daya genetator turbin dapat diperoleh dengan persamaan berikut:

$$Pg = V . I$$

Dimana :

Pg : Daya generator (Watt)

V : Tegangan listrik (volt)

I : Kuat arus listrik (amper)

Efisiensi sistem

Efisiensi sistem merupakan perbandingan antara daya generator angin dan daya angin dari turbin angin, dapat ditulis dengan persamaan

$$\eta = \frac{P_g}{P_A} x 100\%$$

Dimana :

η : Efisiensi system (%)

P_g : Daya generator (watt)

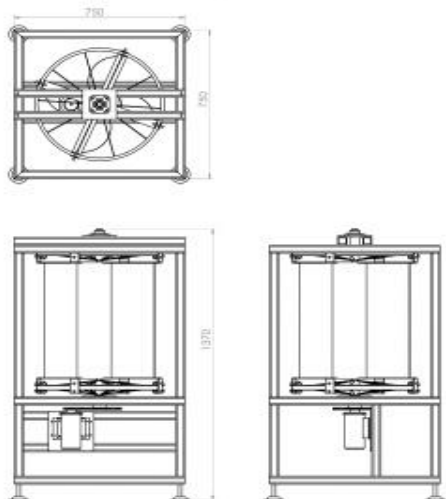
P_A : Daya angin (watt)

PEMBUATAN KINCIR ANGIN SAVONIUS U

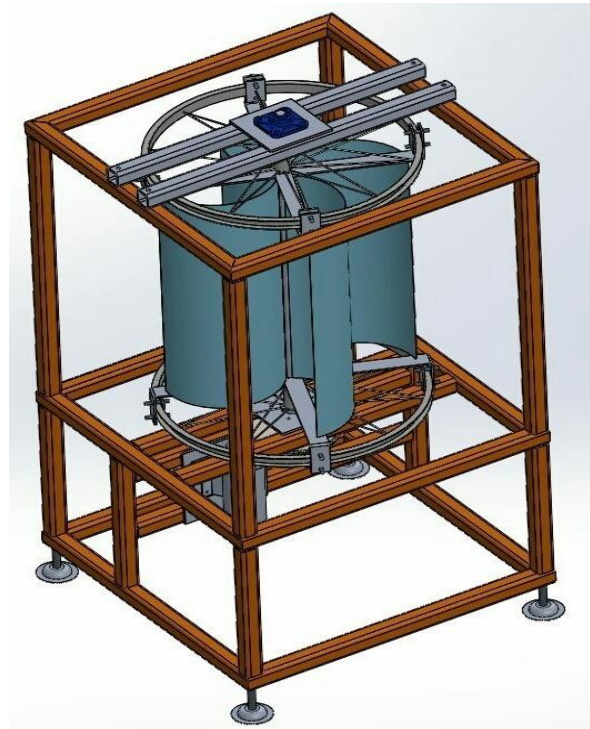
- Perancangan desain kincir
- Pembuatan sudu Kincir Angin Savonius U
- Pembuatan rangka penyangga Kincir Angin Savonius U
- Pembuatan As sudu
- Pemasangan bearing
- Pemasangan Generator
- Pemasangan roda gigi

Perancangan desain kincir

Perancangan desain ini diperlukan agar bisa mengetahui awal dari proses pengerjaan yang akan dilakukan. Dan dari perancangan desain ini kita juga akan mengerti gimana bentuk dan hasil akhir dari alat yang akan dibuat.



Gambar 1. Dimensi perancangan desain



Gambar 2. Desain bentuk alat yang akan di buat

Pembuatan sudu kincir angin savonius U

Pembuatan kincir angin savonius U ini menggunakan bahan dari plat yang ketebalannya tidak mencapai 1mm (0,8mm)



Gambar 3. Plat sudu yang sudah di Roll

Pembuatan rangka penyangga kincir angin savonius U

Rangka penyangga atau body menggunakan 4 batang besi kotak dengan panjang 1 batangnya 6 m yang di potong sesuai ukuran rangka penyangga sebagai berikut :

