

**PENGEMBANGAN PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA HIBRIDA
MENGUNAKAN TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL TIPE
DOUBLE-STAGE SAVONIUS DAN PANEL SURYA**

SKRIPSI

Disusun Untuk Melengkapi Syarat-syarat
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



SHINTA WURIYANDANI

3225111285

PROGRAM STUDI FISIKA

JURUSAN FISIKA

FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM

UNIVERSITAS NEGERI JAKARTA

2015

PERSETUJUAN PANITIA UJIAN SKRIPSI

Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Menggunakan Turbin Angin
Sumbu Vertikal Tipe *Double-Stage* Savonius dan Panel Surya

Nama : Shinta Wuriyandani

No. Reg. : 3225111285

Penanggung Jawab

Dekan : Prof. Dr. Suyono, M.Si
NIP. 19671218 199303 1 005

Wakil Penanggung Jawab

Pembantu Dekan I : Dr. Muktiningsih, M.Si
NIP. 19640511 198903 2 001

Ketua : Anggara Budi Susila, M.Si
NIP. 19601001 199203 1 001

Sekretaris : Dr. Widyaningrum Indrasari, M.Si
NIP. 19770510 200604 2 001

Anggota

Pembimbing I : Cecep E. Rustana, Ph.D
NIP. 19590729 198602 1 001

Pembimbing II : Hadi Nasbey, S.Pd, M.Si
NIP. 19790916 200501 1 004

Penguji Ahli : Dr. Iwan Sugihartono, M.Si
NIP. 19791010200801 1 018



Tanda Tangan Tanggal

29/7-15

28/7-15

27/7-15

27/7-15

13/7-15

27/7-15

10/7-15

Dinyatakan lulus ujian skripsi tanggal 7 Juli 2015.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Seluruh perjuangan terselesaikannya skripsi ini aku persembahkan untuk:

“Ibu dan Bapak atas segala kasih sayang, do’a, motivasi, pengorbanan, semangat, dukungan, keikhlasan, dan kesabarannya dalam memperjuangkanku untuk menempuh pendidikan setinggi mungkin”

“Kakakku Reza Saputra, Keluarga Besar Harto Prayitno dan Keluarga Besar Arta Wiryana atas segala bantuan, do’a, dukungan dan kekeluargaannya”

“Sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras (untuk urusan yang lain). Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap.” **(Al-Insyirah: 6-8)**

“Hai orang-orang yang beriman, jadikanlah sabar dan shalatmu sebagai penolongmu, sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar” **(Al-Baqarah: 153)**

Hasil tidak akan pernah mengkhianati prosesnya. Maka bersungguh-sungguhlah dalam menjalani segala proses yang ditempuh.

ABSTRAK

Shinta Wuriyandani. Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Hibrida Menggunakan Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Double-Stage Savonius dan Panel Surya. Skripsi. Jakarta. Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta. 2015

Penelitian pengembangan pembangkit listrik tenaga hibrida dengan menggunakan turbin angin sumbu vertikal tipe *double-stage* savonius dan panel surya telah dilakukan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan turbin angin dan panel surya sebagai pembangkit listrik tenaga hibrida yang mampu beroperasi pada listrik skala rendah. Turbin angin memiliki 2 buah sudu tiap stage, berdiameter 0.35 m, tinggi 0.39 m dan jarak antar celah 3 cm, sedangkan panel surya memiliki luas 0.4087 m² dan daya maksimum 50 W. Kemudian dilakukan pengujian secara langsung dan skala laboratorium dengan pengambilan data tegangan dan kuat arus listrik. Hasil pengujian secara langsung menunjukkan daya *output* sistem hibrida sebesar 17.81 W, sedangkan turbin angin dan panel surya berturut-turut sebesar 0.1277 mW dan 41.91 W. Hasil pengujian skala laboratorium menunjukkan bahwa sistem hibrida mempengaruhi daya *output* yaitu sebesar 46,03 W, sedangkan daya *output* turbin angin sebesar 2.56 W. Nilai efisiensi yang dihasilkan dari sistem hibrida sebesar 25.12%, sedangkan turbin angin dan panel surya berturut-turut sebesar 11.68% dan 13.02%. Dalam proses *charging* pada keadaan optimal selama 3 jam menghasilkan tegangan tersimpan sebesar 5.055 V untuk sistem hibrida, 2.85 V untuk panel surya dan 1,84 V untuk turbin angin.

Kata Kunci : *Sistem hibrida, double-stage savonius, panel surya, daya output, dan efisiensi*

ABSTRACT

Shinta Wuriyandani. *Development of Hybrid Power Plant Using Vertical Axis Wind Turbine Type Double-Stage Savonius and Solar Panels. Thesis. Jakarta. Department of Physics, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, State University of Jakarta. 2015*

The research development of hybrid power plant using vertical axis wind turbine type double-stage savonius and solar panels has been done.. The objective of this research was to develop wind turbines and solar panels as power generation hybrid capable of operating at a low scale electricity. The wind turbine has two blades of each stage, diameter 0.35 m, height 0.39 m and the distance between slit 3 cm, while the solar panel has an area of 0.4087 m² and maximum power of 50 W. Then direct testing and laboratory scale with data retrieval voltage and electric current. The results showed the power output of hybrid system is equal to 17.81 W, while wind turbines and solar panels respectively by 0.1277 mW and 41.91 W. The results showed that the laboratory-scale test of the hybrid system affects the output power is equal to 46.03 W, while the power output of the wind turbine is equal to 2.56 W. Efficiency of the hybrid system is equal to 25.12%, while wind turbines and solar panels respectively by 11.68% and 13.02%. In the process of charging the optimal state for 3 hours to produce the stored voltage of 5.055 V for hybrid systems, 2.85 V for solar panels and 1.84 V for wind turbines.

Keyword : hybrid system, double-stage savonius, solar panels, power output, and efficiency

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, puji dan syukur dipanjatkan kehadirat Allah SWT atas nikmat ilmu pengetahuan dan nikmat kesehatan yang diberikan kepada penulis sehingga skripsi dengan judul “*Pengembangan Pembangkit Listrik Teaga Hibrida Menggunakan Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Double-Stage Savonius dan Panel Surya*” dapat diselesaikan. Penulis ingin menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada:

1. Cecep Rustana, Ph.D, selaku Dosen Pembimbing I yang telah banyak memberikan pengarahan, masukan, bimbingan dan banyak kemudahan kepada penulis
2. Hadi Nasbey, S.Pd, M.Si, selaku Dosen Pembimbing II atas semua waktu, bimbingan, semangat, dan pengalaman bagi penulis.
3. Anggara Budi Susila, M.Si, selaku Ketua Jurusan Fisika, atas segala masukan dan kemudahan yang diberikan kepada penulis.
4. Dr. Esmar Budi, M.T, selaku Ketua Program Studi Jurusan Fisika, atas segala motivasi dan kemudahan yang diberikan kepada penulis.
5. Drs. Andreas Handjoko Permana, M.Si, selaku Pembimbing Akademik atas segala saran, dan diskusi yang diberikan bagi penulis.
6. Seluruh dosen jurusan fisika yang telah memberikan kuliah, ilmu, berbagi pengalaman, dan nasihat selama masa perkuliahan berlangsung.
7. Rekan-rekan seperjuangan Fisika 2011 atas kekeluargaan, bantuan, motivasi, dan semangat kepada penulis.

8. Sahabat-sahabat terbaik (Anita, Putri, Maulida, Tisya, Erlina, Cynthia, Lory, Elin, Ridho, Andi, Bambang, Andra, dan Muarief), atas persaudaraan, semangat, do'a, bantuan dan motivasi kepada penulis.
9. Rekan-rekan seperjuangan Laboratorium Energi dan Mekanik Fisika UNJ atas semua kerjasama, diskusi, dan nasihat selama penelitian berlangsung.
10. Ka Prima, Ka Tedy, Ka Haryo, Ka Puji, Ka Cristin, Ka Ganen dan Kakak-kakak Fisika 2007, 2008, 2009, 2010 atas segala masukan, berbagi ilmu maupun pengalaman serta adik-adik Fisika 2012 atas segala bantuannya.
11. Staf Laboratorium Fisika Universitas Negeri Jakarta, Mas Fajrin, Mas Akbar, Pak Mahfud, Mas Maruloh, dan Mang Ujang, atas segala masukan, bantuan dan memberikan kemudahan yang telah diberikan kepada penulis.
12. Karyawan FMIPA UNJ & Bapak-bapak satpam FMIPA UNJ yang membantu dan memudahkan penulis dalam izin menginap selama penelitian berlangsung.

Penulis menyampaikan permohonan maaf kepada para pembaca atas segala kekurangan yang ada karena kesempurnaan hanya milik Allah SWT. Oleh karena itu, saran dan kritik yang membangun dari berbagai pihak sangat diharapkan untuk masa yang akan datang. Semoga skripsi ini bisa bermanfaat bagi perkembangan Energi Baru Terbarukan di Indonesia.

Jakarta, Juni 2015

Shinta Wuriyandani

DAFTAR ISI

HALAMAN PERSEMBAHAN	i
ABSTRAK	ii
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR	viii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR LAMPIRAN	ix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Identifikasi Masalah	3
1.3 Pembatasan Masalah	4
1.4 Perumusan Masalah.....	4
1.5 Tujuan Penelitian.....	4
1.6 Manfaat Penelitian	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
2.1 Turbin Angin	6
2.1.1 Sistem Konversi Energi Angin	10
2.1.2 Turbin Angin Savonius	12
2.2 Sel Surya	13
2.2.1 Karakteristik Sel Surya	15
2.2.2 Radiasi Harian Matahari	18
2.3 Mekanika Fluida.....	19
2.4 Sistem Hibrida Sel Surya – Turbin Angin	20
2.4.1 Manfaat Sistem Hibrida	21
2.4.2 Diagram Blok Sistem Hibrida	22
2.5 Baterai Rechargeable.....	23
2.6 Referensi Penelitian Relevan	24

BAB III METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Tujuan Penelitian.....	26
3.2 Tempat dan Waktu Penelitian	26
3.3 Metode Penelitian.....	26
3.4 Alat dan Bahan Penelitian.....	27
3.5 Prosedur Penelitian.....	28
3.5.1 Perancangan Turbin Angin dan Panel Surya	28
3.5.2 Pembuatan Turbin	29
3.5.3 Set Up Alat.....	29
3.5.4 Pengambilan Data dan Pengujian.....	30
3.6 Diagram Alir Penelitian	31
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	32
4.1 Pengambilan Data dan Analisa Pengujian Secara Langsung	33
4.1.1 Pengujian Turbin Angin Sumbu Vertikal.....	33
4.1.2 Pengujian Panel Surya.....	35
4.1.3 Pengujian Sistem Hibrid Turbin Angin dan Panel Surya.....	37
4.2 Pengujian Skala Laboratorium	40
4.2.1 Pengujian Daya Input terhadap Kecepatan Angin	40
4.2.2 Hasil Pengujian dan Analisa Data	41
4.2.3 Analisis Transmisi Daya Mekanik	44
4.2.4 Efisiensi Turbin Angin Sumbu Vertikal.....	45
4.3 Potensi Sistem Hibrida Turbin Angin dan Panel Surya	46
4.4 Pengujian Pengisian Baterai.....	49
BAB V PENUTUP.....	51
5.1 Kesimpulan.....	51
5.2 Saran.....	52
DAFTAR PUSTAKA	54
LAMPIRAN	58

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Komponen Turbin Angin	6
Gambar 2.2 Variasi Jumlah Blade Pada HAWT.....	8
Gambar 2.3 Turbin Angin Sumbu Tegak.....	9
Gambar 2.4 Tabel Desain dan Sejarah Rotor Modern	10
Gambar 2.5 Proses Pengubahan Energi Matahari menjadi Energi Listrik	14
Gambar 2.6 Grafik I-V Modul Surya	15
Gambar 2.7 Grafik Tegangan Terhadap Arus dan Daya.....	17
Gambar 2.8 Radiasi Sorotan dan Radiasi Sebaran Matahari	18
Gambar 2.9 Grafik Besar Radiasi Harian Matahari	19
Gambar 2.10 Aliran Fluida.....	20
Gambar 2.11 Diagram Blok Sistem Hibrida Turbin Angin dan Modul Surya	22
Gambar 3.1 Desain Sistem Hibrida Turbin Angin-Panel Surya	28
Gambar 3.2 Desain Turbin Angin Tampak Atas.....	29
Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian.....	31
Gambar 4.1 Grafik Hubungan Daya Output Turbin Angin terhadap Waktu	33
Gambar 4.2 Grafik Hubungan Tegangan Output Turbin Angin terhadap Kecepatan Angin.....	34
Gambar 4.3 Grafik Hubungan Daya Output Panel Surya terhadap Waktu.....	35
Gambar 4.4 Grafik Hubungan Tegangan dan Arus Output Panel Surya terhadap Intensitas Cahaya.....	35
Gambar 4.5 Grafik Hubungan Daya Output Hibrid terhadap Waktu	37
Gambar 4.6 Grafik Hubungan Intensitas Cahaya dan Kecepatan Angin terhadap Waktu	38
Gambar 4.7 Grafik Hubungan Tegangan Output Total, Panel Surya dan Turbin Angin terhadap Waktu	38

Gambar 4.8 Grafik Hubungan Daya Input Turbin Angin terhadap Kecepatan Angin	41
Gambar 4.9 Grafik Hubungan Daya Output Turbin Angin terhadap Kecepatan Angin	42
Gambar 4.10 Grafik Hubungan Kecepatan Putar Turbin terhadap Kecepatan Angin	43
Gambar 4.11 Grafik Hubungan Daya Output Turbin Angin (Berdasarkan Simulasi) terhadap Kecepatan Angin	43
Gambar 4.12 Grafik Hubungan Daya Output Sistem Hibrida terhadap Waktu.....	47
Gambar 4.13 Grafik Hubungan Tegangan Baterai terhadap Waktu Pengisian.....	50

DAFTAR TABEL

Tabel 4.1 Tegangan Pada Baterai Ketika Proses Pengisian	49
---	----

DAFTAR LAMPIRAN

A. Data Pengukuran Hasil Pengujian.....	58
B. Data Perhitungan Efisiensi	70
C. Dokumentasi Penelitian.....	71

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pemanfaatan energi matahari dan energi angin sebagai sumber energi alternatif untuk mengatasi krisis energi mendapat perhatian yang cukup besar dari banyak negara di dunia. Di samping jumlahnya yang tidak terbatas, pemanfaatannya juga tidak menimbulkan polusi yang dapat merusak lingkungan.

Potensi tenaga surya Indonesia secara umum ada pada tingkat satisfy (cukup). Suplai energi surya dari sinar matahari yang diterima oleh permukaan bumi yaitu mencapai 3×10^{24} joule pertahun, energi ini setara dengan 2×10^{17} Watt. Jumlah energi sebesar itu setara dengan 10.000 kali konsumsi energi di seluruh dunia saat ini. Dengan kata lain, dengan menutup 0,1 persen saja permukaan bumi dengan divais solar sel yang memiliki efisiensi 10% sudah mampu untuk menutupi kebutuhan energi di seluruh dunia saat ini (Ristek, 2012).

Potensi energi listrik Indonesia yang bisa dihasilkan pembangkit tenaga angin sebenarnya bisa mencapai 9,2 Gigawatt (GW). Proyek WhyPGen sendiri saat ini baru memiliki pembangkit dengan kapasitas terpasang 9,4 Megawatt (MW). Tapi mereka berani memasang target untuk membangkitkan energi listrik sebesar 18 GW per tahun. Untuk mengatasi biaya tinggi adalah dengan membangun pembangkit hibrida, yang menggabungkan tenaga angin dengan energi jenis lain seperti energi surya, air, dan diesel. Indonesia sudah memulai proyek energi terbarukan tenaga angin dengan

membangun satu pembangkit listrik di Nusa Penida, Bali, pada 2007. Pembangkit tersebut menggunakan mesin diesel sebagai cadangan energi (Geoenergi, 2013).

Beberapa tempat di Indonesia sudah mengalami krisis energi yang parah, sehingga pemadaman listrik sering terjadi khususnya di luar pulau Jawa. Pada perkembangan energi kedepan harus ramah lingkungan. Melihat sumber daya alam terbarukan yang ada di Indonesia yang belum dimanfaatkan secara optimal seperti energi angin, energi air, energi surya dan lainnya. Indonesia memiliki kapasitas angin yang cukup, karena kecepatan angin di Indonesia rata-rata berkisar antara 3 – 6 m/s. Kecepatan yang lebih tinggi dapat diperoleh di daerah Nusa Tenggara yang berkisar antara 3,5 – 6,5 m/s. Sedangkan pulau-pulau seperti Sumatera, Jawa, Kalimantan, Sulawesi, dan Papua hanya memiliki kecepatan angin sekitar 2,7 – 4,5 m/s. Sedangkan turbin pada umumnya merujuk pada desain dari Eropa dan Amerika yang merupakan benua penghasil angin terbesar dengan kecepatan sekitar 9 – 12 m/s (Sukamto, 2012).

Pada penelitian Daniele Vitali (2013), yang berjudul “*Design, testing and simulation of hybrid wind-solar energy system*” yaitu menguji sistem hibrida menggunakan desain turbin angin tipe *double-stage* savonius dan tipe *helical* savonius dengan panel surya yang dirancang pada sistem *street-lighting*, sistem ini menggunakan panel surya ketika radiasi matahari dalam keadaan optimum, sedangkan turbin angin akan bekerja pada keadaan radiasi matahari mengalami penurunan seperti ketika musim dingin dan berkontribusi maksimal ketika cuaca

berangin. Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa dalam pengujian selama 1 tahun energi yang disimpan dapat mencapai 60%, dengan menggunakan generator *photovoltaic* (panel surya) efisiensinya dapat meningkat 15%.

Pada penelitian ini, penulis bermaksud untuk melakukan penelitian mengenai pengembangan pembangkit listrik tenaga hibrida dengan menggunakan turbin angin tipe *double-stage* savonius dan panel surya. Kemudian pengujian pada penelitian ini yaitu ketika panel surya dan turbin angin tipe *double-stage* savonius bekerja masing-masing dan ketika keduanya dalam sistem hibrida, hal ini dilihat pengaruhnya terhadap daya keluaran (*output*), efisiensi yang dihasilkan, dan pengisian ke baterai (*charging*).

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dipaparkan, perumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1.2.1 Bagaimana pengaruh turbin angin, panel surya, dan sistem hibrida keduanya terhadap daya keluaran yang dihasilkan?
- 1.2.2 Bagaimana pengaruh turbin angin, panel surya, dan sistem hibrida keduanya terhadap efisiensi yang dihasilkan?
- 1.2.3 Bagaimana pengaruh turbin angin, panel surya, dan sistem hibrida keduanya terhadap pengisian ke baterai (*charging*) ?

1.3 Pembatasan Masalah

Permasalahan pada penelitian ini dibatasi pada pengembangan pembangkit listrik tenaga hibrida menggunakan turbin angin tipe *double-stage* savonius dan panel surya. Aliran fluida dalam hal ini diasumsikan sebagai fluida ideal.

