

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i.
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR GAMBAR	iv.
DAFTAR TABEL	ix.
DAFTAR LAMPIRAN	x.
DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL	xi.
RINGKASAN	xii.
SUMMARY	xiii.
BAB1 PENDAHULUAN	01.
1.1 Latar Belakang	01.
1.2 Rumusan Masalah	02.
1.3 Batasan Masalah	02.
1.4 Tujuan	03.
1.5 Manfaat	03.
1.6 Sistematika Pembahasan	03.
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	05.
2.1 Matahari	05.
2.2 Konversi Energi dari Tenaga Angin	05.
2.3 Jenis – Jenis Turbin Angin	07.
2.3.1 Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH)	08.
2.3.1.1 Keunggulan TASH	10.
2.3.1.2 Kekurangan TASH	10.
2.3.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV)	11.
2.3.2.1 Keunggulan TASV	12.
2.3.2.2 Kekurangan TASV	13.
2.4 Ventilasi Turbin Siklon dan Keuntungannya	13.
2.5 Perhitungan <i>Pulley</i>	16.
2.6 Komponen Pembangkit Listrik Tenaga Angin	16.
2.7 Proses <i>Charger and Discharge</i>	17.

2.8	Cara Kerja Baterai	19.
2.9	<i>Battery Control Regulator (BCR)</i>	20.
2.10	Tinjauan Segi Ekonomi	21.
2.10.1	Biaya Total Masa Kini (<i>Total Net Present Cost</i>)	21.
2.10.2	<i>Return On Investment (ROI)</i>	22.
2.10.3	<i>Payback Periode</i>	22.
2.11	<i>Cost Per Kilowatt – Hour</i>	23.
2.12	<i>Software Homer</i>	24.
BAB III	METODE PENELITIAN	25.
3.1	Studi Literatur	26.
3.2	Perancangan sistem	26.
3.2.2	Perancangan Mekanikal	26.
3.2.3	Perancangan Elektrikal	27.
3.3	Pengujian	27.
3.4	Pengolahan Data dan Analisis	28.
3.4.1	Analisis Teknis Sistem Pembangkit Tenaga Angin	28.
3.4.2	Analisis Ekonomi Sistem Pembangkit Tenaga Angin	28.
3.5	Pengambilan Kesimpulan	29.
BAB IV	PERANCANGAN	30.
4.1	Gambaran Umum	30.
4.2	Perancangan Sistem Mekanikal	31.
4.3	Perancangan Sistem Elektrikal	36.
4.4	Beban	39.
BAB V	PENGUJIAN DAN ANALISIS	41.
5.1	Data Pendukung	41.
5.2	Pengukuran dan Perhitungan	42.
5.3	Perhitungan Daya Angin	43.
5.4	Perhitungan Nilai Efisiensi	45.
5.5	Analisis Ekonomi	46.
5.5.1	<i>Cost per Kilowatt – Hours</i>	46.

5.5.2	<i>Payback Periode</i>	47.
5.5.3	<i>Return On Investment (ROI)</i>	48.
5.6	Implementasi sistem	50.
5.7	Simulasi <i>Homer</i>	57.
BAB VI	KESIMPULAN DAN SARAN	62.
6.1	Kesimpulan	62.
6.2	Saran-Saran	63.
DAFTAR PUSTAKA		64.
LAMPIRAN		66.



DAFTAR GAMBAR

No	Judul	Halaman
Gambar 2.1	Gaya Aerodinamis Rotor Turbin Angin Ketika Dilalui Aliran Udara ..	08.
Gambar 2.2	Komponen Utama Turbin Angin Sumbu Horisontal	08.
Gambar 2.3	Jenis Turbin Angin Berdasarkan Jumlah Sumbu	09.
Gambar 2.4	Turbin Angin Jenis <i>Upwind</i> Dan <i>Down Wind</i>	09.
Gambar 2.5	Turbin Angin Horisontal	11.
Gambar 2.6	Turbin Angin Vertikal	13.
Gambar 2.7	Perbedaan Penggunaan Ventilasi Siklon Sebelum (A) dan Sesudah (B)	14.
Gambar 2.8	Lokasi Pemasangan Ventilasi Siklon pada Atap	15.
Gambar 2.9	Jenis – Jenis Ventilasi Siklon yang ada di Pasaran	15.
Gambar 2.10	Proses <i>Charge</i> dengan arus Konstan	18.
Gambar 2.11	Proses <i>Discharge</i> dengan arus Konstan	18.
Gambar 2.12	Proses <i>Charge</i> dengan daya Konstan	19.
Gambar 2.13	Proses <i>Discharge</i> dengan daya Konstan	19.
Gambar 2.14	Baterai Sesudah dan Sebelum <i>Discharge</i>	20.
Gambar 2.15	<i>Battery Control Regulator</i> (BCR)	20.
Gambar 2.16	BI Rate Dalam Satu Tahun Terakhir	22.
Gambar 2.17	Tampilan <i>Software Homer</i>	24.
Gambar 3.1	Diagram Alir Metode Penelitian	25.
Gambar 4.1	Gambar Model Pengukuran Variasi Kecepatan Angin Dengan <i>Anemometer</i>	30.
Gambar 4.2	Pengujian Pengukuran Variasi Kecepatan Angin dengan <i>Anemometer</i> .	30.
Gambar 4.3	Rancangan Dasar pada Sistem Pembangkit dengan Turbin Siklon	31.
Gambar 4.4	Hasil Rancangan Rangka Utama	32.
Gambar 4.5	Sketsa Penambahan Sudu Turbin Angin	33.
Gambar 4.6	Perancangan Penambahan Sudu Turbin	33.
Gambar 4.7	Hasil Penambahan dan Pengecatan Turbin Siklon	34.
Gambar 4.8	Rancangan Roda Gigi Pada Sistem Turbin	34.