- 24 potong besi kotak : 75 cm = 0,75 m
- 6 potong besi kotak : 55 cm = 0,55 m



Gambar 4. Bentuk rangka penyangga kincir

Pemasangan generator

Generator berfungsi untuk mengkonversikan energi mekanik menjadi energi listrik



Gambar 5. Generator yang sudah terpasang

Pemasangan roda gigi

Mentransmisikan putaran dari kincir ke generator



Gambar 6. Roda gigi pada kincir



Gambar 7. Roda gigi pada generator

Hasil perhitungan dan pembahasan

Dari pengujian dan pengambilan data dengan sampel random pada Kincir Angin Savonius U, maka didapatkan hasil data rata-rata pada tabel dibawah ini

1. Ratio sudu 0,06/0,15

No.	Tinggi Sudu (m)	Kecepatan Angin (m/s)	Jumlah Sudu	Rpm	Tegangan listrik (V)	Arus Listrik (A)
1	0,5	5	4	378	12	0,17
2	0,6			425,5	13,5	0,19
3	0,7			466,2	14,8	0,21

Data Pengujian Ratio Sudu 0,06/0,15 berdasarkan pengukuran avometer pada generator

2. Ratio Sudu 0,08/0,2

No.	Tinggi Sudu (m)	Kecepatan Angin (m/s)	Jumlah Sudu	Rpm	Tegangan listrik (V)	Arus Listrik (A)
1	0,5	5	4	418,9	13,3	0,21
2	0,6			470,6	14,91	0,23
3	0,7			498,7	15,8	0,26

Data Pengujian Ratio Sudu 0,08/0,2 berdasarkan pengukuran avometer pada generator

3. Ratio Sudu 0,1/0,25

No.	Tinggi Sudu (m)	Kecepatan Angin (m/s)	Jumlah Sudu	Rpm	Tegangan listrik (V)	Arus Listrik (A)
1	0,5	5	4	443,2	14,07	0,29
2	0,6			503,4	15,98	0,31
3	0,7			510,9	16,2	0,36

Data Pengujian Ratio Sudu 0,1/0,25 berdasarkan pengukuran avometer pada generator

Menghitung Massa Jenis Angin

Temperatur pada saat pengujian :

$$T = 32^{\circ}\text{C}$$

$$T = (32 + 273,15) ^{\circ}\text{K}$$

$$T = 305,15^{\circ}\text{k}$$

TABLE A.4 Thermophysical Properties of Gases at Atmospheric Pressure^a

T (K)	ρ (kg/m ³)	c_p (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m ²)	$\nu \cdot 10^6$ (m ² /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m ² /s)	Pr
Air							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683

Properti Gas pada Tekanan Atmosfer

Untuk mendapatkan nilai massa jenis angin pada temperatur 305,15°K bisa dilakukan dengan metode interpolasi dikarenakan temperatur tersebut tidak ada didalam daftar tabel, maka :

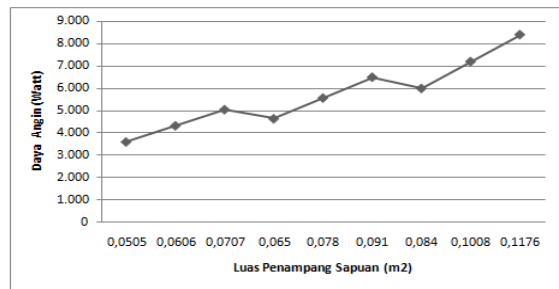
$T_1 = 300^{\circ}\text{k}$	$T = 305,15^{\circ}\text{k}$	$T_2 = 350^{\circ}\text{k}$
$\rho_1 = 1,1614 \text{ kg/m}^3$	$\rho = ?$	$\rho_2 = 0,9950 \text{ kg/m}^3$

Interpolasi Linier untuk mencari nilai massa jenis angin (ρ) pada temperature T = 305,15°K.