1.4 Perumusan Masalah

Masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini yaitu:

- 1.4.1 Apakah dapat dikembangkan pembangkit listrik tenaga hibrida menggunakan turbin angin tipe *double-stage* savonius dan panel surya?
- 1.4.2 Bagaimana pengaruh turbin angin, panel surya, dan sistem hibrida keduanya terhadap daya *output*, efisiensi dan pengisian baterai yang dihasilkan?

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1.5.1 Membuat sebuah sistem hibrida turbin angin tipe *double-stage* savonius dan panel surya sederhana yang dapat memanfaatkan energi angin dan energi matahari untuk menghasilkan listrik dalam skala rendah.
- 1.5.2 Mempelajari proses pengisian daya baterai dari energi angin dan energi matahari yang dikonversi menjadi energi listrik.
- 1.5.3 Menganalisa daya keluaran (*output*), efisiensi, dan proses pengisian daya baterai yang dihasilkan panel surya, turbin angin tipe *double-stage* savonius, dan sistem hibrida keduanya.
- 1.5.4 Memahami mekanisme kerja dari sistem hibrida turbin angin dan panel surya.

1.6 Manfaat Penelitian

- 1.6.1 Memberikan informasi potensi penggunaan sistem pembangkit listrik tenaga hibrida turbin angin dan panel surya.
- 1.6.2 Mengoptimalkan potensi energi angin dan matahari sebagai sistem pembangkit listrik tenaga hibrida.
- 1.6.3 Mengembangkan sumber energi alternatif bebas polusi, ramah lingkungan dan bersifat terbarukan.
- 1.6.4 Dapat digunakan sebagai model pembelajaran berbasis riset maupun model peraga yang dapat digunakan di masyarakat.

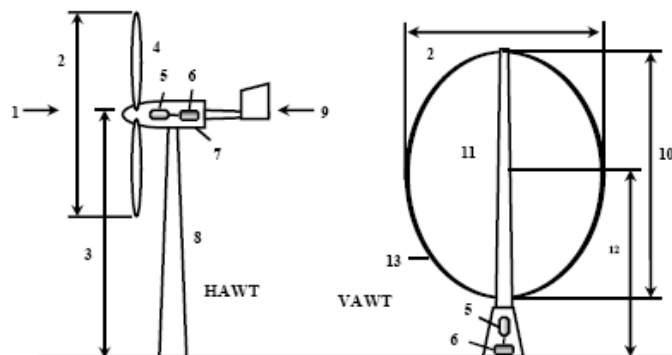
BAB II

KAJIAN TEORI

2.1 Turbin Angin

Turbin angin merupakan sebuah alat yang digunakan dalam sistem konversi energi angin (SKEA). Turbin angin berfungsi mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik berupa putaran poros. Putaran poros tersebut kemudian digunakan untuk beberapa hal sesuai dengan kebutuhan seperti memutar dinamo atau generator untuk menghasilkan listrik atau menggerakkan pompa untuk pengairan. Pemanfaatan energi angin telah dilakukan sejak lama.

Desain turbin angin yang ada saat ini secara umum terbagi menjadi dua, yaitu turbin angin sumbu mendatar (HAWT) dan sumbu vertikal (VAWT). Bagian-bagian turbin dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Keterangan gambar:

- | | |
|--|--|
| 1. Arah angin pada HAWT tipe <i>upwind</i> | 8. Tower pada HAWT |
| 2. Diameter rotor | 9. Arah angin pada HAWT tipe <i>downwind</i> |
| 3. <i>Hub height</i> | 10. Tinggi rotor |
| 4. Rotor <i>blade</i> | 11. Tower pada VAWT |
| 5. Gear box | 12. <i>Equator height</i> |
| 6. Generator | 13. <i>Fixed-pitch rotor blade</i> |
| 7. <i>Nacelle</i> | |

Gambar 2.1 Komponen Turbin Angin (Dewi, 2010)

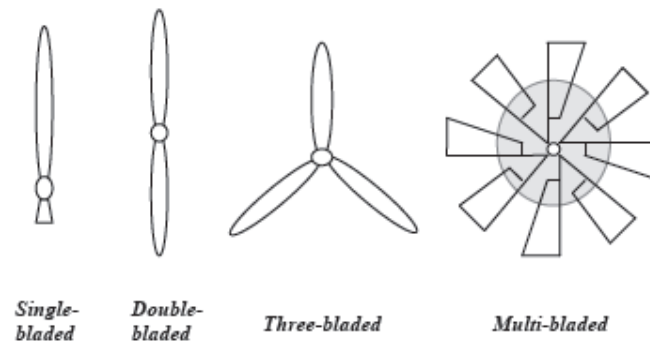
Salah satu komponen utama dari turbin angin adalah rotor. Rotor ini berfungsi mengkonversi gerak linier angin menjadi gerak putar sudu turbin. Rotor dapat diklasifikasikan berdasarkan fungsi gaya aerodinamisnya dan berdasarkan bentuk atau konstruksi rancangan rotor. Untuk pengklasifikasian berdasarkan fungsi gaya aerodinamisnya, merujuk pada gaya utama yang menyebabkan rotor berputar. Berdasarkan fungsi gaya aerodinamis, rotor terbagi menjadi dua, yaitu rotor tipe *drag* dan rotor tipe *lift*.

1. Rotor tipe *drag*, memanfaatkan efek gaya hambat atau *drag* sebagai gaya penggerak rotor.
2. Rotor tipe *lift*, memanfaatkan efek gaya angkat sebagai gaya penggerak rotor. Gaya ini terjadi akibat angin yang melewati profil rotor.

Berdasarkan bentuk rotor, turbin angin dibagi menjadi dua tipe, yaitu turbin angin sumbu mendatar (*horizontal axis wind turbine*) dan turbin angin sumbu vertikal (*vertical axis wind turbine*) (Daryanto, 2007).

1. *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) merupakan turbin yang poros utamanya berputar menyesuaikan arah angin. Agar rotor dapat berputar dengan baik, arah angin harus sejajar dengan poros turbin dan tegak lurus terhadap arah putaran rotor. Biasanya turbin jenis ini memiliki *blade* berbentuk *airfoil* seperti bentuk sayap pada pesawat. Pada turbin ini, putaran rotor terjadi karena adanya gaya *lift* (gaya angkat) pada *blade* yang ditimbulkan oleh aliran angin. Turbin ini cocok digunakan pada tipe angin sedang dan tinggi, dan banyak digunakan sebagai pembangkit listrik skala besar. Jumlah *blade* pada HAWT bervariasi, mulai dari

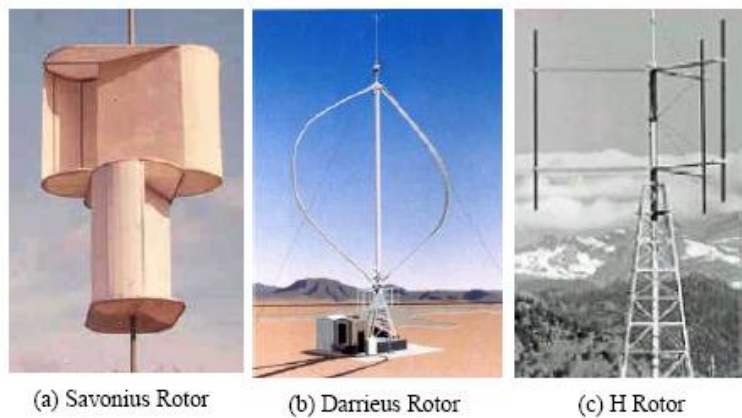
satu *blade*, dua *blade*, tiga *blade*, dan banyak *blade* (*multi blade*) yang penggunaannya disesuaikan dengan kebutuhan dan kondisi angin. Secara umum semakin banyak jumlah *blade*, semakin tinggi putaran turbin.



Gambar 2.2 Variasi Jumlah Blade Pada HAWT (Daryanto, 2007)






Setiap desain rotor mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihan turbin jenis ini, yaitu memiliki efisiensi yang tinggi, dan *cut-in wind speed* rendah. Kekurangannya, yaitu turbin jenis ini memiliki desain yang lebih rumit karena rotor hanya dapat menangkap angin dari satu arah sehingga dibutuhkan pengarah angin selain itu penempatan dinamo atau generator berada di atas tower sehingga menambah beban tower.

2. *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT) merupakan turbin angin sumbu tegak yang gerakan poros dan rotor sejajar dengan arah angin, sehingga rotor dapat berputar pada semua arah angin. Ada tiga tipe rotor pada turbin angin jenis ini, yaitu: Savonius, Darrieus, dan H rotor. Turbin Savonius memanfaatkan gaya *drag* sedangkan Darrieus dan H rotor memanfaatkan gaya *lift*.



Gambar 2.3 Turbin Angin Sumbu Tegak (Dewi, 2010)

Sama halnya seperti HAWT, VAWT juga mempunyai beberapa kelebihan dan kekurangan. Kelebihannya, yaitu memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin rendah, dinamo atau generator dapat ditempatkan di bagian bawah turbin sehingga mempermudah perawatan, tidak bising, dan kerja turbin tidak dipengaruhi arah angin. Kekurangannya yaitu kecepatan angin di bagian bawah sangat rendah sehingga apabila tidak memakai tower akan menghasilkan putaran yang rendah, dan efisiensi lebih rendah dibandingkan HAWT. VAWT awalnya lebih berkembang untuk konversi energi mekanik, tetapi seiring dengan perkembangan desain, turbin tipe ini banyak digunakan untuk konversi energi listrik skala kecil.

Ref No.	Design	Orientation	Use	Propulsion	* Peak Efficiency	Diagram
1	Savonius rotor	VAWT	Historic Persian windmill to modern day ventilation	Drag	16%	
2	Cup	VAWT	Modern day cup anemometer	Drag	8%	
3	American farm windmill	HAWT	18th century to present day, farm use for Pumping water, grinding wheat, generating electricity	Lift	31%	
4	Dutch Windmill	HAWT	16th Century, used for grinding wheat.	Lift	27%	
5	Darrieus Rotor (egg beater)	VAWT	20th century, electricity generation	Lift	40%	

Gambar 2.4 Tabel Desain dan Sejarah Rotor Modern (Schubel, 2012)

2.1.1 Sistem Konversi Energi Angin

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 listrik yang dimiliki angin menjadi energi kinetik poros. Besarnya energi yang dapat ditransferkan ke rotor tergantung pada massa jenis udara, luas area dan kecepatan angin.

Energi kinetik untuk suatu massa angin m yang bergerak dengan kecepatan v yang nantinya akan diubah menjadi energi poros dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \quad (2.1)$$

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:

$$V = vA \quad (2.2)$$

Sedangkan aliran massa udara yang bergerak dalam waktu dengan kerapatan ρ , yaitu:

$$m = \rho V = \rho Av \quad (2.3)$$

Persamaan-persamaan diatas menunjukkan energi kinetik dan aliran massa yang melewati suatu penampang melintang A sehingga energi kinetik angin yang berhembus dalam satuan waktu (daya angin) adalah:

$$P_w = \left(\frac{1}{2} \rho Av \right) (v^2) = \frac{1}{2} \rho Av^3 \quad (2.4)$$

Besar daya di atas adalah daya yang dimiliki oleh angin sebelum dikonversi atau sebelum melewati turbin angin. Dari daya tersebut tidak semuanya dapat dikonversi menjadi energi mekanik oleh turbin (Ajao, 2009).

C_p adalah koefisien daya menggambarkan persentase jumlah daya angin yang dapat dikonversi oleh rotor menjadi daya listrik.

$$P_o = C_p \cdot P_w = \frac{1}{2} C_p \rho A v^3 \quad (2.5)$$

Dimana:

E : energi kinetik (N.m)

m : massa (kg)

V : volume (m³)

C_p : koefisien Daya

P_o : daya *output* turbin (V x I) (Watt)

P_w : daya angin (Watt)

v : kecepatan angin (m/s)

A : luas sapuan rotor turbin (H x D) (m²)

ρ : densitas udara (ρ rata-rata : 1,225 kg/m³)

Secara teoritis nilai *C_p* maksimum adalah 0,593 yang artinya hanya sekitar 60% saja daya angin yang dikonversi menjadi daya mekanik turbin. Angka ini disebut batas *Beltz (Betz Limit)*, diambil dari ilmuwan Jerman yang bernama Albert *Betz*, namun pada kenyataannya hanya berkisar antara 0,20 sampai dengan 0,30 (Harsanto, 2014).

2.1.2 Turbin Angin Savonius

Savonius adalah jenis turbin angin sumbu vertikal, yang diperkenalkan oleh ilmuwan Finlandia S. J Savonius pada tahun 1922. Turbin Savonius adalah salah satu turbin sederhana. Aerodinamis, merupakan perangkat dengan menggunakan gaya hambat (Rodriguez, 2010).

Savonius adalah tipe turbin vertikal yang memanfaatkan gaya *drag* (gaya hambat), jadi turbin ini tidak akan berputar lebih cepat dari kecepatan anginnya. Yang artinya, turbin ini hanya memiliki *tip speed ratio* (TSR) ≤ 1 , disamping itu efisiensinya juga sangat kecil jika dibandingkan dengan turbin vertikal tipe lain (Harsanto, 2014).

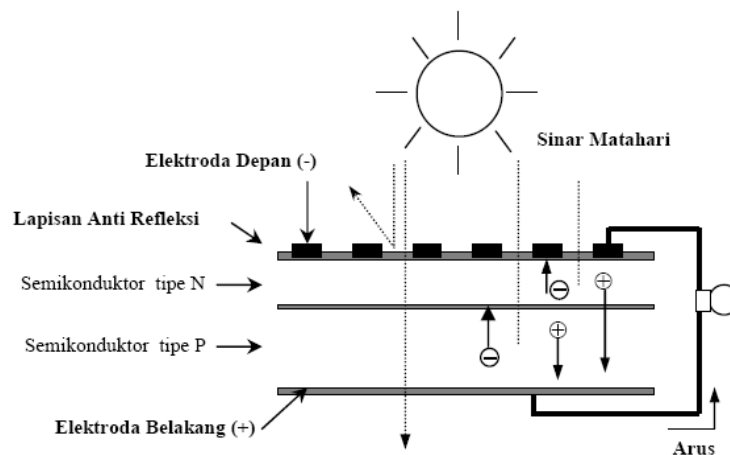
Ketika mempertimbangkan hanya pada torsi mula-mula bahwa pada kecepatan angin dengan arah tertentu, torsi mula-mula pada savonius bentuk standar akan sangat rendah sehingga rotor tidak dapat berputar sendiri. Hal inilah yang menjadi alasan mengapa banyak peneliti lebih memilih untuk membuat savonius dengan *double-stage rotor* (rotor dua tingkat) atau *triple-stage rotor* (rotor tiga tingkat), dimana bagian rotor atas dan bawah dibuat membentuk sudut 90° satu sama lain (untuk *double-stage*) dan masing-masing 120° untuk *triple-stage*. Savonius *double-stage* dan *triple-stage* dikatakan mampu sedikit lebih unggul jika dibandingkan dengan savonius *single-stage* dalam hal kemampuan berputar sendiri (*self-starting*), namun keduanya memiliki torsi dan koefisien daya yang lebih rendah (Mohamed, 2011).

2.2 Sel Surya

Sel surya atau yang disebut juga *photovoltaic* adalah piranti semikonduktor yang dapat mengubah energi matahari secara langsung menjadi energi listrik DC (arus searah) dengan menggunakan kristal Si (*silicon*) yang tipis. Modul surya adalah sejumlah sel surya yang dirangkai secara seri dan paralel, untuk meningkatkan tegangan dan arus yang dihasilkan sehingga cukup untuk pemakaian sistem catu daya

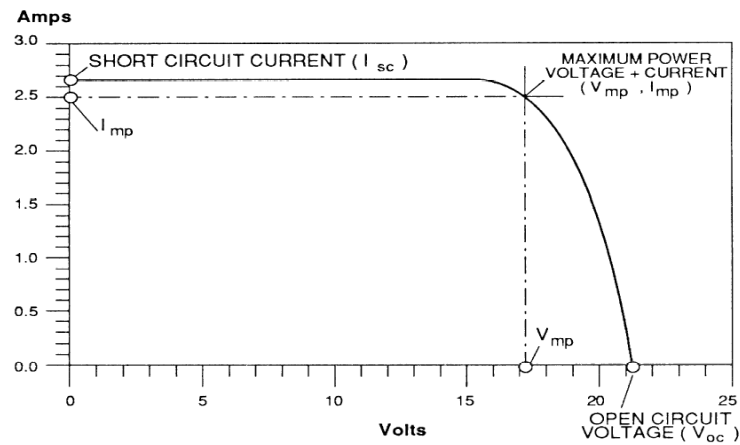
beban. Untuk mendapatkan keluaran energi listrik dengan arus searah (DC) yang maksimum, maka permukaan modul surya harus selalu mengarah ke matahari. Umumnya modul surya mempunyai sistem tegangan kerja 12 Volt dan 24 Volt, serta mempunyai daya yang bervariasi mulai dari 50 Wp sampai dengan 300 Wp.

Secara sederhana sel surya terdiri dari persambungan bahan semikonduktor bertipe p dan n (*p-n junction semiconductor*) yang jika terkena sinar matahari maka akan terjadi aliran elektron, aliran elektron inilah yang disebut sebagai aliran arus listrik. Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik ditunjukkan dalam gambar 2.5.



Gambar 2.5 Proses pengubahan energi matahari menjadi energi listrik pada sel surya (Yuwono, 2005)

Bagian utama pengubah energi sinar matahari menjadi listrik adalah penyerap (*absorber*), meskipun demikian masing-masing lapisan juga sangat berpengaruh terhadap efisiensi dari sel surya. Sinar matahari terdiri dari bermacam-macam jenis gelombang elektromagnetik, oleh karena itu penyerap disini diharapkan dapat menyerap sebanyak mungkin radiasi sinar yang berasal dari cahaya matahari.



Gambar 2.6 Grafik I-V Modul Surya (Yuwono, 2005)

Keadaan sebuah modul surya yang beroperasi secara normal dapat digambarkan dengan grafik I – V. Modul surya menghasilkan energi maksimum jika nilai V_{mp} dan I_{mp} juga maksimum. I_{sc} adalah arus listrik maksimum pada nilai volt = nol. I_{sc} berbanding langsung dengan ketersediaan sinar matahari. Sedangkan V_{oc} adalah volt maksimum pada nilai arus nol. V_{oc} naik secara logaritma dengan peningkatan sinar matahari, karakter ini yang memungkinkan sel surya untuk mengisi *accu*.