Gambar 4.9	<i>Pulley yang Digunakan</i>	35.
Gambar 4.10	<i>Gear Pulley pada Sistem Turbin Siklon</i>	36.
Gambar 4.11	Pengukuran Tegangan Masukan dan Keluaran <i>Boost Converter</i>	36.
Gambar 4.12	Generator DC yang Digunakan	37.
Gambar 4.13	Rancangan Rangkaian <i>Boost Converter</i> beserta <i>Solar Charger Controller</i>	37.
Gambar 4.14	Rancangan Rangkaian Pengukuran	38.
Gambar 4.15	Beban Lampu 5 Watt	39.
Gambar 4.16	Inverter yang Digunakan	40.
Gambar 4.17	Beban Penerangan	40.
Gambar 5.1	Grafik Kecepatan Angin Tahun 2014	41.
Gambar 5.2	Persiapan Pengujian	42.
Gambar 5.3	Kecepatan Angin terhadap Daya Angin	44.
Gambar 5.4	Grafik Efisiensi Generator terhadap Kecepatan Angin	45.
Gambar 5.5	Grafik Hubungan Kecepatan Angin terhadap Perubahan Harga Per Kwh (<i>Cost Per Kwh</i>)	46.
Gambar 5.6	Grafik Hubungan Kecepatan Angin terhadap Perubahan <i>Payback Period</i>	48.
Gambar 5.7	Grafik Hubungan Kecepatan Angin terhadap ROI	49.
Gambar 5.8	Grafik Daya Dan Pembebanan terhadap Satuan Waktu	52.
Gambar 5.9	Grafik Tegangan Generator, Tegangan <i>Boost Converter</i> dan Tegangan Baterai terhadap Satuan Waktu	54.
Gambar 5.10	Grafik Arus terhadap Satuan Waktu	54.
Gambar 5.11	Grafik Arus Pengecasan pada Aki	55.
Gambar 5.12	Grafik Kapasitas Aki terhadap Satuan Waktu	56.
Gambar 5.13	Grafik Level Tegangan Kapasitas Baterai	57.
Gambar 5.14	Konfigurasi pada Sistem Homer	57.
Gambar 5.15	Konfigurasi Kecepatan Angin Data dari Stasiun Karang Ploso	58.
Gambar 5.16	Data Beban yang Dilakukan	58.
Gambar 5.17	Pengisian Terkait dengan Indikator Ekonomi	58.

Gambar 5.18	Pengisian Data Turbin Angin	59.
Gambar 5.19	Pengisian Data Baterai	59.
Gambar 5.20	Nilai NPC pada Homer	60.
Gambar 5.21	Grafik Hasil Rata-Rata Produksi Listrik	60.
Gambar 5.22	<i>Wind Speed Daily Profile</i>	61.