Menghitung Daya Angin

No	Luas Penampang Sapuan (A)	Massa Jenis Angin (ρ)	Kecepatan Angin (v)	Daya Angin ($P_A = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3$)
	m ²	Kg/m ³	m/s	Watt
1.	0,0505	1,14428	5	3,611
2.	0,0606	1,14428	5	4,333
3.	0,0707	1,14428	5	5,056
4.	0,065	1,14428	5	4,648
5.	0,078	1,14428	5	5,578
6.	0,091	1,14428	5	6,508
7.	0,084	1,14428	5	6,007
8.	0,1008	1,14428	5	7,208
9.	0,1176	1,14428	5	8,410

Data hasil penghitungan Daya Angin



Hubungan Luas Penampang Sapuan terhadap Daya Angin

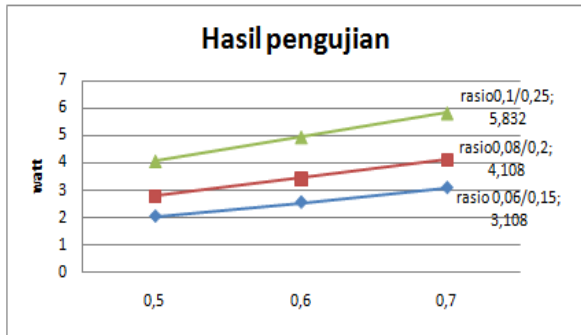
Grafik di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai Luas Penampang Sapuan, maka semakin tinggi juga nilai Daya Angin.

Menghitung Daya Generator

Dari pengujian kincir Savonius U pada berbagai ratio sudu dan tinggi sudu dengan nilai kecepatan angin 5 m/s dan jumlah sudu 4, didapatkan hasil grafik data pengujian sebagai berikut :

No	Ratio sudu (h/L)	Tinggi Sudu (t)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya Generator ($P_g = V \times I$)
		M	Volt	Ampere	Watt
1.	0,06/0,15	0,5	12	0,17	2,040
2.		0,6	13,5	0,19	2,565
3.		0,7	14,8	0,21	3,108
4.	0,08/0,2	0,5	13,3	0,21	2,793
5.		0,6	14,91	0,23	3,429
6.		0,7	15,8	0,26	4,108
7.	0,1/0,25	0,5	14,07	0,29	4,080
8.		0,6	15,98	0,31	4,953
9.		0,7	16,2	0,36	5,832

Data Hasil Perhitungan Daya Generator pada tinggi sudu 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m



Hubungan ratio sudu dengan Daya Generator pada tinggi sudu 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m

Dari grafik hubungan kecepatan angin dengan daya generator pada variasi ratio sudu dan tinggi sudu diatas menunjukkan bahwa semua kincir angin Savonius U dengan variasi ratio sudu dan tinggi sudu menghasilkan daya generator yang kecil pada kecepatan angin 5 m/s menghasilkan daya generator yang tinggi. Tetapi kincir angin Savonius U dengan ratio sudu 0,1/0,25 dan tinggi sudu 0,7 m dengan kecepatan angin 5 m/s menghasilkan daya generator tertinggi.

Menghitung Efisiensi Sistem

Efisiensi sistem merupakan perbandingan antara daya generator angin dan daya angin dari turbin angin, menggunakan persamaan :

$$\eta \frac{Pg}{Pa} \times 100 \%$$

Dimana :

η = Efisiensi sistem (%)

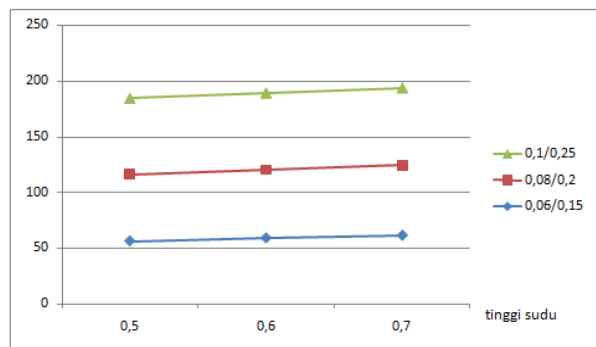
Pg = Daya Generator (Watt)

Pa = Daya Angin (Watt)

Dari pengujian di dapatkan data efisiensi sistem sebagai berikut :