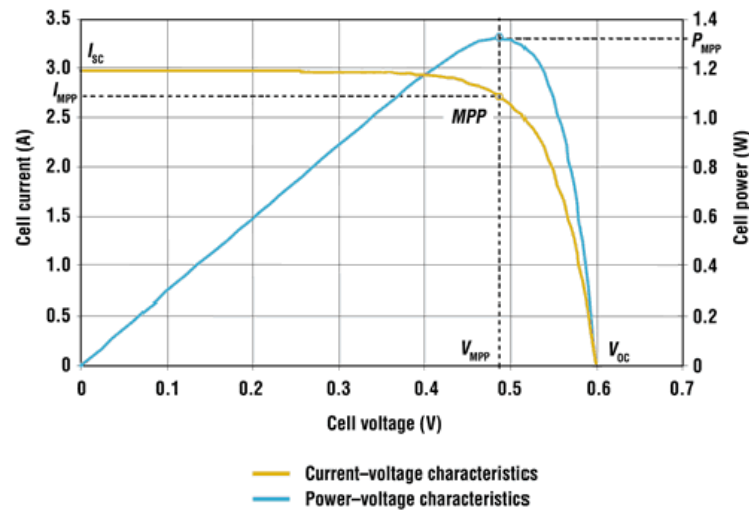
Semakin besar intensitas cahaya matahari yang jatuh dipermukaan modul surya akan semakin besar arus listrik yang dihasilkan, dengan kata lain intensitas cahaya matahari berbanding lurus dengan keluaran arus listrik. Sedangkan temperatur modul surya akan berbanding terbalik dengan keluaran tegangan yang dihasilkan, jadi semakin besar temperatur modul surya, tegangannya akan semakin menurun.

2.2.1 Karakteristik Sel Surya

Sel surya menghasilkan arus, dan arus ini beragam tergantung pada tegangan sel surya. Karakteristik tegangan-arus biasanya menunjukkan hubungan tersebut.

Ketika tegangan sel surya sama dengan nol atau digambarkan sebagai “sel surya hubung pendek”, “arus rangkaian pendek” atau I_{sc} (*short circuit current*), yang sebanding dengan irradiansi terhadap sel surya dapat diukur. Nilai I_{sc} naik dengan meningkatnya temperatur, meskipun temperatur standar yang tercatat untuk arus rangkaian pendek adalah 25°C. Jika arus sel surya sama dengan nol, sel surya tersebut digambarkan sebagai “rangkaiian terbuka”. Tegangan sel surya kemudian menjadi “tegangan rangkaian terbuka”, V_{oc} (*open circuit voltage*). Ketergantungan V_{oc} terhadap irradiansi bersifat logaritmis, dan penurunan yang lebih cepat disertai peningkatan temperatur melebihi kecepatan kenaikan I_{sc} . Oleh karena itu, daya maksimum sel surya dan efisiensi sel surya menurun dengan peningkatan temperatur. Pada kebanyakan sel surya, peningkatan temperatur dari 25°C mengakibatkan penurunan daya sekitar 10% (Yuwono, 2005).

Sel surya menghasilkan daya maksimumnya pada tegangan tertentu. Gambar 2.6 menunjukkan tegangan arus dan karakteristik tegangan-daya. Gambar ini juga menunjukkan dengan jelas bahwa kurva daya memiliki titik daya maksimum yang disebut MPP (*Maximum Power Point*).



Gambar 2.7 Grafik tegangan terhadap arus dan daya sebagai karakteristik sel surya (Yuwono, 2005)

Tegangan titik daya maksimum atau V_{MPP} biasanya kurang dari tegangan rangkaian terbuka dan arusnya, I_{MPP} lebih rendah dibandingkan dengan arus rangkaian pendek. Pada titik daya maksimum (MPP), arus dan tegangan memiliki hubungan yang sama dengan irradiansi dan temperatur sebagaimana arus rangkaian pendek dan tegangan rangkaian terbuka.

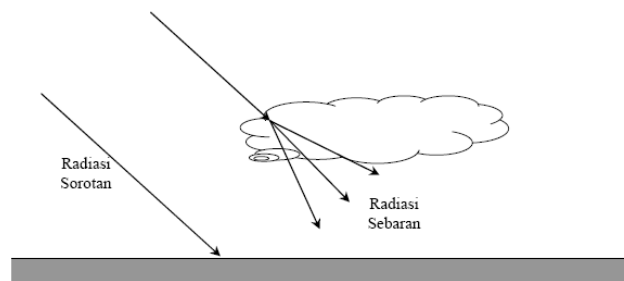
Efisiensi sel surya (η) adalah perbandingan antara daya listrik maksimum sel surya dengan daya pancaran (*radiant*) pada bidang sel surya.

$$\eta_{PV} = \frac{I_{mpp} \times V_{mpp}}{(Intensitas \ Cahaya)(Luas \ Panel)} \times 100\% \quad (2.6)$$

Sel surya kristal yang dijual pada saat ini bisa mencapai efisiensi sampai 20%, namun di laboratorium, efisiensi 25% bisa dicapai (Quaschnig, 2004)

2.2.2 Radiasi Harian Matahari

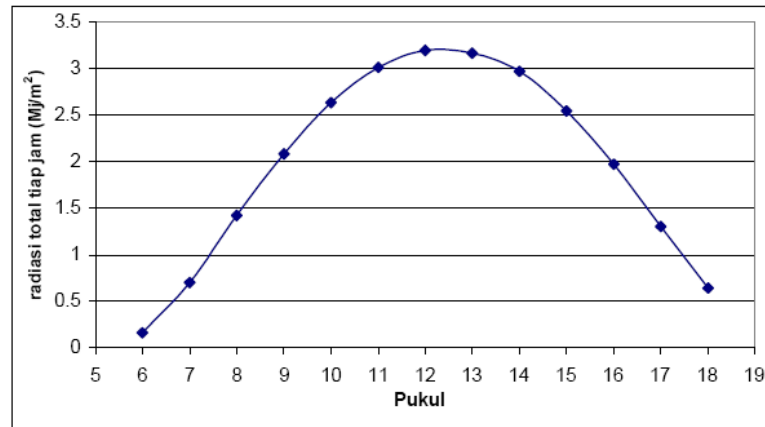
Radiasi matahari yang tersedia di luar atmosfer bumi atau sering disebut konstanta radiasi matahari sebesar 1353 W/m^2 dikurangi intensitasnya oleh penyerapan dan pemantulan oleh atmosfer sebelum mencapai permukaan bumi. Ozon di atmosfer menyerap radiasi dengan panjang-gelombang pendek (ultraviolet) sedangkan karbon dioksida dan uap air menyerap sebagian radiasi dengan panjanggelombang yang lebih panjang (inframerah). Selain pengurangan radiasi bumi yang langsung atau sorotan oleh penyerapan tersebut, masih ada radiasi yang dipancarkan oleh molekul-molekul gas, debu, dan uap air dalam atmosfer sebelum mencapai bumi yang disebut sebagai radiasi sebaran seperti terlihat pada gambar 2.7 (Yuwono, 2005). Dengan adanya faktor-faktor diatas menyebabkan radiasi yang diterima permukaan bumi



Gambar 2.8 Radiasi sorotan dan radiasi sebaran matahari yang mengenai permukaan bumi (Yuwono, 2005)

Dengan adanya faktor-faktor diatas menyebabkan radiasi yang diterima permukaan bumi memiliki intensitas yang berbeda-beda setiap saat. Besarnya radiasi harian yang diterima permukaan bumi ditunjukkan pada grafik gambar 2.8. Pada waktu pagi dan sore radiasi yang sampai permukaan bumi intensitasnya kecil. Hal ini disebabkan arah sinar matahari tidak tegak lurus dengan permukaan bumi

(membentuk sudut tertentu) sehingga sinar matahari mengalami peristiwa difusi oleh atmosfer bumi.



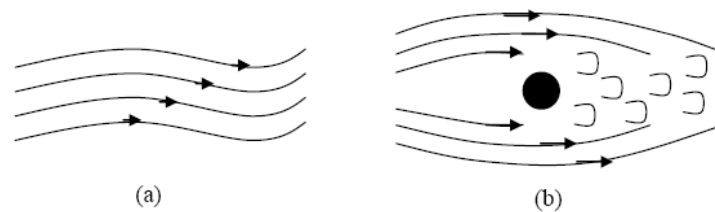
Gambar 2.9 Grafik besar radiasi harian matahari yang mengenai permukaan bumi (Yuwono, 2005)

2.3 Mekanika Fluida

Mekanika fluida merupakan cabang dari mekanika terapan yang berkenaan dengan tingkah laku fluida dalam keadaan diam dan bergerak. Fluida merupakan zat-zat yang mampu mengalir dan menyesuaikan diri dengan bentuk wadahnya. Fluida dapat digolongkan ke dalam cairan dan gas. Perbedaan-perbedaan utama diantara keduanya, yaitu: (1) cairan bersifat inkompresibel, dan gas bersifat kompresibel, (2) cairan mengisi volume tertentu, sedangkan gas dengan massa tertentu mengembang sampai mengisi seluruh bagian wadahnya.

Secara umum fluida dibedakan menjadi dua bagian, yaitu fluida statik dan fluida dinamik. Fluida statik menyelidiki fluida dalam keadaan diam dimana berat fluida merupakan satu-satunya sifat yang penting. Sedangkan fluida dinamik menyelidiki fluida dalam keadaan bergerak (aliran fluida). Terdapat tiga konsep

penting dalam fluida dinamik, yaitu: (1) prinsip kekentalan massa, menghasilkan persamaan kontinuitas, (2) prinsip energi kinetik, dan (3) prinsip momentum. Ada dua jenis aliran fluida yaitu aliran laminar dan aliran turbulen. Dalam aliran laminar partikel-partikel fluidanya bergerak di sepanjang lintasan-lintasan lurus dan tidak saling bersilangan. Sedangkan pada aliran turbulen partikel-partikel bergerak secara bebas kesemua arah (Harsanto, 2014).



Gambar 2.10 Aliran fluida : (a) Aliran Laminar, (b) Aliran Turbulen (Harsanto, 2014).

2.4 Sistem Hibrida Sel Surya – Turbin Angin

Hybrid system merupakan penggunaan 2 sistem atau lebih pembangkit listrik dengan sumber energi yang berbeda. Umumnya sistem pembangkit yang banyak digunakan untuk hybrid adalah genset, PLTS, mikrohidro, dan tenaga angin. Sistem ini merupakan salah satu alternatif sistem pembangkit yang tepat diaplikasikan pada daerah – daerah yang sukar dijangkau oleh sistem pembangkit besar seperti jaringan PLN atau Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD).

Dengan pemanfaatan teknologi berbasis hybrid ini tentu bisa meningkatkan produksi energi listrik dan akan menurunkan resiko kekurangan energi, sehingga dapat menghemat konsumsi bahan bakar dan mengurangi dampak lingkungan yang ditimbulkannya. Dimana teknologi hybrid ini adalah konsep penggabungan dua atau

lebih sumber energi untuk tercapainya sebuah efisiensi dalam berbagai hal dan tentunya tidak akan menimbulkan polusi dampak lingkungan yang berbahaya bagi masyarakat.

Menggabungkan sistem hibrida terbarukan dengan baterai sebagai sistem penyimpanan, untuk meningkatkan energi, akan memanfaatkan secara optimal sumber daya energi terbarukan yang tersedia dan akan dapat menjamin keandalan pasokan yang tinggi. Untuk menghadapi kondisi cuaca yang berbeda dan membuat sistem suplai permintaan beban pada kondisi terburuk, strategi ini membutuhkan kapasitas penyimpanan yang besar. Memilih ukuran yang sesuai dari sistem penyimpanan adalah untuk memaksimalkan penghematan bahan bakar (Salah, 2008).

Desain optimum sangat penting untuk sistem hibrida PV / angin, yang dapat menjamin baterai bekerja pada kondisi optimal. Dalam beberapa tahun terakhir, beberapa paket perangkat lunak komersial untuk simulasi tenaga angin, PV dan pembangkit sistem hibrida telah dikembangkan. Dengan menggunakan simulasi komputer, konfigurasi sistem yang optimal dapat ditemukan dengan membandingkan kinerja dan biaya produksi energi dari konfigurasi sistem yang berbeda. Untuk mensimulasikan operasi dari sistem energi terbarukan, banyak faktor yang perlu dipertimbangkan.

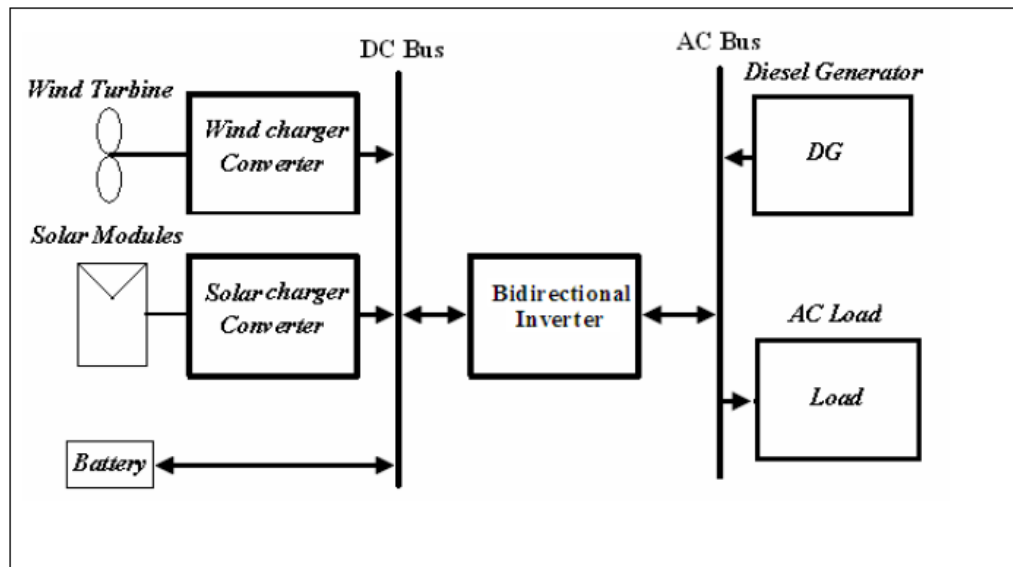
2.4..1 Manfaat Sistem Hibrida

Manfaat utama (keuntungan) dari sistem hibrida yaitu:

- a. Kemungkinan untuk menggabungkan dua atau lebih sumber energi terbarukan, berdasarkan potensi alam.

- b. Perlindungan lingkungan terutama dalam hal pengurangan emisi CO₂.
- c. Biaya rendah dari energi angin dan energi surya dapat bersaing dengan nuklir, batubara dan gas.
- d. Keanekaragaman dan keamanan pasokan.
- e. Bahan bakar berlimpah, bebas dan terbarukan (tidak akan habis).
- f. Biaya dapat diprediksi dan tidak dipengaruhi oleh fluktuasi harga bahan bakar meskipun fluktuasi harga baterai akan memengaruhi.

2.4.2 Diagram Blok Sistem Hibrida



Gambar 2.11 Diagram Blok Sistem Hibrida Turbin Angin dan Modul Surya (Salah, 2008)

Beberapa pendekatan yang digunakan untuk mencapai konfigurasi optimal dari sistem hybrid dalam hal teknis analisis. Di antara metode ini, metode *least-square* yang diterapkan oleh Kellogg et al. (1996) Gomma et al. (1995) dan Borowy dan Salameh (1994), metode *trade-off* oleh Gavanidou dan Bakirtzis (1993) dan Elhadidy dan Shaahid (1999) dan pendekatan teknis juga disebut hilangnya

probabilitas *power supply* (LPSP) oleh Yang Lu dan Burnett (2002), Abouzahr dan Ramakumar (1990, 1991) dan Hongxing et al. (2002) (Dias, 2007). Daya total, P_{tot} yang dihasilkan oleh turbin angin dan pembangkit PV dihitung sebagai berikut:

$$P_{tot} = P_{PV} + P_{WG} \quad (2.7)$$

P_{tot} = Daya Total Sistem Hibrida (Watt)

P_{PV} = Daya Keluaran Panel Surya (Watt)

P_{WG} = Daya Keluaran Turbin Angin (Watt)

2.5 Baterai *Rechargeable*

Baterai *rechargeable* adalah sebuah sumber tegangan yang memanfaatkan proses elektrokimia dalam menghasilkan tegangan dan bersifat reversible. Yang dimaksud dengan proses elektrokimia reversibel adalah di dalam baterai dapat berlangsung proses pengubahan kimia menjadi tenaga listrik, dan sebaliknya dari tenaga listrik menjadi tenaga kimia, yaitu pengisian kembali dengan cara regenerasi dari elektroda-elektroda yang dipakai dengan melewati arus listrik dalam arah (polaritas) yang berlawanan di dalam sel (Aslimeri, 2008). Tiap sel baterai *rechargeable* terdiri dari 3 komponen utama, yaitu elektroda positif, elektroda negatif, dan suatu larutan kimia. Karena dapat diisi kembali oleh arus listrik, maka baterai *rechargeable* juga disebut sel sekunder, sedangkan sel yang tidak dapat diisi ulang disebut sel primer.

Baterai merupakan kumpulan dari sel-sel elektrokimia (yaitu alat yang dapat mengubah energi kimia menjadi energi listrik atau sebaliknya) yang dihubungkan

secara seri. Sel baterai terdiri dari sepasang elektroda (pelat) terendam dalam larutan elektrolit yang menghasilkan arus listrik jika suatu rangkaian terpasang diantara keduanya. Arus yang terjadi disebabkan oleh reaksi kimia bolak-balik yang terjadi diantara elektroda larutan elektrolit. Secara sederhana dapat dikatakan bahwa baterai adalah seperti tangki penyimpanan untuk energi listrik. Perlu diingat bahwa, tidak mungkin untuk mengambil jumlah energi dari dalam baterai melebihi dari jumlah yang dimasukkan saat pengisian. Ketika baterai sedang diisi (*discharge*), energi listrik disimpan sebagai energi kimiawi dalam sel. Saat baterai digunakan atau saat baterai terhubung dengan beban, energi kimia yang tersimpan diambil dan diubah menjadi energi listrik.

Baterai yang digunakan pada sistem hibrida berfungsi sebagai komponen penyimpanan energi, pelengkap/suplemen modul pada saat kondisi berawan, menstabilkan tegangan saat beroperasi dengan beban, dan mensuplai arus besar (*high current*) ke beban atau inverter.

2.6 Referensi Penelitian Relevan

1. Design, testing and simulation of hybrid wind-solar energy systems

(Daniele Vitali. 2013. Doctoral School on Engineering Sciences, Università Politecnica Delle Marche)

Jurnal ini menunjukkan hasil penelitian yaitu sistem hibrida menggunakan desain turbin angin tipe *double-stage* savonius dan tipe *helical* savonius dengan panel surya yang dirancang pada sistem *street-lighting*. Prototipe yang dihasilkan dari penelitian ini terdiri dari salah satu yang pertama sistem penerangan jalan dengan

hibrida angin surya. Fitur inovatif utama adalah integrasi VAWT savonius rotor sepanjang struktur tiang lampu. Dua pilihan rotor savonius telah dirancang dan direalisasikan sesuai dengan tes angin terowongan optimasi geometri dan kecepatan nominal yang paling tepat dari rotasi untuk keamanan dan efisiensi. Dari penelitian ini diperoleh hasil bahwa dalam pengujian selama 1 tahun energi yang disimpan dapat mencapai 60%, dengan menggunakan generator *photovoltaic* (panel surya) efisiensinya dapat meningkat 15%.