DAFTAR TABEL

No	Judul	Halaman
Tabel 2.1	Kondisi Kecepatan Angin	07.
Tabel 2.2	BI Rate Dalam 2 Tahun Terakhir	22.
Tabel 3.1	Contoh Tabel Data Hasil Pengukuran terhadap Tegangan dan Arus	28.
Tabel 3.2	Contoh Tabel Data Hasil Pengukuran terhadap Tegangan dan Perhitungan Efisiensi	29.
Tabel 3.3	Data Hasil Pengukuran terhadap Nilai Ekonomi	30.
Tabel 4.1	Type Ventilasi Siklon yang ada di Pasaran	32.
Tabel 4.2	Contoh Spesifikasi <i>Battery Control Regulator</i>	39.
Tabel 4.3	Contoh Spesifikasi Baterai yang ada di Pasaran	40.
Tabel 5.1	Data Kecepatan Angin di Daerah Karang Ploso Malang Tahun 2014 ...	41.
Tabel 5.2	Data Hasil Pengukuran Sistem	43.
Tabel 5.3	Kecepatan Angin terhadap Daya Angin	44.
Tabel 5.4	Kecepatan Angin terhadap Nilai Efisiensi	45.
Tabel 5.5	Kecepatan Angin terhadap Perubahan <i>Cost Per Kwh</i>	46.
Tabel 5.6	Daya Generator terhadap Perubahan <i>Payback</i>	48.
Tabel 5.7	Kecepatan Angin terhadap Perubahan ROI	49.
Tabel 5.8	Data Pengukuran Pengelasan terhadap Satuan Waktu	50.
Tabel 5.9	Hasil Perhitungan Daya terhadap Satuan Waktu	51.
Tabel 5.10	Hasil Pengukuran dengan Beban	55.
Tabel 5.11	Karakteristik Baterai terhadap Satuan Waktu	56.

DAFTAR LAMPIRAN

No	Judul	Halaman
LAMPIRAN 1	Data – Data Angin BMKG Karang Ploso	66.
LAMPIRAN 2	Data – Data Variasi Kecepatan Angin Hasil Percobaan	79.
LAMPIRAN 3	Daftar <i>Spare Part</i>	81.
LAMPIRAN 4	Perhitungan Harga Peralatan	83.
LAMPIRAN 5	Implementasi Sistem	85.
LAMPIRAN 6	Resume Hasil Percobaan dan Perhitungan	88.
LAMPIRAN 7	Data Sheet Peralatan	90.
LAMPIRAN 8	Tarif Dasar Listrik	95.
LAMPIRAN 9	Gambar Perancangan Mekanik <i>Solid Work</i>	99.
LAMPIRAN 10	Gambar Perancangan Elektrik <i>Solid Work</i>	103.
LAMPIRAN 11	Foto - Foto Dokumentasi Peralatan dan Pengujian	105.



DAFTAR SINGKATAN DAN SIMBOL

A	: Ampere
AC	: Alternating Current
DC	: Direct Current
BCR	: Battery Control Regulator
BMKG	: Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika
DOD	: Depth Of Discharge
TASH	: Turbin Angin Sumbu Horisontal
TASV	: Turbin Angin Sumbu Vertikal
NPC	: Net Present Cost
PLN	: Perusahaan Listrik Negara
RPM	: Rotation Per Minute



RINGKASAN

Akhmad Frandi Cahya Permadi, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Mei 2015, STUDI PERANCANGAN SISTEM TENAGA ANGIN SKALA KECIL UNTUK MODEL TURBIN SIKLUN, Dosen pembimbing : Ir. Unggul Wibawa, M.Sc dan Ir. Mahfudz Shidiq, M.T.

Energi merupakan masalah utama pertumbuhan dan perkembangan ekonomi disuatu wilayah. Mahalnya harga bahan bakar yang berasal dari minyak dan gas bumi serta batu bara sebagai sumber utama pada pembangkitan energi listrik telah memaksa semua pihak untuk menggali sumber-sumber energi alternatif yang mungkin tersedia di sekitar kita, energi alternatif sering disebut energi baru dan terbarukan.

Penelitian ini bertujuan dapat menganalisis efisiensi dari sistem, pengaruh variasi kecepatan angin, terhadap proses pengisian baterai (*output*), mengetahui besar biaya dan tinjauan ekonomis lainnya dari pembangkit energi tenaga angin dengan turbin siklun dan membandingkan dengan sistem energi yang sudah ada (PLN). Penelitian diawali dengan pengambilan data lapangan, kecepatan angin, perhitungan daya angin, perancangan mekanikal dan perancangan elektrikal, untuk mengekstrak energi angin menjadi energi listrik.

Pengujian pada variasi kecepatan angin, sebagai upaya cerminan keadaan sesungguhnya, turbin memutar roda gigi dengan rasio 1:6, menghasilkan *output* seperti volt dan arus, akibat putaran generator. Pengujian di dapatkan nilai *output* pada generator 7,18 volt, dan pada *booster* 13,03 Volt, pada kecepatan angin 5,33 meter per detik dengan arus sebesar 2,04 Amper sehingga dapat dihitung *output* daya pada generator sebesar 14.65 Watt dan pada *booster* 26.58 Watt. Dari data keluaran dilakukan analisis ekonomi, menghitung *cost* per kWh sistem sebesar Rp 489,25,- dimana *cost* per kWh PLN Rp 415,-. *Payback period* yang merupakan informasi seberapa lama investasi akan kembali juga dihitung, jika di dasarkan tarif PLN maka *Payback periode* mencapai 19,3 tahun sedang berdasar *cost* per kWh sistem, mencapai 15 tahun dengan perkiraan biaya perawatan tahunan 3%. Selanjutnya ini digunakan sebagai dasar waktu investasi untuk menghitung ROI dimana nilainya adalah 0,85 atau 85% yang berarti investasi sistem ini masih perlu penyempurnaan untuk dilaksanakan.