No	Ratio	Tinggi Sudu (h/L)	Tegangan (V)	Arus (I)	Daya Generator ($P_g = V \times I$)	Daya Angin ($P_a = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times v^3$)	Efisiensi sistem ($\eta = \frac{P_g}{P_a}$)
		M	Volt	Ampere	Watt	Watt	(%)
1.	0,06/0,15	0,5	12	0,17	2,040	3,611	56,4 %
2.		0,6	13,5	0,19	2,565	4,333	59,1 %
3.		0,7	14,8	0,21	3,108	5,056	61,4 %
4.	0,08/0,2	0,5	13,3	0,21	2,793	4,648	60,1 %
5.		0,6	14,91	0,23	3,429	5,578	61,4 %
6.		0,7	15,8	0,26	4,108	6,508	63,1 %
7.	0,1/0,25	0,5	14,07	0,29	4,080	6,007	67,9 %
8.		0,6	15,98	0,31	4,953	7,208	68,7 %
9.		0,7	16,2	0,36	5,832	8,410	69,3 %

Data Hasil Perhitungan Efisiensi Sistem pada tinggi sudu 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m



Hubungan ratio sudu dengan Efisiensi Sistem pada tinggi sudu 0,5 m, 0,6 m, 0,7 m

Dari grafik di atas berdasarkan pengujian kincir angin Savonius U dengan variasi kecepatan angin dan lebar sudu terlihat bahwa semakin besar kecepatan angin dan nilai lebar sudu, maka nilai efisiensi sistem yang di dapat semakin besar.

Kesimpulan

Dari data hasil perhitungan pada pengujian Kincir Angin Savonius U dengan variasi ratio sudu dan tinggi sudu didapatkan nilai efisiensi sistem tertinggi yaitu 69,3% pada variasi ratio sudu 0,1/0,25 dan tinggi sudu 0,7 m, sedangkan untuk nilai efisiensi

sistem terendah sebesar 56,4% pada variasi ratio sudu 0,06/0,15 dan tinggi sudu 0,5 m. Sehingga dapat disimpulkan bahwa ratio sudu dan tinggi sudu berpengaruh terhadap besar efisiensi sistem yang dihasilkan.

Saran

Agar penelitian kincir angin bisa lebih dikembangkan lagi untuk mencapai efisiensi yang lebih maksimal sebagai pembangkit listrik tenaga angin bias ditambahkan variasi lain mulai dari bahan dan bentuk sudu maupun generator yang digunakan pada kincir.

Daftar pustaka

Bayu Mahendra, dkk. *Pengaruh Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Type L*. Malang: Diambil dari: http://www.undana.ac.id/jsmallfib_top/JURNAL/TEKNIK%20MESIN/TEKNIK%20MESIN%202012/PENGARUH%20JUMLAH%20SUDU%20TERHADAP%20UNJUK%20KERJA%20TURBIN%20ANGIN%20SAVONIUS%20TYPE%20L.pdf

Untung Surya Dharma, Masherni. 2016. *Pengaruh Desain Sudu Terhadap Unjuk Kerja Prototype Turbin Angin Vertikal axis Savonius*. Lampung: Diambil dari: <http://ojs.ummetro.ac.id/index.php/turbo/article/download/246/202>

Ahmad Farid. *Optimasi Daya Turbin Angin Savonius Dengan Variasi Celah dan Perubahan Jumlah Sudu*. Tegal: Diambil dari: <http://download.portalgaruda.org/article.php?article=167942&val=5634&title=OPTIMASI%20DAYA%20TURBIN%20ANGIN%20SAVONIUS%20DENGAN%20VARIASI%20CELAH%20DAN%20PERUBAHAN%20JUMLAH%20SUDU>

Dedy Nataniel Uly, Sudjito Soeparman, Nurkholis Hamidi. 2014. *Pengaruh Pemasangan Sudu Pengarah dan Variasi Jumlah Sudu Rotor terhadap Performance Turbin Angin Savoniu*. Diambil dari:

<http://www.bing.com/search?FORM=U270DF&PC=U270&q=Pengaruh+Pemasangan+Sudu+Pengaruh+dan+Variasi+Jumlah+Sudu+Rotor+terhadap+Performance+Turbin+Angin+Savonius>

johnson,gary .L.(2006).”wind energy system”.wind energi

<http://www.kelistrikanku.com/2016/03/generator-listrik.html>

El-Wakil, M.M. 1985. *Powerplant technology / by Powerplant technology*. New York : McGraw-Hill.