2. Virtual Optimization of a Wireless, Solar PV/Wind Hybrid System Controller for Street-Lighting Applications based on Environmental Conditions in Greater Toronto Area

(S.E. Sadique, Ahad Ali, D. Wang. *Proceedings of the 2012 International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Istanbul, Turkey, July 3 – 6, 2012*)

Jurnal ini menunjukkan hasil penelitian yaitu sistem hibrida menggunakan desain turbin angin dan panel surya yang dirancang pada aplikasi *street-lighting*. Rancang bangun sistem hibrida ini terdiri dari tiga buah Panel PV, satu buah turbin angin dan empat buah baterai. Pada penelitian ini dilakukan variasi ketinggian turbin angin dan empat buah baterai. Pada penelitian ini dilakukan variasi ketinggian turbin angin yaitu 7.62 m dan 15 m. Penelitian ini menunjukkan bahwa kontribusi tenaga angin adalah 5% pada ketinggian 7.62 m dan 8% pada ketinggian 15 m dalam *capacity shortage* 0%, sedangkan dalam *capacity shortage* 5% kontribusi tenaga angin adalah 5% pada ketinggian 7.62 m dan 11% pada ketinggian 15 m. Namun sebagian besar daya yang disuplai dalam sistem ini sekitar 90% dari panel surya.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tujuan Penelitian

- 3.1.1 Membuat sebuah sistem hibrida turbin angin tipe *double-stage* savonius dan panel surya sederhana yang dapat memanfaatkan energi angin dan energi matahari untuk menghasilkan listrik dalam skala rendah.
- 3.1.2 Mempelajari proses pengisian baterai dari energi angin dan energi matahari yang dikonversi menjadi energi listrik.
- 3.1.3 Mengetahui daya keluaran (*output*), efisiensi dan proses pengisian ke baterai yang dihasilkan panel surya, turbin angin tipe *double-stage* savonius, dan sistem hibrida dari keduanya.
- 3.1.4 Memahami mekanisme kerja dari sistem hibrida turbin angin dan panel surya.

3.2 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Mekanik, Laboratorium Energi Fisika dan lantai 4 gedung FMIPA Universitas Negeri Jakarta dan waktu penelitian berlangsung dari bulan Januari 2015 hingga Juni 2015.

3.3 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode riset dan pengembangan. Dimana penelitian mengembangkan sistem hibrida turbin angin tipe *double-stage* savonius dan panel surya, dengan melihat pengaruh panel surya dan

turbin angin tipe *double-stage* savonius bekerja secara mandiri dan sistem hibrida keduanya. Kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi perancangan turbin angin vertikal tipe *double-stage* savonius, pembuatan turbin, *set up* panel surya dan turbin angin, dan pengambilan data.

3.4 Alat dan Bahan Penelitian

3.4.1 Alat Penelitian:

- | | |
|--------------------------|------------------------|
| 1. Anemometer | 8. Mesin gerinda |
| 2. Baterai / Accu | 9. Multimeter digital |
| 3. Blower | 10. Obeng |
| 4. Charge Controller | 11. Panel Surya |
| 5. Generator | 12. Tachometer Digital |
| 6. Kunci <i>ring</i> pas | 13. Tang |
| 7. Mesin bor | |

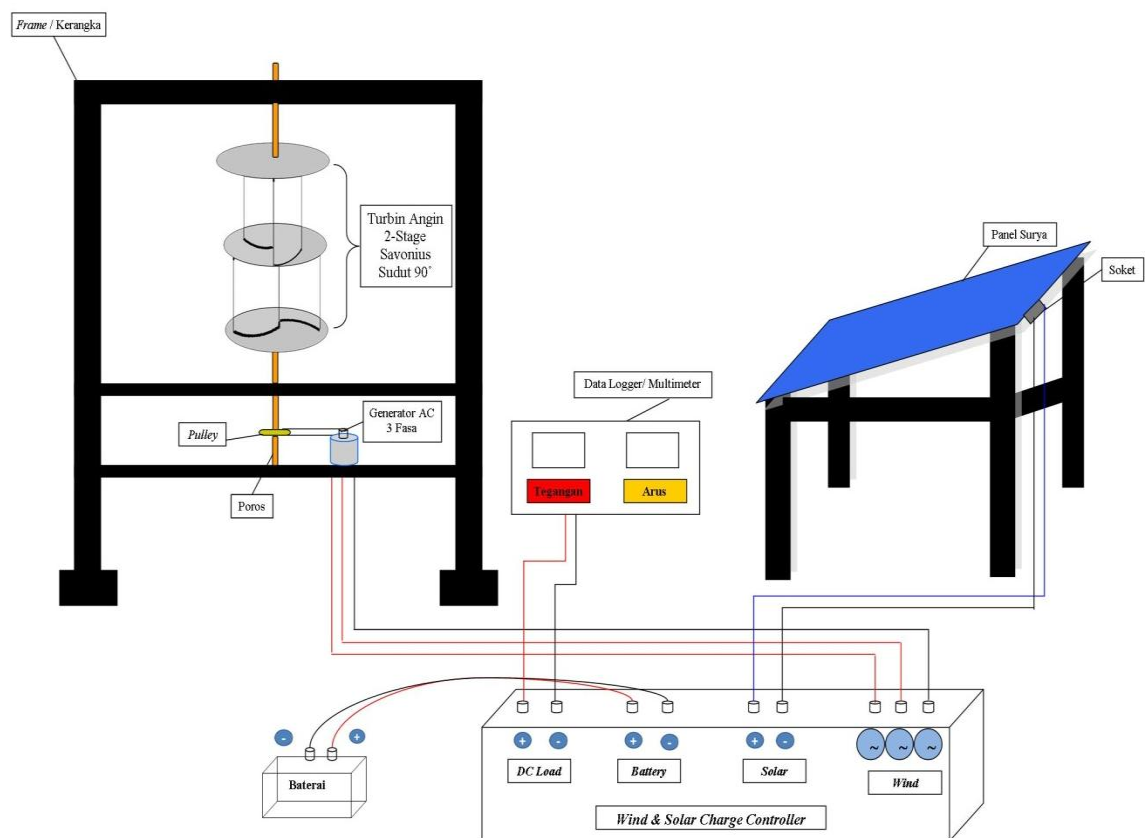
3.4.2 Bahan Penelitian:

- | | |
|-------------------|----------------------|
| 1. Acrylic | 6. Kabel capit buaya |
| 2. Baut ulir | 7. Mur |
| 3. <i>Bearing</i> | 8. Resistor |
| 4. Dioda | 9. <i>Ring</i> |
| 5. Kabel | |

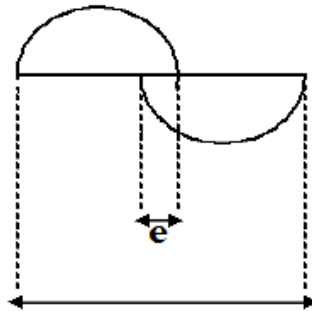
3.5 Prosedur Penelitian

3.5.1 Perancangan Turbin Angin dan Panel Surya

Pada penelitian turbin angin tipe savonius dirancang dengan rotor berbentuk S dan berjumlah dua step (90° antar step). Tinggi rotor 39 cm, diameter rotor 35 cm dan jarak antar celah rotor sebesar 3 cm. Sedangkan untuk panel surya dengan jenis *polycrystalline* dirancang berada di samping turbin angin dengan kerangka terpisah, dengan spesifikasi daya puncak (W_p) sebesar 50 W, tegangan *open circuit* (V_{oc}) sebesar 21.16 V dan arus *short circuit* (I_{sc}) sebesar 3.11 A . Berikut desain sistem hibrida turbin angin – panel surya:



Gambar 3.1 Desain Sistem Hibrida Turbin Angin – Panel Surya



Gambar 3.2 Desain Turbin Angin Tampak Atas

3.5.2 Pembuatan Turbin

Turbin angin tipe *double-stage* savonius dibuat berdasarkan desain turbin seperti pada gambar desain yang telah dibuat. Frame untuk turbin dibuat dengan menggunakan besi, sedangkan bahan untuk pembuatan rotor savonius adalah *acrylic*.

3.5.3 Set up Alat

Turbin angin dan panel surya ditempatkan pada lantai 4 gedung FMIPA UNJ untuk memperoleh sinar matahari dan angin secara langsung. Pada bagian ujung ulir dipasang sistem puli beserta generator AC 3 fasa untuk mengetahui tegangan dan arus listrik keluaran turbin. Multimeter pun dirangkai untuk memperoleh nilai tegangan dan kuat arus dari turbin. Kemudian pada panel surya diukur pula tegangan dan arus yang dihasilkan dengan menghubungkan multimeter digital pada kabel yang telah terhubung ke soket. Kemudian keduanya dihubungkan dengan *charge controller* dan baterai.

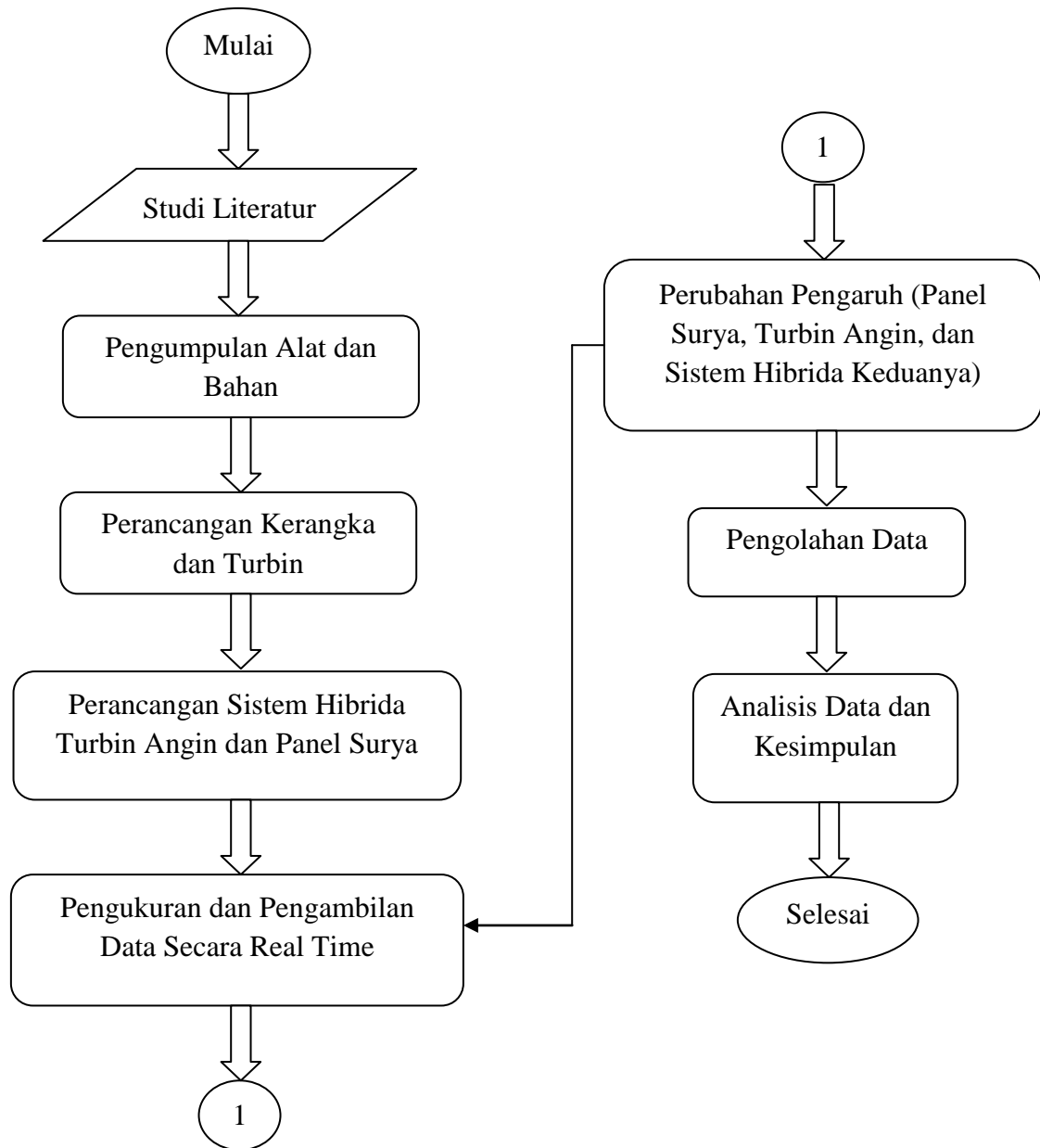
Kecepatan angin diambil dengan cara meletakkan digital anemometer di depan *wind tunnel* dengan jarak 0.5 meter (Haryo, 2014) dan tidak disertakan dengan

turbin angin. Data untuk kecepatan angin diambil dengan variasi tegangan input dari regulator waktu tiap 30 menit. Pengambilan data tegangan dan arus yang dihasilkan keduanya pun diambil tiap waktu 30 menit. Kemudian dilakukan pula pengujian pada skala laboratorium dengan menggunakan *blower* sebagai sumber angin untuk mengetahui nilai efisiensi yang dihasilkan turbin angin.

3.5.4 Pengambilan Data dan Pengujian

1. Menguji daya keluaran dan pengisian baterai dari panel surya.
2. Menguji daya keluaran dan pengisian baterai dari turbin angin.
3. Menguji daya keluaran dan pengisian baterai dari sistem hibrida turbin angin dan panel surya. Data RPM diambil dengan menggunakan tachometer digital laser, intensitas cahaya diukur dengan menggunakan luxmeter, tegangan dan kuat arus diukur dengan menggunakan multimeter digital.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 3.3 Diagram Alir Penelitian

BAB IV

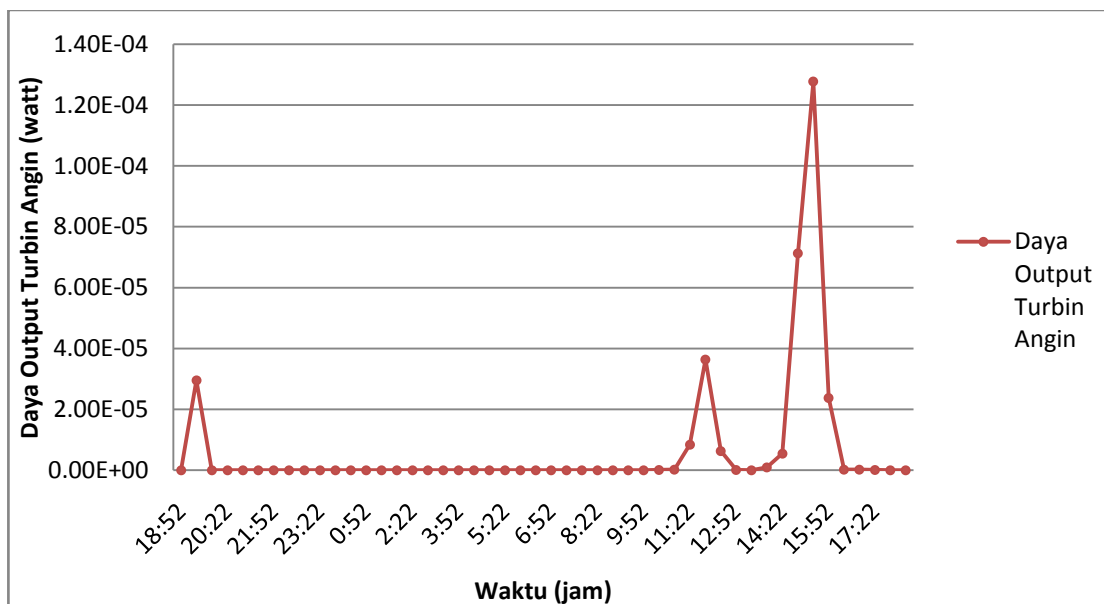
HASIL DAN PEMBAHASAN

Telah dikembangkan pembangkit listrik tenaga hibrid menggunakan turbin angin sumbu vertikal tipe *double-stage* savonius dan panel surya. Pegujian pada penelitian terdiri dari pengukuran kecepatan angin, kecepatan turbin, intensitas cahaya matahari, tegangan pada baterai, serta tegangan dan arus yang dihasilkan dari turbin angin, panel surya dan sistem hibrid keduanya. Pengujian dilakukan di lantai 4 gedung FMIPA UNJ. Pada pengujiannya *output* dari turbin angin dan panel surya dihubungkan dengan *charge controller*, dimana pada *charge controller* ini juga dihubungkan dengan baterai, kemudian dilakukan pengukuran secara manual menggunakan multimeter selama 24 jam. Kemudian dilakukan pengujian skala laboratorium di Laboratorium Mekanik Jurusan Fisika FMIPA UNJ untuk pengujian karakteristik turbin angin menggunakan *blower* sebagai sumber anginnya. Variasi kecepatan angin yang digunakan adalah dengan mengatur tegangan *input* dari *blower* menggunakan *voltage regulator*. Dengan variasi kecepatan angin ini kemudian diukur tegangan dan arus menggunakan multimeter serta putaran rotor yang dihasilkan turbin (RPM) menggunakan *digital tachometer non contact*. Kecepatan angin diukur menggunakan anemometer dan intensitas cahaya matahari diukur menggunakan luxmeter LX-1102.

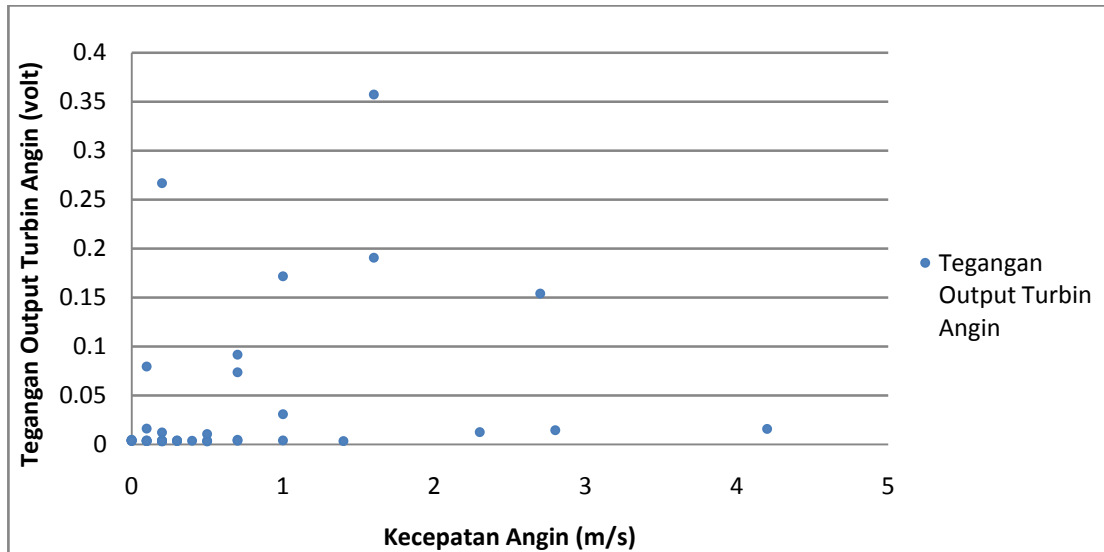
4.1 Pengambilan Data dan Analisa Pengujian Secara Langsung

4.1.1 Pengujian Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe *Double-Stage Savonius*

Pengukuran secara langsung pada turbin angin dilakukan dengan menggunakan angin alami. Pengukuran dilakukan selama 24 jam yang diambil tiap satu menit dan dirata-ratakan tiap 30 menit. Pengukuran dilakukan pada tanggal 15 April 2015 pukul 18.22 WIB sampai dengan 16 April 2015 pukul 18.22 WIB. Generator yang digunakan pada pengujian merupakan generator AC 3 fasa dengan spesifikasi daya maksimum 200 W, tegangan maksimum 220 V, dan putaran maksimum 3000 RPM. *Charge controller* yang digunakan memiliki spesifikasi daya maksimum 300 W dan tegangan maksimum 24 V, sedangkan baterai yang digunakan memiliki spesifikasi 12 V 35 AH.