Implementasi sistem dilakukan guna melihat sistem operasi secara langsung didaerah uji dengan kecepatan angin maksimum 8.69m/s yang menghasilkan putaran generator sebesar 283 rpm dan tegangan generator 12 Volt dengan arus pengecasan 2.31 Amper. Pembebanan yang dilakukan terpisah, dengan beban 5 Watt kapasitas aki turun hingga 83%, sedang beban 10 Watt 67% dan pengujian dengan beban 15 Watt turun hingga 50%.

Perhitungan nilai NPC dengan menggunakan program *Homer* nilainya sebesar 171 USD atau setara Rp. 2.220.777,- dengan kurs 1 USD adalah Rp. 12.987,-. Program *Homer* adalah program perhitungan cepat untuk investasi pembangkit dalam format USD dengan skala yang lebih besar atau lebih dari satu pembangkit dan bisa meningkatkan pengetahuan dalam analisis ekonomi lainnya.

Akhirnya, detail penelitian lebih lanjut dan mendalam mengenai turbin angin siklun yang lebih efisien, generator yang mampu mengekstrak energi lebih besar perlu terus dikembangkan sehingga manfaatnya dapat lebih dirasakan Masyarakat.

Kata Kunci - Ventilasi Siklun, Siklun Turbin, Energi Terbarukan, ROI(Return On Investment), Payback, Harga per kWh.

SUMMARY

Akhmad Frandi Cahya Permadi, Electrical Engineering Department, Engineering Faculty, Brawijaya University, Mei 2015, Study Design Wind Power System Small Scale For Turbine Cyclone Model, advisor lecture : Ir. Unggul Wibawa, M.Sc dan Ir. Mahfudz Shidiq, M.T.

Energy is one of the main problems in the economic development and growth of a region. The high price of fuel (oil and coal) for generate power plan has been pushing all parties to explore of alternative energy resources that might be available around us, alternative energy is often called renewable energy. Wind is one of potential source which high possibility to develop as alternative energy.

The main propose of this research is to analyze the efficiency of wind power systems (Cyclone Turbine Ventilator), study of wind speed variable which impact to the output to determine the influence of wind speed with the battery charging process, cost and economic analysis and commpare with existing system of energy (PLN). This research had started from site observation and collect main data such as wind speed and others, wind power calculation, efficiency generator calculation, mechanical design and electrical design to extraction wind energy to electrical energy.

Test of the system had been conducted on the variations of wind speed base on actual condition, which generate turbine with pulley ratio 1:6 and produce output such as voltage and current causes working of generator. When the wind speed 5.33 m/s, the output generator is about 7,18 volt and booster is about 13,03 volt and current 2.04 ampere, that mean the output of generator is 23 and at booster 26.58 watt. Base on the previous output data, economic analysis had calculated to know cost of the system, cost per kWh of Cyclone Turbine Ventilator is about 489.25,- Rp/kWh. Payback period is calculation method to know when investment break event point and base on cost per kWh of Cyclone Turbine Ventilator is 19,3 years and base on Cost per kWh PLN is 15 years with annuallly maintanence cost 3%. Return of Investment (ROI) of the system had calculated base on cost per kWh PLN and result 0,85 or 85% that means the system still need improvement to fullfil the purpose of invesment. Implementation of the system have been done in order to ensure the operating system directly at test area with maximum wind speed of 8.69 m/s, generator that produces rotation of 283 rpm and a voltage of 12 volts with a current generator charging is about 2.31Amper. Test load has been done separately with load 5 Watt battery capacity drops to 83%, 67% for load 10 Watt and 50% for load 15 Watt.

Sotftware Homer had used to calculation Net present Cost (NPC) is about 171 USD or equal with Rp. 2.220.777,- , 1 USD is about Rp. 12.987,- .This software is capable for fast calculation economic analysis large scale of system power generator and improve knowledge. Finally, detail research of Cyclone Turbine ventilator should be focus efficiency and the greatest advantage for the people.

Key Word: Cyclone Ventilator, Wind Turbine, Renewable energy, ROI (Return On Investment), Payback, Cost per kWh.