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Daya Output Turbin Angin terhadap Waktu

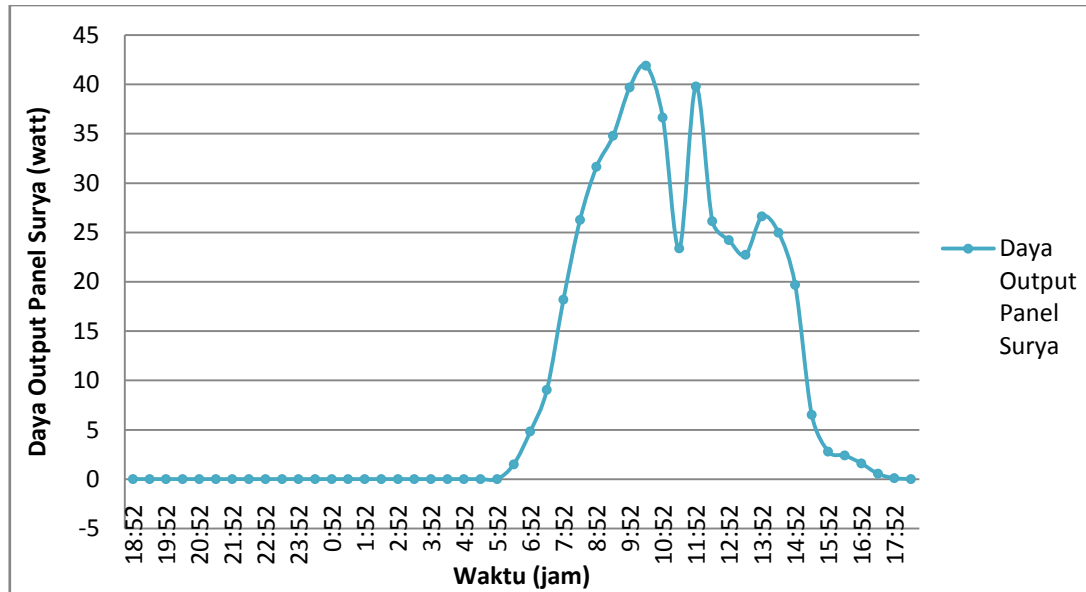


Gambar 4.2 Grafik Hubungan Tegangan Output Turbin Angin terhadap Kecepatan Angin

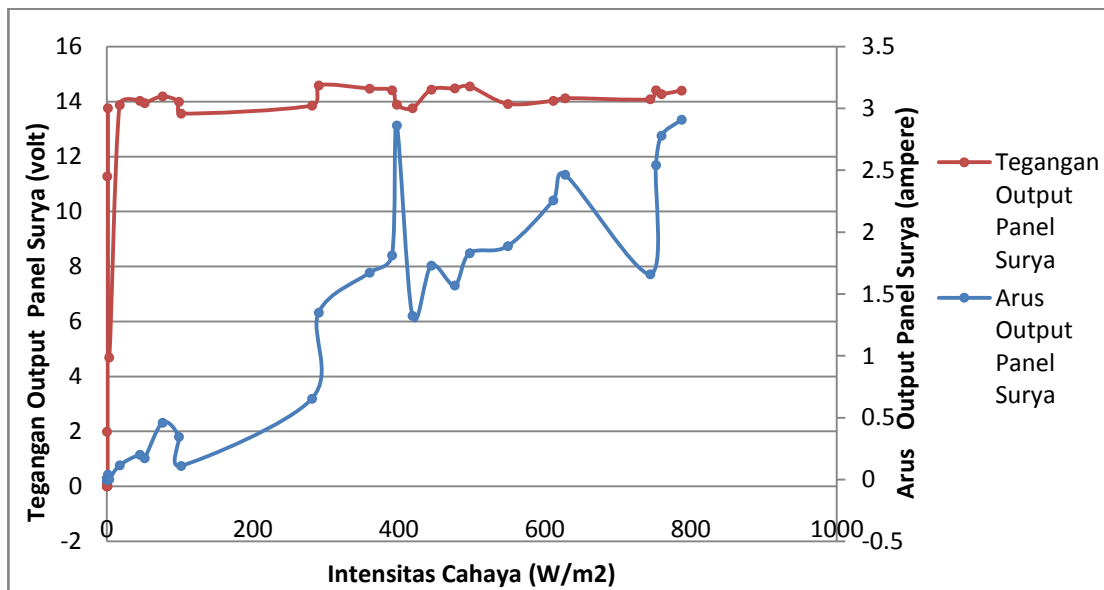
Gambar 4.1 merupakan grafik hubungan daya *output* turbin angin terhadap waktu, dari grafik menunjukkan bahwa daya *output* yang dihasilkan turbin angin fluktuatif. Hal ini disebabkan oleh kecepatan angin fluktuatif sehingga kecepatan putar turbin tidak konstan. Kecepatan putar turbin yang tidak konstan menyebabkan perubahan tegangan dan arus yang dihasilkan tiap menit selalu berubah. Daya *output* maksimal yang dihasilkan sebesar 0.1277 mW pada pukul 15.22 WIB.

Kecepatan angin yang fluktuatif menyebabkan tegangan yang dihasilkan turbin juga relatif berubah, seperti gambar 4.2. Kecepatan angin memengaruhi kecepatan putar turbin, hal ini dikarenakan perubahan aliran angin menyebabkan energi yang ada tidak menghasilkan putaran yang optimal karena selalu berada pada margin *start-up* rotor. Perubahan kecepatan angin yang berubah per sekian detik akan sulit untuk membuat kecepatan putar turbin menjadi konstan, sehingga tegangan yang terukur bukan tegangan sebenarnya pada kondisi kecepatan angin tersebut.

4.1.2 Pengujian Panel Surya



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Daya Output Panel Surya terhadap Waktu



Gambar 4.4 Grafik Hubungan Tegangan dan Arus Output Panel Surya terhadap Intensitas Cahaya

Pengukuran *output* panel surya dilakukan selama 24 jam yang diambil tiap satu menit dan dirata-ratakan tiap 30 menit. Pengukuran dilakukan pada tanggal 20

April 2015 pukul 08.00 WIB sampai dengan 21 April 2015 pukul 08.00 WIB. Gambar 4.3 merupakan grafik hubungan daya *output* panel surya terhadap waktu, dari grafik dapat dilihat pada pukul 6.22 – 17.22 WIB daya *output* panel surya yang dihasilkan mengalami peningkatan, hal ini sesuai dengan intensitas cahaya yang diterima oleh panel surya. Namun pada pukul 11.22 WIB mengalami penurunan daya, hal ini dikarenakan adanya faktor bayangan (*shading*) dapat memengaruhi intensitas yang dihasilkan karena bayangan dapat menutupi cahaya matahari yang dipancarkan, faktor bayangan ini dapat berupa awan yang bergerak. Daya *output* maksimum yang dihasilkan panel surya adalah sebesar 41,91 Watt dengan tegangan 14,402 Volt dan arus 2,91 Ampere pada intensitas cahaya $787,235 \text{ W/m}^2$.

Daya *output* panel surya dipengaruhi oleh tegangan dan arus yang dihasilkan, untuk arus yang dihasilkan panel surya berubah-ubah hal ini dikarenakan intensitas cahaya sangat berpengaruh terhadap arus yang dihasilkan. Seperti yang telah disebutkan bahwa semakin besar intensitas cahaya matahari yang jatuh dipermukaan modul surya akan semakin besar arus listrik yang dihasilkan, dengan kata lain intensitas cahaya matahari berbanding lurus dengan keluaran arus listrik. Sedangkan tegangan yang dihasilkan panel surya mengalami peningkatan sesuai dengan waktu. Namun tegangan yang dihasilkan pada siang hari relatif konstan, hal ini dikarenakan intensitas cahaya matahari tidak terlalu berpengaruh terhadap tegangan yang dihasilkan, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.4.

Dari pengujian panel surya diatas, dapat ditentukan efisiensi panel surya (η) sebagai berikut:

$$P_{out\ max} = V_{out\ max} \cdot I_{out\ max} = 14,588 \cdot 2,91 = 41,90982\ \text{Watt}$$

$$P_{in} = \text{Intensitas Cahaya} \times \text{Luas Panel} = 787,235 \times 0,4087 = 321,7429\ \text{Watt}$$

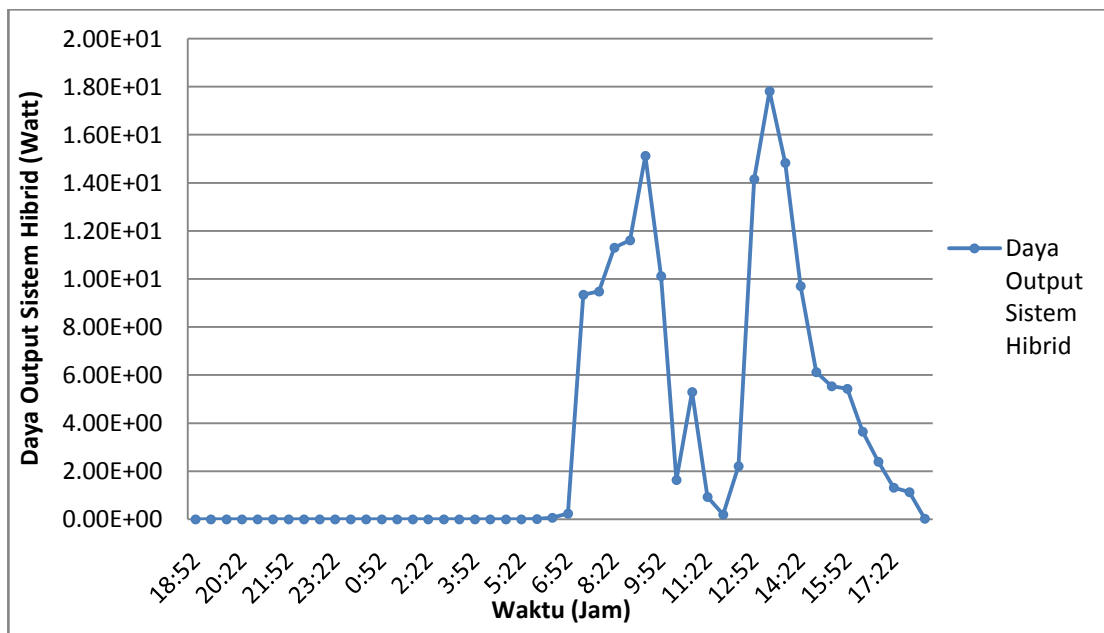
maka, efisiensi panel surya:

$$\eta_{panel\ surya} = \frac{V_{mpp} \times I_{mpp}}{\text{Intensitas Cahaya} \times \text{Luas Panel}} \times 100\% = \frac{P_{out\ max}}{P_{in\ max}} \times 100\%$$

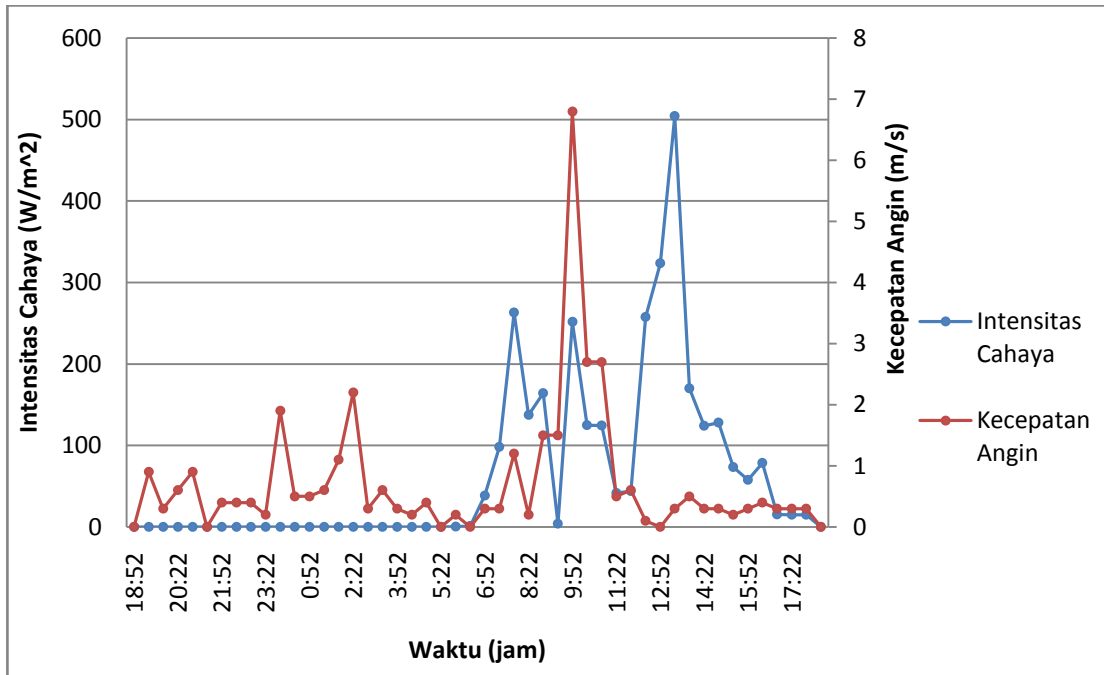
$$= \frac{41,909}{321,7429} \times 100\% = 13.0258\%$$

4.1.3 Pengujian Sistem Hibrid Turbin Angin dan Panel Surya

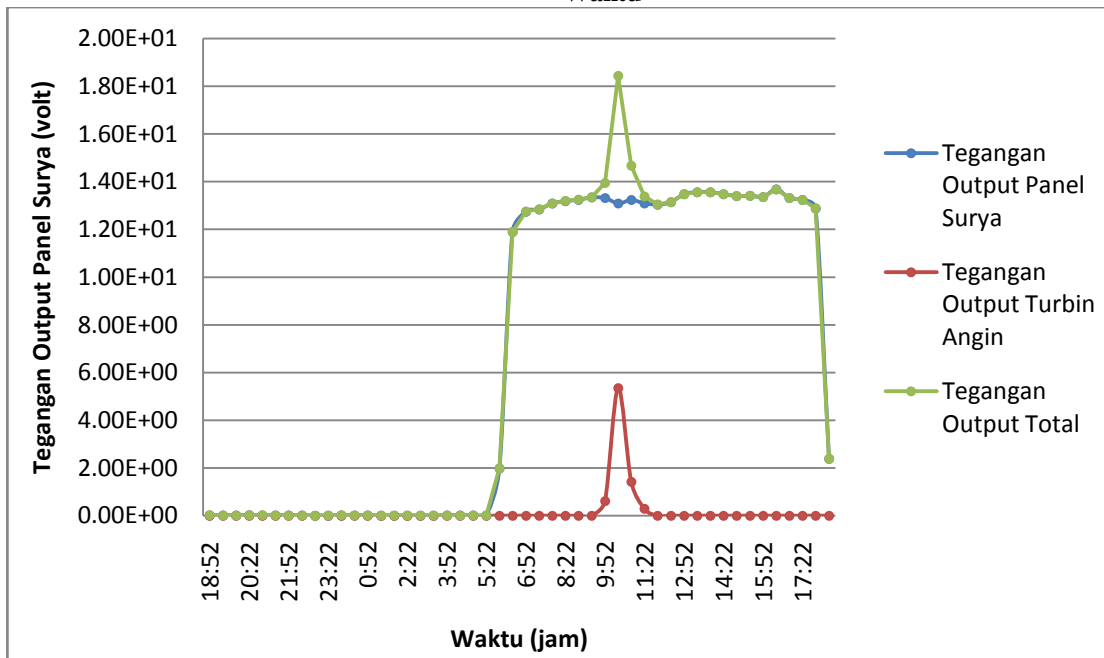
Pengukuran sistem hibrid turbin angin dan panel surya dilakukan selama 24 jam yang diambil tiap satu menit dan dirata-ratakan tiap 30 menit. Pengukuran dilakukan pada tanggal 16 April 2015 pukul 18.22 WIB sampai dengan 17 April 2015 pukul 18.22 WIB.



Gambar 4.5 Grafik Hubungan Daya Output Sistem Hibrid terhadap Waktu



Gambar 4.6 Grafik Hubungan Intensitas Cahaya dan Kecepatan Angin terhadap Waktu



Gambar 4.7 Grafik Hubungan Tegangan Output Total, Panel Surya, dan Turbin Angin terhadap Waktu

Gambar 4.5 merupakan grafik hubungan daya output sistem hibrid turbin angin dan panel surya terhadap waktu, dari grafik dapat dilihat bahwa daya yang dihasilkan sistem hibrid efektif pada pukul 7.22 – 17.52 WIB, hal ini dikarenakan intensitas matahari dan kecepatan angin efektif pada waktu tersebut. Hasil yang diharapkan pada sistem hibrid ini adalah ketika intensitas matahari rendah atau nol maka turbin angin akan bekerja, namun dikarenakan ada beberapa kendala selama penelitian seperti cuaca yang menyebabkan kecepatan angin pada malam hari rendah, sehingga turbin angin tidak dapat bekerja secara efektif pada malam hari.

Pada pukul 10.22 – 11.52 WIB terjadi penurunan daya yang cukup signifikan, hal ini dipengaruhi oleh intensitas cahaya dan kecepatan angin yang juga menurun pada saat tersebut, seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.6. Daya maksimum yang dihasilkan oleh sistem hibrid sebesar 17,81 Watt pada pukul 13.22 WIB. Pada penelitian ini tidak pernah dihasilkan daya maksimum dari turbin angin dan modul surya secara bersamaan, hal ini dikarenakan kecepatan angin dan intensitas cahaya matahari yang maksimum tidak pernah terjadi secara bersamaan. Ketika intensitas matahari tinggi, maka kecepatan angin cenderung rendah, begitu pula sebaliknya, ketika kecepatan angin tinggi, intensitas matahari cenderung rendah dan cuaca mendekati hujan.

Grafik 4.7 merupakan grafik hubungan tegangan output total, panel surya dan turbin angin terhadap waktu, dari grafik dapat disimpulkan bahwa tegangan maksimum yang diperoleh dari superposisi tegangan adalah 18,43 V pada pukul 10.22 WIB.

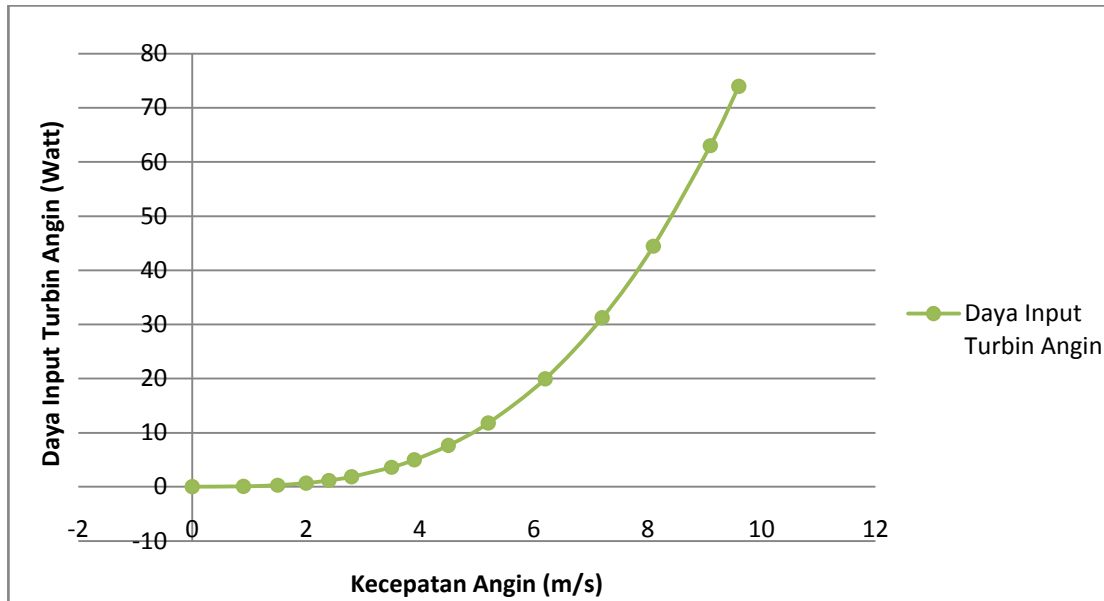
4.2 Pengujian Skala Laboratorium

4.2.1 Pengujian Daya *Input* terhadap Kecepatan Angin

Kecepatan angin diukur menggunakan anemometer yang diletakkan pada statif agar posisinya konstan dan dilakukan dengan tidak menyertakan turbin, hal ini bertujuan untuk mengetahui kecepatan awal angin sebelum menumbuk turbin. Apabila pengukuran kecepatan angin dilakukan bersamaan dengan pengukuran kecepatan putar turbin, hasil pengukuran akan sedikit berbeda karena turbin akan mempengaruhi kecepatan angin yang terukur pada anemometer.

Variasi kecepatan angin yang dilakukan ialah dengan mengatur tegangan *input* dari *blower* menggunakan *voltage regulator*. Variasi tegangan *input* yang diberikan ke *blower* dimulai dari 0 V dengan kenaikan setiap 10 V dan dibatasi hingga 210 V. *Blower* mulai berputar dan menghasilkan angin ketika tegangan *input* yang diberikan sebesar 80 V, dan pada saat inilah terukur kecepatan angin minimum sebesar 0,9 m/s. Sedangkan ketika tegangan *input* pada *voltage regulator* dinaikkan hingga 210 V, diperoleh kecepatan angin maksimum yang besarnya 9,6 m/s, dan turbin mulai berputar dan menghasilkan daya pada kecepatan angin 4,5 m/s.

Setelah mendapatkan hasil pengukuran kecepatan angin, kemudian dapat dihitung besar daya *input* yang dihasilkan oleh angin. Pada perhitungan ini, hasil yang diperoleh merupakan daya *input* maksimum yang mampu dihasilkan turbin dengan mengabaikan banyak faktor seperti getaran, massa turbin maupun efisiensi dari generator.



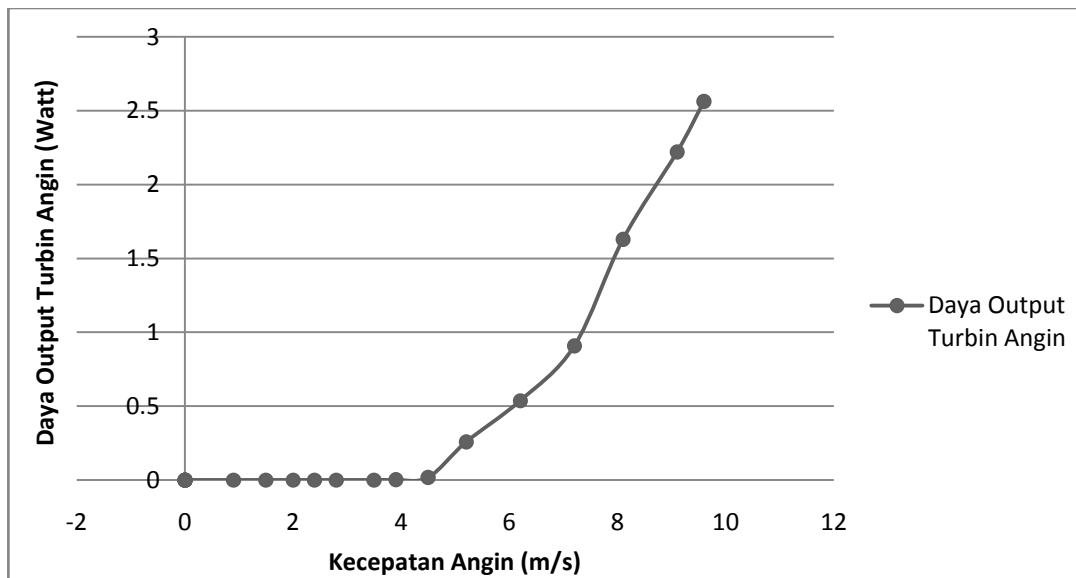
Gambar 4.8 Grafik Hubungan Daya Input Turbin Angin terhadap Kecepatan Angin

Gambar 4.8 merupakan grafik hubungan daya *input* yang diterima turbin terhadap kecepatan angin, dari grafik dapat disimpulkan bahwa besarnya daya *input* yang dihasilkan akan meningkat seiring bertambahnya kecepatan angin yang diberikan. Semakin besar kecepatan angin maka akan semakin besar pula gaya dorong yang diterima turbin sehingga daya *input* pun juga semakin besar nilainya. Hal tersebut sesuai dengan persamaan (2.5) bahwa daya *input* yang dihasilkan angin akan berbanding lurus dengan pangkat 3 kecepatan angin.

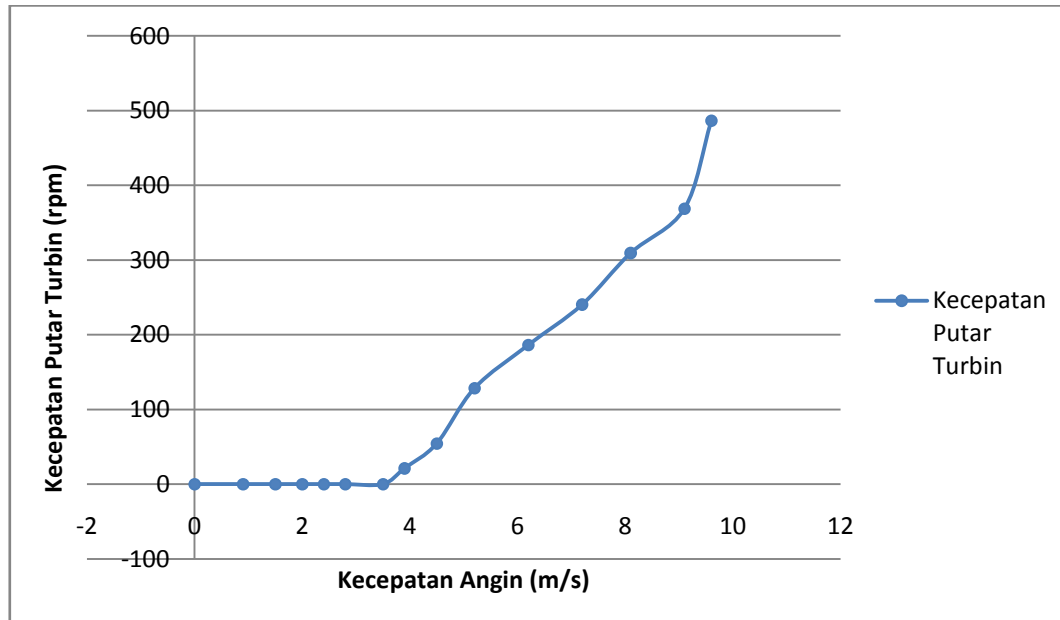
4.2.2 Hasil Pengujian dan Analisa Data

Pada pengujiannya turbin diletakkan tepat diposisi peletakkan anemometer tanpa menyertakan anemometer kembali. Hal ini bertujuan agar angin yang diterima oleh turbin akan sama besarnya dengan angin yang terukur oleh anemometer pada pengukuran sebelumnya. Pengukuran yang dilakukan yaitu dengan variasi tegangan

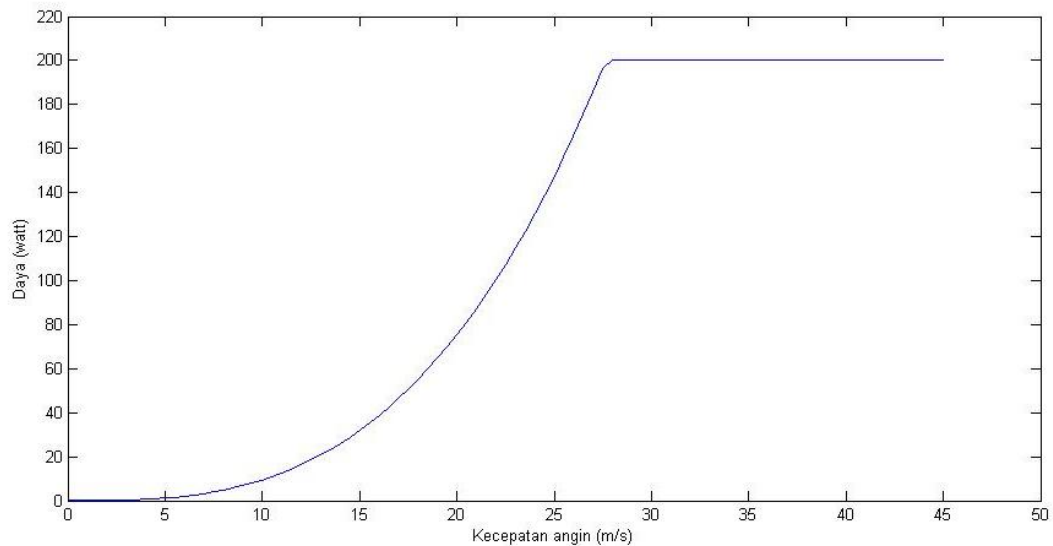
input pada *blower* yang sesuai dengan pengukuran kecepatan angin sebelumnya dan menggunakan resistor 220 ohm, kemudian dilakukan pengambilan data untuk kecepatan putar turbin (RPM), tegangan dan arus yang dihasilkan oleh turbin. Pengukuran putaran turbin (RPM) menggunakan *tachometer* digital. Sedangkan untuk pengukuran daya *output* dilakukan dengan mengukur tegangan dan arus yang dihasilkan oleh generator menggunakan multimeter.



Gambar 4.9 Grafik Hubungan Daya Output Turbin Angin terhadap Kecepatan Angin



Gambar 4.10 Grafik Hubungan Kecepatan Putar Turbin terhadap Kecepatan Angin



Gambar 4.11 Grafik Hubungan Daya Output Turbin Angin (Berdasarkan Simulasi) terhadap Kecepatan Angin

Gambar 4.9 merupakan grafik hubungan daya output yang dihasilkan turbin angin terhadap kecepatan angin, daya output maksimum yang dihasilkan turbin angin yaitu sebesar 2,5635 Watt dengan tegangan sebesar 25,98 V dan arus sebesar 0,09867

A dan *cut in* pada kecepatan angin 4,5 m/s. Dari grafik dapat disimpulkan bahwa daya output turbin angin berbanding lurus dengan kecepatan angin. Semakin meningkatnya kecepatan angin, maka kecepatan putar turbin juga semakin meningkat, seperti pada gambar 4.10. Aliran udara yang diberikan akan memenuhi luas sapuan rotor pada turbin dan terjadi gaya dorong yang membuat turbin dapat berputar. Sehingga output yang dihasilkan dari turbin angin juga semakin meningkat. Selain itu, pada grafik 4.11 menunjukkan bahwa turbin angin memiliki kecepatan *cut-in* pada kecepatan angin 4,5 m/s, dan kecepatan *rate-output* pada kecepatan angin 27 m/s. Pada kecepatan *cut-in* turbin mulai berputar dan menghasilkan daya listrik, sedangkan kecepatan *rate-output* merupakan kecepatan angin dimana generator turbin angin mengalami batas maksimum daya *output* yang dihasilkan (*rate-output power*). Pada kondisi ini walaupun kecepatan angin semakin meningkat dan kecepatan putar turbin semakin meningkat, daya *output* yang dihasilkan akan konstan pada daya maksimum yang dihasilkan yaitu 200 W.

4.2.3 Analisis Transmisi Daya Mekanik

Dalam perancangannya, generator yang digunakan pada sistem ini adalah generator AC yang dihubungkan dengan sistem *pulley* dan *belt*. *Pulley* berfungsi untuk menaikkan putaran sehingga putaran generator sesuai dengan putaran daerah kerjanya. Pada perancangan turbin ini, daya mekanik turbin yang disalurkan secara satu tahap, transmisi daya yang digunakan dengan *pulley* yang terpasang pada poros turbin dan poros generator dengan masing-masing diameter 14 cm dan 5,7 cm.

Penyaluran daya hasil putaran dari turbin tersebut mampu menaikkan kecepatan putar hingga 2,4561 kali pada poros generator.

4.2.4 Efisiensi Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe *Double-Stage Savonius*

$$P_{in \max} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_{\text{angin}}^3$$

$$= (1/2) \cdot (1,225 \text{ kg/m}^3) \cdot (0,1365 \text{ m}^2) \cdot (9,6)^3 = 73,9695 \text{ Watt}$$

Hasil diatas adalah besar daya *input* maksimum yang dihasilkan oleh besarnya kecepatan angin dengan mengabaikan banyak faktor. Karena pada pengujian ini generator yang digunakan adalah generator AC maka ada faktor efisiensi generator yang tidak bisa diabaikan, sehingga besarnya daya yang diserap turbin harus dibagi dengan besarnya efisiensi dari generator tersebut (Lampiran terlampir).

Dari besar tegangan dan putaran turbin (RPM) yang didapat, maka dapat diperoleh besar efisiensi generator yang digunakan sesuai dengan spesifikasi maksimumnya yaitu 220 V_{AC} dengan 3000 RPM.

$$P_{out \max} = V \cdot I = 25,98 \times 0,09867 = 2,563525 \text{ Watt}$$

RPM tersebut merupakan putaran yang terukur pada *pulley* poros turbin, maka RPM pada *pulley* generator harus dikalikan dengan faktor perbandingan diameter pada keduanya.

$$RPM_{\text{gen}} = 486,31 \cdot (14/5,7) = 1194,446$$

Sehingga, tegangan optimal generator:

$$V_{opt} = \frac{RPM_{\text{gen}}}{RPM_{\text{gen max}}} \times 220 \text{ V} = \frac{1194,446}{3000} \times 220 \text{ V} = 87,5926 \text{ V}$$

Dan efisiensi generator,

$$\eta_{gen} = \frac{V_{out}}{V_{opt}} = \frac{25,98 V}{87,5926 V} = 0,2966$$

Dari perhitungan tersebut maka dapat dicari besarnya efisiensi yang dihasilkan turbin dengan menghitung nilai C_p .

$$C_p = \frac{P_{out}}{P_{in\ max} \times \eta_{gen}} = \frac{2,563525\ W}{(73,9695\ W \times 0,2966)} = 0,1168$$

Sehingga, efisiensi dari turbin menjadi

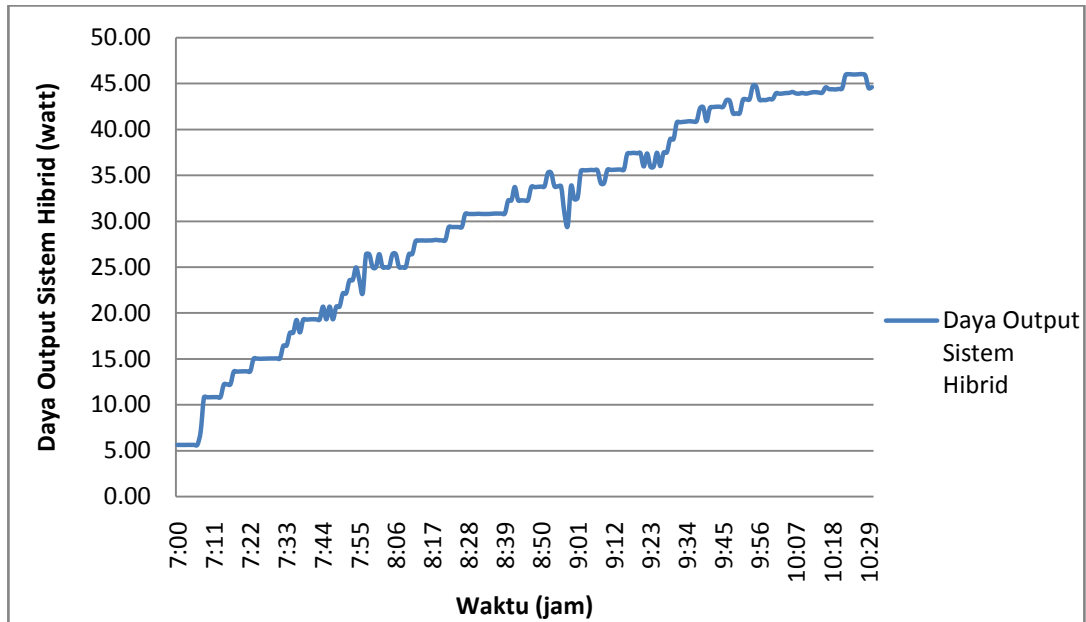
$$\eta_{sistem} = C_p \cdot 100\% = 0,1168 \cdot 100\% = 11,68\ \%$$

Pada penelitian Tedy Harsanto (2014), hasil yang diperoleh dalam pengujian dengan menggunakan *wind tunnel* menghasilkan daya *output* dan efisiensi lebih tinggi dibandingkan tanpa menggunakan *wind tunnel*. Efisiensi yang diperoleh dari pengujian tersebut sebesar 0,4%.

4.3 Potensi Sistem Hibrida Turbin Angin Tipe *Double-Stage Savonius* dan Panel

Surya

Potensi sistem hibrida yang dapat dihasilkan dengan turbin angin tipe *double-stage savonius* dan panel surya dengan pengujian menggunakan *blower* sebagai sumber angin dan sumber cahaya menggunakan matahari secara langsung adalah sebagai berikut:



Gambar 4.12 Grafik Hubungan Daya Output Sistem Hibrida terhadap Waktu

Gambar 4.12 merupakan grafik hubungan daya output sistem hibrida terhadap waktu dengan pengujian sistem hibrida turbin angin dan panel surya dibatasi hanya pada kondisi optimal panel surya dan turbin angin. Pengambilan data dilakukan pada pukul 07.00-10.30 WIB dan kecepatan angin 0,9 - 9,6 m/s. Berdasarkan persamaan (2.7), maka daya *output* maksimal yang dihasilkan sistem hibrida adalah sebesar 46,03 Watt dengan daya *output* panel surya sebesar 43,44 Watt dan daya *output* turbin angin sebesar 2,59 Watt. Daya output maksimal dihasilkan dengan intensitas cahaya sebesar 787,235 W/m² dan kecepatan angin sebesar 9,6 m/s. Efisiensi sistem hibrida yang dihasilkan adalah

$$\begin{aligned}
 P_{\text{in max turbin}} &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_{\text{angin}}^3 \\
 &= (\frac{1}{2}) \cdot (1,225 \text{ kg/m}^3) \cdot (0,1365 \text{ m}^2) \cdot (9,6)^3 = 73,9695 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

$$P_{\text{out max turbin}} = V \cdot I = 26,08 \times 0,0994 = 2,59 \text{ Watt}$$

$$P_{in \max \text{ panel}} = \text{Intensitas Cahaya} \times \text{Luas Panel} = 787,235 \times 0,4087 = 321,74 \text{ Watt}$$

$$P_{out \max \text{ panel}} = V_{out \max} \times I_{out \max} = 14,48 \times 3 = 43,44 \text{ Watt}$$

Maka,

$$P_{in \text{ total}} = P_{in \max \text{ turbin}} + P_{in \max \text{ panel}} = 73,9695 + 321,74 = 395,71 \text{ Watt}$$

$$P_{out \text{ total}} = P_{out \max \text{ turbin}} + P_{out \max \text{ panel}} = 2,59 + 43,44 = 46,03 \text{ Watt}$$

$$RPM_{gen} = 486,31 \cdot (14/5,7) = 1194,446$$

Sehingga, tegangan optimal seharusnya yang didapat generator:

$$V_{opt} = \frac{RPM_{gen}}{RPM_{gen \max}} \times 220 \text{ V} = \frac{1194,446}{3000} \times 220 \text{ V} = 87,5926 \text{ V}$$

Dan efisiensi generator,

$$\eta_{gen} = \frac{V_{out}}{V_{opt}} = \frac{40,56 \text{ V}}{87,5926 \text{ V}} = 0,463$$

Dari perhitungan tersebut maka dapat dicari besarnya efisiensi yang dihasilkan dengan menghitung nilai C_p .

$$C_p = \frac{P_{out}}{P_{in \max} \times \eta_{gen}} = \frac{46,03 \text{ W}}{(395,71 \text{ W} \times 0,463)} = 0,2512$$

Sehingga, efisiensi sistem hibrida menjadi:

$$\eta_{sistem} = C_p \cdot 100\% = 0,2512 \cdot 100\% = 25,12 \%$$

Pada penelitian Daniele Vitali (2013), hasil yang diperoleh dalam pengujian selama 1 tahun energi yang disimpan dapat mencapai 60%, dengan menggunakan generator *photovoltaic* (panel surya) efisiensinya dapat meningkat 15%. Dengan kata

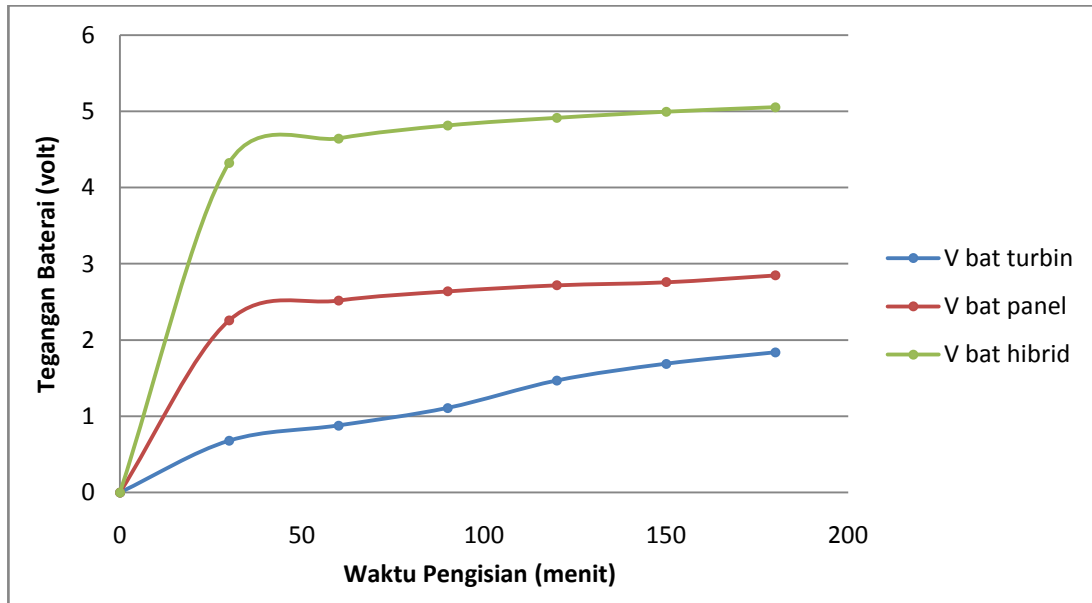
lain, efisiensi yang dihasilkan dari sistem hibrida turbin angin dan panel surya selama 1 tahun sebesar 75%.

4.4 Pengujian Pengisian Baterai

Dari tegangan dan arus yang dihasilkan oleh sistem, selanjutnya dilakukan pengujian dalam proses pengisian (*charging*) baterai. Baterai yang digunakan adalah baterai *rechargeable* berkapasitas 12V 35Ah sebanyak 1 buah. Pengujian ini dilakukan hanya pada kecepatan angin dan intensitas cahaya maksimum, karena pada saat tersebut daya dan efisiensi yang dihasilkan maksimum. Sebelum melakukan proses *charging*, baterai dikosongkan terlebih dahulu dengan cara memberi beban. Agar lebih efektif, lama proses *charging* dibatasi yaitu selama 180 menit untuk setiap variasi pembanding. Pada setiap 30 menit dilakukan pengukuran tegangan pada baterai, sehingga dapat diketahui perkembangan dalam proses *charging*. Berikut adalah tabel hasil proses *charging*.

Tabel 4.1 Tegangan Pada Baterai Ketika Proses Pengisian

Waktu (menit)	Dengan Turbin Angin Tegangan Baterai (volt)	Dengan Panel Surya Tegangan Baterai (volt)	Dengan Sistem Hibrid Tegangan Baterai (volt)
30	0.68	2.26	4.325
60	0.88	2.52	4.645
90	1.11	2.64	4.815
120	1.47	2.72	4.915
150	1.69	2.76	4.995
180	1.84	2.85	5.055



Gambar 4.13 Grafik Hubungan Tegangan Baterai terhadap Waktu Pengisian

Gambar 4.12 merupakan grafik hubungan tegangan baterai terhadap waktu pengisian (*charging*), dari grafik dapat terlihat bahwa pada sistem hibrid paling efektif dalam menghasilkan listrik yang selanjutnya disimpan pada baterai, diikuti oleh pengisian dengan panel surya dan turbin angin. Hal ini sesuai dengan hasil daya output dan efisiensi yang dihasilkan oleh ketiga variasi pembanding. Pada grafik di atas dapat dilihat juga bahwa seiring dengan lamanya waktu pengisian, peningkatan tegangan yang tersimpan pada baterai cukup stabil. Hal ini ditandai dengan bentuk grafik pada ketiga variasi pembanding yang cukup linier dan semakin lama semakin konstan, hal tersebut menunjukkan bahwa semakin stabil peningkatan tegangan yang tersimpan pada baterai.

BAB V

PENUTUP

5.1 KESIMPULAN

1. Telah berhasil dirancang sebuah sistem pembangkit listrik tenaga hibrida menggunakan turbin angin sumbu vertikal tipe *double-stage* savonius dan panel surya, dengan turbin angin dan panel surya bekerja secara mandiri, dan sistem hibrida keduanya.
2. Pada hasil pengujian secara langsung, sistem hibrida turbin angin dan panel surya menghasilkan daya *output* sebesar 17,81 W, sedangkan turbin angin dan panel surya bekerja secara mandiri menghasilkan daya *output* berturut-turut sebesar 0,1277 mW dan 41,91 W.
3. Pada hasil pengujian skala laboratorium, sistem hibrida turbin angin dan panel surya menghasilkan daya *output* sebesar 46,03 W, sedangkan turbin angin menghasilkan daya *output* sebesar 2,56 W.
4. Nilai efisiensi yang dihasilkan dari sistem hibrida turbin angin sumbu vertikal tipe *double-stage* savonius dan panel surya sebesar 25,12%, sedangkan turbin angin dan panel surya bekerja secara mandiri berturut-turut sebesar 11,68% dan 13,02%.
5. Dalam proses charging pada keadaan optimal turbin angin dan panel surya selama 3 jam, sistem hibrida turbin angin dan panel surya adalah yang paling

efektif dengan tegangan tersimpan 5,055 V, diikuti berturut-turut oleh panel surya sebesar 2,85 V dan turbin angin 1,84 V.

6. Pada turbin angin besarnya daya *input*, daya *output*, dan kecepatan turbin yang dihasilkan akan bertambah seiring meningkatnya kecepatan angin yang diberikan. Semakin besar kecepatan angin maka akan semakin besar pula gaya dorong yang diterima turbin sehingga daya *input* pun juga semakin besar nilainya.
7. Pada panel surya besarnya daya masukan dan daya keluaran yang dihasilkan akan bertambah seiring meningkatnya intensitas cahaya matahari yang diberikan. Semakin besar intensitas cahaya matahari yang mengenai panel surya maka semakin besar pula arus listrik yang dihasilkan panel surya sehingga daya *input* dan daya *output* yang dihasilkan juga semakin besar nilainya.
8. Berdasarkan kapasitas output yang dihasilkan, maka sistem pembangkit listrik tenaga hibrida dengan menggunakan turbin angin sumbu vertikal tipe *double-stage savonius* dan panel surya dapat dikembangkan dengan kecepatan angin mulai 4,5 m/s dan intensitas cahaya sebesar 101,47 W/m².

5.2 SARAN

1. Dalam proses instalasi dan pengambilan data turbin angin dan panel surya diperlukan *charge controller* yang dapat sekaligus mengetahui keluaran yang dihasilkan untuk mendapatkan data secara akurat dan tidak dilakukan secara manual.

2. Perlunya alat ukur otomatis yang dapat mengukur tegangan, arus, kecepatan turbin, kecepatan angin, dan intensitas cahaya matahari tiap detik yang terjamin keakuratannya.
3. Perlunya dilakukan penelitian simulasi dengan software berbasis pemrograman sebelum dilakukan instalasi sistem hibrida turbin angin dan panel surya.

DAFTAR PUSTAKA

- Ristek. 2012. *Bantul Jadi Percontohan Energi Hibrid*.
(<http://ristek.go.id/index.php/module/News+News/id/10759> id Diakses pada 26 Oktober 2014, pukul 11 WIB)
- Geoenergi. 2013. *Potensi Tenaga Angin Indonesia Cukup untuk Penuhi Kebutuhan Listrik* (http://www.geoenergi.co/read/wind/1243/potensi-tenaga-angin-indonesia-cukup-untuk-penuhi-kebutuhan-listrik/#.VE-OilcZi_J diakses pada 26 Oktober 2014 pukul 11.30 WIB)
- Sukamto. 2012. *Karakteristik Turbin Angin Vertical Axis Profil NACA 0018 dengan 3 Blade Berbantuan Guide Vane*. Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya
- Dewi, Marizka Lustia. 2010. *Analisis Kinerja Turbin Angin Poros Vertikal Dengan Modifikasi Rotor Savonius L Untuk Optimasi Kinerja Turbin*. Fisika, FMIPA. Universitas Sebelas Maret, Surakarta
- Daryanto. 2007. *Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*. Balai PPTAGG-UPT-LAGG: Yogyakarta
- Schubel, Crossley. 2012. *Wind Turbine Blade Design*. *Energies* 2012, 5, 3425-3449; doi:10.3390/en5093425.
- Ajao, K.R., dan Adeniyi, J.S.O., 2009. *Comparison of Theoretical and Experimental Power output of Small 3-bladed Horizontal-axis Wind Turbine*. *Journal of American Science* Volume 5, No 4

- Harsanto, Tedy. (2014). *Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Savonius Tipe Triple-Stage Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Angin*. Skripsi, Jurusan Fisika, Universitas Negeri Jakarta.
- Burton, Tony, dkk. 2001. *Wind Energy Handbook*. Chichester : John Wiley & Sons.
- Rodriguez, Andres Camacho. 2010. *Design, Fabrication and Experiment of a New Vertical Axis Wind Turbine*. Science Project for Bachelor of Science, Mechanical Engineering, Kun Shan University.
- Mohamed, Hassan Ahmed. 2011. *Design Optimization of Savonius and Wells Turbine*. FakultÄat fÄur Verfahrens- und Systemtechnik, Otto-von-Guericke-UniversitÄat Magdeburg.
- Yuwono, Budi. 2005. *Optimalisasi Panel Surya Dengan Menggunakan Sistem Pelacak Berbasis Mikrokontroler AT89C51*. Fisika, FMIPA, Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Quaschnig, V., 2004: *Renewable Energy World*, Science Publisher, German.
- Jansen, T.J., 1995: *Teknologi Rekayasa Sel Surya*, PT Pradnya Paramita, Jakarta.
- Giles, Ranald V., 1990. *Mekanika Fluida dan Hidraulika (SI-Metrik) Edisi Kedua (Terjemahan)*. Jakarta: Erlangga.
- Tipler, P.A.1998. *Fisika untuk Sains dan Teknik–Jilid I (terjemahan)*. Jakarta: Erlangga
- Salah, Mahmoud. 2008. *Simulation of a Hybrid Power System Consisting of Wind Turbine, PV, Storage Battery and Diesel Generator with Compensation*

Network: Design, Optimization and Economical Evaluation. Faculty of Graduate Studies, An-Najah National University

Dial S, et al. 2007. *A Methodology for Optimal Sizing of Autonomous Hybrid PV/Wind System*. Energy Police 35 (2007), p 5708-5718.

Aslimeri, dkk. 2008. *Teknik Transmisi Tenaga Listrik, Jilid 1*. Depdiknas. Jakarta

B. Ai, H. Yang, H. Shen, X. Liao. 2003. *Computer-aided design of PV / wind hybrid system*. Renewable Energy 28 (2003), p 1491–1512.

Vitali, Daniele. 2013. *Design, testing and simulation of hybrid wind-solar energy systems*. Doctoral School on Engineering Sciences, Universita Politecnica Delle Marche

Eko, Sugiyanto. 2013. *Potensi Pembangkitan Listrik Hybrid Menggunakan Vertical Axis Wind Turbine Tipe Savonius dan Panel Sel Surya*. Jurnal Teknologi, Volume 6 Nomor 2, Universitas Gajah Mada

Mittal, Neeraj. 2001. *Investigation of Performance Characteristics of a Novel VAWT*. Thesis. UK: Departement of Mechanical Engineering University of Strathclyde

Solar Surya Indonesia. 2012. *Mengenal Teknologi Solar PV* (<http://solarsuryaindonesia.com/info/mengenal-teknologi-solar-pv> diakses pada 25 Oktober 2014 pukul 11.25 WIB)

Tjahjono, Widodo. 2011. *Penggunaan Energi Angin dan Energi Matahari Sebagai Sumber Energi Listrik Dengan Sistem Hybrid*. Prosiding Seminar Nasional Sains dan Teknologi, Fakultas Teknik Universitas Wahid Hasyim Semarang.

- Nakajima, M., Lio, S., dan Ikeda, T., 2008. *Performance of Double-step Savonius Rotor for Environmentally Friendly Hidroulic Turbine*. Journal of Fluid Science And Technology. Volume 3 No. 3, p 410-419.
- Dwi, Haryo Prananto. 2014. *Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Hybrid Savonius – Darrieus Dengan Perbedaan Jumlah Sudu*. Skripsi, Jurusan Fisika, Universitas Negeri Jakarta.
- Nugroho, Fitrianto. 2013. *Prototipe Model Turbin Air Sederhana Sebagai Pembangkit Listrik Alternatif Tenaga Air*. Skripsi, Jurusan Fisika, Universitas Negeri Jakarta.
- Menet J.-L. 2004. *A Double-Stage Savonius Rotor for Local Production of Electricity: A Design Study*. Renewable Energy 29 (2004), p 1843-1862.
- Ronald Nehemia Marulitua Sinaga. 2009. *Optimalisasi Ekstraksi Energi Angin Kecepatan Rendah di Indonesia dengan Aplikasi Konverter Boost*. Laboratorium Konversi Energi Elektrik, Institut Teknologi Bandung.

LAMPIRAN

A. Data Pengukuran Hasil Pengujian

1. Data Pengukuran Turbin Angin 24 Jam

Waktu (jam)	Tegangan (V)	Arus (A)	Vangin (m/s)	Pin (W)	Pout (W)
18:52	3.50E-03	3.50E-06	0	0	1.23E-08
19:22	1.72E-01	1.72E-04	1	8.36E-02	2.95E-05
19:52	3.10E-03	3.10E-06	0.2	6.69E-04	9.61E-09
20:22	3.50E-03	3.50E-06	1.4	2.29E-01	1.23E-08
20:52	4.76E-03	4.76E-06	0	0	2.27E-08
21:22	3.73E-03	3.73E-06	0.2	6.69E-04	1.39E-08
21:52	4.08E-03	4.08E-06	0.3	2.26E-03	1.67E-08
22:22	4.04E-03	4.04E-06	0	0.00E+00	1.63E-08
22:52	3.57E-03	3.57E-06	0.2	6.69E-04	1.28E-08
23:22	3.57E-03	3.57E-06	0.1	8.36E-05	1.27E-08
23:52	3.28E-03	3.28E-06	0.2	6.69E-04	1.08E-08
0:22	4.34E-03	4.34E-06	0	0	1.88E-08
0:52	4.55E-03	4.55E-06	0	0	2.07E-08
1:22	3.64E-03	3.64E-06	0.1	8.36E-05	1.33E-08
1:52	3.81E-03	3.81E-06	0.5	1.05E-02	1.45E-08
2:22	4.19E-03	4.19E-06	0	0	1.76E-08
2:52	4.14E-03	4.14E-06	0.2	6.69E-04	1.71E-08
3:22	4.13E-03	4.13E-06	0.1	8.36E-05	1.71E-08
3:52	3.81E-03	3.81E-06	0.4	5.35E-03	1.45E-08
4:22	3.93E-03	3.93E-06	0.1	8.36E-05	1.54E-08
4:52	4.16E-03	4.16E-06	1	8.36E-02	1.73E-08
5:22	3.80E-03	3.80E-06	0	0	1.45E-08
5:52	3.71E-03	3.71E-06	0.3	2.26E-03	1.38E-08
6:22	3.68E-03	3.68E-06	0	0	1.36E-08
6:52	3.62E-03	3.62E-06	0	0	1.31E-08
7:22	3.53E-03	3.53E-06	0.2	6.69E-04	1.25E-08
7:52	3.99E-03	3.99E-06	0.1	8.36E-05	1.59E-08
8:22	3.55E-03	3.55E-06	0.1	8.36E-05	1.26E-08
8:52	3.67E-03	3.67E-06	0.5	1.05E-02	1.34E-08
9:22	3.42E-03	3.42E-06	0.3	2.26E-03	1.17E-08
9:52	3.65E-03	3.65E-06	0.4	5.35E-03	1.33E-08

10:22	1.24E-02	1.24E-05	2.3	1.02E+00	1.55E-07
10:52	1.61E-02	1.61E-05	0.1	8.36E-05	2.59E-07
11:22	9.15E-02	9.15E-05	0.7	2.87E-02	8.38E-06
11:52	1.91E-01	1.91E-04	1.6	3.42E-01	3.64E-05
12:22	7.95E-02	7.95E-05	0.1	8.36E-05	6.33E-06
12:52	1.23E-02	1.23E-05	0.2	6.69E-04	1.52E-07
13:22	3.24E-03	3.24E-06	0.5	1.05E-02	1.05E-08
13:52	3.08E-02	3.08E-05	1	8.36E-02	9.49E-07
14:22	7.38E-02	7.38E-05	0.7	2.87E-02	5.45E-06
14:52	2.67E-01	2.67E-04	0.2	6.69E-04	7.13E-05
15:22	3.57E-01	3.57E-04	1.6	3.42E-01	1.28E-04
15:52	1.54E-01	1.54E-04	2.7	1.65E+00	2.38E-05
16:22	1.57E-02	1.57E-05	4.2	6.19E+00	2.46E-07
16:52	1.44E-02	1.44E-05	2.8	1.84E+00	2.09E-07
17:22	1.07E-02	1.07E-05	0.5	1.05E-02	1.14E-07
17:52	4.73E-03	4.73E-06	0.7	2.87E-02	2.24E-08
18:22	3.60E-03	3.60E-06	0.7	2.87E-02	1.30E-08

2. Data Pengukuran Panel Surya 24 Jam

Waktu (Jam)	Tegangan (V)	Arus (A)	Intensitas (W/m ²)	Pout (W)	Pin (W)
18:52	4.63E-02	7.77E-06	0.000711	3.5985E-07	2.91E-04
19:22	4.49E-02	5.94E-06	0.0009875	2.66746E-07	4.04E-04
19:52	4.45E-02	5.71E-06	0.003555	2.54038E-07	1.45E-03
20:22	4.17E-02	4.95E-06	0.00316	2.06184E-07	1.29E-03
20:52	3.95E-02	4.42E-06	0.002765	1.74575E-07	1.13E-03
21:22	3.50E-02	3.99E-06	0.0006715	1.39833E-07	2.74E-04
21:52	3.01E-02	3.84E-05	0.000395	1.15622E-06	1.61E-04
22:22	2.58E-02	3.60E-06	0.000395	9.31004E-08	1.61E-04
22:52	1.99E-02	2.89E-06	0.000316	5.74149E-08	1.29E-04
23:22	1.62E-02	2.35E-06	0	3.81162E-08	0.00E+00
23:52	1.48E-02	2.08E-06	0	3.07001E-08	0.00E+00
0:22	1.44E-02	2.02E-06	0	2.91225E-08	0.00E+00
0:52	1.42E-02	2.00E-06	0.0009875	2.8366E-08	4.04E-04
1:22	1.31E-02	1.85E-06	0.000711	2.42806E-08	2.91E-04
1:52	1.04E-02	1.34E-06	0.0007505	1.39872E-08	3.07E-04
2:22	8.67E-03	1.03E-06	0.0005925	8.93285E-09	2.42E-04

2:52	8.16E-03	9.47E-07	0.000395	7.72727E-09	1.61E-04
3:22	7.70E-03	8.30E-07	0	6.38823E-09	0.00E+00
3:52	7.57E-03	8.47E-07	0	6.41119E-09	0.00E+00
4:22	7.36E-03	8.40E-07	0.0002765	6.17876E-09	1.13E-04
4:52	8.03E-03	9.13E-07	0	7.33556E-09	0.00E+00
5:22	1.30E-02	1.79E-05	0.62568	2.32867E-07	2.56E-01
5:52	4.69E+00	1.87E-03	2.82741	0.00876146	1.16E+00
6:22	1.36E+01	1.11E-01	101.4755	1.505598633	4.15E+01
6:52	1.40E+01	3.45E-01	98.434	4.833250795	4.02E+01
7:22	1.39E+01	6.53E-01	280.8055	9.051279995	1.15E+02
7:52	1.38E+01	1.32E+00	418.305	18.20421444	1.71E+02
8:22	1.39E+01	1.89E+00	549.05	26.25925555	2.24E+02
8:52	1.40E+01	2.26E+00	611.46	31.65050222	2.50E+02
9:22	1.41E+01	2.46E+00	627.655	34.79047776	2.57E+02
9:52	1.43E+01	2.78E+00	759.585	39.68820666	3.10E+02
10:22	1.44E+01	2.91E+00	787.235	41.90982	3.22E+02
10:52	1.44E+01	2.54E+00	752.08	36.66299777	3.07E+02
11:22	1.41E+01	1.66E+00	744.18	23.37833333	3.04E+02
11:52	1.39E+01	2.86E+00	396.975	39.78601666	1.62E+02
12:22	1.44E+01	1.81E+00	390.655	26.12892443	1.60E+02
12:52	1.45E+01	1.67E+00	359.845	24.22038443	1.47E+02
13:22	1.45E+01	1.57E+00	476.37	22.73098333	1.95E+02
13:52	1.46E+01	1.83E+00	496.91	26.63058699	2.03E+02
14:22	1.44E+01	1.73E+00	444.375	24.98062334	1.82E+02
14:52	1.46E+01	1.35E+00	290.2065	19.6938	1.19E+02
15:22	1.42E+01	4.60E-01	75.9585	6.52694	3.10E+01
15:52	1.40E+01	1.99E-01	44.8325	2.797111777	1.83E+01
16:22	1.40E+01	1.72E-01	51.6265	2.39537945	2.11E+01
16:52	1.39E+01	1.14E-01	17.24175	1.587060995	7.05E+00
17:22	1.38E+01	3.90E-02	1.08625	0.536503146	4.44E-01
17:52	1.13E+01	8.42E-03	0.076235	0.095037658	3.12E-02
18:22	1.99E+00	4.47E-04	0.0029625	0.000890946	1.21E-03

3. Data Sistem Hibrida

Waktu	Vps (V)	Ips (A)	Vt (V)	It (A)	P out total (W)	Vangin (m/s)	Intensitas (W/m ²)	Pin total (W)
18:52	2.55E-02	3.34E-06	2.67E-03	2.67E-06	9.22E-08	0	0.0010	4.20E-04
19:22	1.72E-02	2.49E-06	3.17E-03	3.17E-06	5.28E-08	0.9	0.0011	6.14E-02
19:52	2.18E-02	3.00E-06	2.76E-03	2.76E-06	7.31E-08	0.3	0.0016	2.95E-03
20:22	3.33E-02	3.68E-06	2.74E-03	2.74E-06	1.30E-07	0.6	0.00079	1.84E-02
20:52	2.40E-02	3.12E-06	2.78E-03	2.78E-06	8.24E-08	0.9	0.00047	6.11E-02
21:22	1.47E-02	2.03E-06	2.85E-03	2.85E-06	3.80E-08	0	0.00071	2.91E-04
21:52	1.53E-02	2.15E-06	2.84E-03	2.84E-06	4.10E-08	0.4	0	5.35E-03
22:22	1.77E-02	2.56E-06	2.77E-03	2.77E-06	5.30E-08	0.4	0.00071	5.64E-03
22:52	1.35E-03	1.94E-06	2.91E-03	2.91E-06	1.11E-08	0.4	0.0010	5.79E-03
23:22	1.08E-02	1.57E-06	2.89E-03	2.89E-06	2.53E-08	0.2	0	6.69E-04
23:52	2.41E-02	1.93E-06	3.47E-03	3.47E-06	5.84E-08	1.9	0	5.73E-01
0:22	1.88E-02	1.68E-06	3.14E-03	3.14E-06	4.14E-08	0.5	0.0010	1.09E-02
0:52	1.63E-02	1.60E-06	2.93E-03	2.93E-06	3.46E-08	0.5	0	1.05E-02
1:22	1.18E-02	1.57E-06	3.15E-03	3.15E-06	2.84E-08	0.6	0	1.81E-02
1:52	1.10E-02	1.50E-06	3.12E-03	3.12E-06	2.63E-08	1.1	0.00019	1.11E-01
2:22	1.12E-02	1.50E-06	3.21E-03	3.21E-06	2.71E-08	2.2	0.00055	8.90E-01
2:52	1.01E-02	1.47E-06	2.91E-03	2.91E-06	2.33E-08	0.3	0.0029	3.45E-03
3:22	1.22E-02	1.52E-06	2.83E-03	2.83E-06	2.66E-08	0.6	0.0040	1.97E-02
3:52	1.61E-02	1.50E-06	3.10E-03	3.10E-06	3.38E-08	0.3	0.0035	3.71E-03
4:22	1.45E-02	1.50E-06	3.10E-03	3.10E-06	3.13E-08	0.2	0.00027	7.82E-04
4:52	1.25E-02	1.57E-06	2.45E-03	2.45E-06	2.56E-08	0.4	0.0015	6.00E-03

				06				
5:22	1.65E-02	2.00E-06	2.53E-03	2.53E-06	3.93E-08	0	0.0011	4.68E-04
5:52	1.99E+00	3.63E-03	2.74E-03	2.74E-06	7.24E-03	0.2	0.452	1.86E-01
6:22	1.19E+01	5.26E-03	2.39E-03	2.39E-06	6.26E-02	0	1.012	4.14E-01
6:52	1.27E+01	1.83E-02	2.56E-03	2.56E-06	2.33E-01	0.3	38.55	1.58E+01
7:22	1.28E+01	7.28E-01	3.26E-03	3.26E-06	9.34E+00	0.3	98.35	4.02E+01
7:52	1.31E+01	7.24E-01	2.73E-03	2.73E-06	9.48E+00	1.2	263.07	1.08E+02
8:22	1.32E+01	8.57E-01	2.59E-03	2.59E-06	1.13E+01	0.2	137.46	5.62E+01
8:52	1.32E+01	8.77E-01	2.86E-03	2.86E-06	1.16E+01	1.5	164.32	6.74E+01
9:22	1.33E+01	1.13E+00	3.09E-03	3.09E-06	1.51E+01	1.5	3.85	1.86E+00
9:52	1.33E+01	7.59E-01	6.27E-01	6.27E-04	1.01E+01	6.8	251.65	1.29E+02
10:22	1.31E+01	1.23E-01	5.35E+00	5.35E-03	1.64E+00	2.7	124.89	5.27E+01
10:52	1.32E+01	4.00E-01	1.43E+00	1.43E-03	5.30E+00	2.7	124.42	5.25E+01
11:22	1.31E+01	7.17E-02	2.99E-01	2.99E-04	9.38E-01	0.5	41.59	1.70E+01
11:52	1.30E+01	1.50E-02	2.89E-03	2.89E-06	1.96E-01	0.6	44.08	1.80E+01
12:22	1.31E+01	1.68E-01	2.41E-03	2.41E-06	2.20E+00	0.1	257.61	1.05E+02
12:52	1.35E+01	1.05E+00	2.34E-03	2.34E-06	1.42E+01	0	323.9	1.32E+02
13:22	1.36E+01	1.31E+00	2.37E-03	2.37E-06	17.813	0.3	504.41	206.156
13:52	1.36E+01	1.09E+00	2.53E-03	2.53E-06	1.48E+01	0.5	170.24	6.96E+01
14:22	1.35E+01	7.20E-01	2.76E-03	2.76E-06	9.71E+00	0.3	124.03	5.07E+01
14:52	1.34E+01	4.57E-01	2.83E-03	2.83E-06	6.12E+00	0.3	127.98	5.23E+01
15:22	1.34E+01	4.13E-01	2.91E-03	2.91E-06	5.54E+00	0.2	73.50	3.00E+01
15:52	1.34E+01	4.07E-01	2.93E-03	2.93E-06	5.43E+00	0.3	57.67	2.36E+01

16:22	1.37E+01	2.67E-01	2.81E-03	2.81E-06	3.65E+00	0.4	78.44	3.21E+01
16:52	1.33E+01	1.80E-01	3.01E-03	3.01E-06	2.40E+00	0.3	15.14	6.19E+00
17:22	1.32E+01	1.00E-01	2.88E-03	2.88E-06	1.32E+00	0.3	15.10	6.17E+00
17:52	1.29E+01	8.80E-02	4.61E-03	4.61E-06	1.13E+00	0.3	15.08	6.17E+00
18:22	2.39E+00	1.17E-02	3.61E-03	3.61E-06	2.78E-02	0	0.00071	2.91E-04

4. Data Turbin Angin Skala Lab

Vin (Volt)	V angin (m/s)	Vout (volt)	Iout (A)	Kecepatan turbin (rpm)	Pin (watt)	Pout (Watt)
0.00858	0	0	0	0	0	0
10.25	0	0	0	0	0	0
20.24	0	0	0	0	0	0
30.502	0	0	0	0	0	0
40.06	0	0	0	0	0	0
50.7	0	0	0	0	0	0
60.22	0	0	0	0	0	0
70.16	0	0	0	0	0	0
80.56	0.9	0	0	0	0.0609	0
90.6	1.5	0	0	0	0.2822	0
100.14	2	0	0	0	0.6689	0
110.76	2.4	0.0015	0	0	1.1558	0
120.81	2.8	0.0023	0	0	1.8353	0
130.67	3.5	0.0019	0	0	3.5846	0
140.61	3.9	0.9186	0.000795	21.09	4.9594	0.000731
150.26	4.5	2.5652	0.00631	54.35	7.6186	0.016198
160.43	5.2	8.5547	0.02997	128.35	11.7557	0.256383
170.75	6.2	12.1080	0.04442	186.19	19.9257	0.537837
180.42	7.2	15.6060	0.05816	240.34	31.2059	0.907645
190.44	8.1	20.7933	0.07831	309.26	44.4318	1.628256
200.33	9.1	24.1780	0.09184	368.72	63.0032	2.220435
210.6	9.6	25.98	0.09867	486.31	73.9695	2.563533

5. Data Sistem Hibrida Skala Lab

waktu	V ps	I ps	V t	I t	P ps	P t	Pout total	P in t	Pin ps	P in total
7:00	14.11	0.4	0	0	5.64	0.00	5.64	0.06	40.23	40.29
7:01	14.11	0.4	0	0	5.64	0.00	5.64	0.06	40.23	40.29
7:02	14.1	0.4	0	0	5.64	0.00	5.64	0.06	40.23	40.29
7:03	14.12	0.4	0	0	5.65	0.00	5.65	0.06	40.23	40.29
7:04	14.12	0.4	0	0	5.65	0.00	5.65	0.06	40.23	40.29
7:05	14.12	0.4	0	0	5.65	0.00	5.65	0.06	40.23	40.29
7:06	14.12	0.4	0	0	5.65	0.00	5.65	0.06	40.23	40.29
7:07	14.18	0.5	0	0	7.09	0.00	7.09	0.06	40.23	40.29
7:08	13.53	0.8	0	0	10.82	0.00	10.82	0.06	40.23	40.29
7:09	13.54	0.8	0	0	10.83	0.00	10.83	0.06	40.23	40.29
7:10	13.55	0.8	0	0	10.84	0.00	10.84	0.06	40.23	40.29
7:11	13.56	0.8	0	0	10.85	0.00	10.85	0.06	40.23	40.29
7:12	13.56	0.8	0	0	10.85	0.00	10.85	0.06	40.23	40.29
7:13	13.57	0.8	0	0	10.86	0.00	10.86	0.06	40.23	40.29
7:14	13.58	0.9	0	0	12.22	0.00	12.22	0.06	40.23	40.29
7:15	13.6	0.9	0	0	12.24	0.00	12.24	0.28	40.23	40.51
7:16	13.6	0.9	0	0	12.24	0.00	12.24	0.28	40.23	40.51
7:17	13.62	1	0	0	13.62	0.00	13.62	0.28	40.23	40.51
7:18	13.63	1	0	0	13.63	0.00	13.63	0.28	40.23	40.51
7:19	13.65	1	0	0	13.65	0.00	13.65	0.28	40.23	40.51
7:20	13.66	1	0	0	13.66	0.00	13.66	0.28	40.23	40.51
7:21	13.66	1	0	0	13.66	0.00	13.66	0.28	40.23	40.51
7:22	13.66	1	0	0	13.66	0.00	13.66	0.28	114.77	115.05
7:23	13.66	1.1	0	0	15.03	0.00	15.03	0.28	114.77	115.05
7:24	13.68	1.1	0	0	15.05	0.00	15.05	0.28	114.77	115.05
7:25	13.66	1.1	0	0	15.03	0.00	15.03	0.28	114.77	115.05
7:26	13.67	1.1	0	0	15.04	0.00	15.04	0.28	114.77	115.05
7:27	13.68	1.1	0	0	15.05	0.00	15.05	0.28	114.77	115.05
7:28	13.69	1.1	0	0	15.06	0.00	15.06	0.28	114.77	115.05
7:29	13.69	1.1	0	0	15.06	0.00	15.06	0.28	114.77	115.05
7:30	13.7	1.1	0	0	15.07	0.00	15.07	0.67	114.77	115.43
7:31	13.7	1.1	0	0	15.07	0.00	15.07	0.67	114.77	115.43
7:32	13.7	1.2	0	0	16.44	0.00	16.44	0.67	114.77	115.43
7:33	13.73	1.2	0	0	16.48	0.00	16.48	0.67	114.77	115.43

7:34	13.73	1.3	0	0	17.85	0.00	17.85	0.67	114.77	115.43
7:35	13.75	1.3	0	0	17.88	0.00	17.88	0.67	114.77	115.43
7:36	13.76	1.4	0	0	19.26	0.00	19.26	0.67	114.77	115.43
7:37	13.76	1.3	0	0	17.89	0.00	17.89	0.67	114.77	115.43
7:38	13.77	1.4	0	0	19.28	0.00	19.28	0.67	114.77	115.43
7:39	13.78	1.4	0	0	19.29	0.00	19.29	0.67	114.77	115.43
7:40	13.8	1.4	0	0	19.32	0.00	19.32	0.67	114.77	115.43
7:41	13.81	1.4	0	0	19.33	0.00	19.33	0.67	114.77	115.43
7:42	13.8	1.4	0	0	19.32	0.00	19.32	0.67	114.77	115.43
7:43	13.79	1.4	0	0	19.31	0.00	19.31	0.67	114.77	115.43
7:44	13.81	1.5	0	0	20.72	0.00	20.72	0.67	114.77	115.43
7:45	13.8	1.4	0	0	19.32	0.00	19.32	1.16	114.77	115.92
7:46	13.81	1.5	1.51	0	20.72	0.00	20.72	1.16	114.77	115.92
7:47	13.8	1.4	1.45	0	19.32	0.00	19.32	1.16	114.77	115.92
7:48	13.8	1.5	1.26	0	20.70	0.00	20.70	1.16	114.77	115.92
7:49	13.81	1.5	1.1	0	20.72	0.00	20.72	1.16	114.77	115.92
7:50	13.84	1.6	1.15	0	22.14	0.00	22.14	1.16	114.77	115.92
7:51	13.85	1.6	1.61	0	22.16	0.00	22.16	1.16	114.77	115.92
7:52	13.86	1.7	2.15	0	23.56	0.00	23.56	1.16	114.77	115.92
7:53	13.89	1.7	1.34	0	23.61	0.00	23.61	1.16	170.96	172.12
7:54	13.88	1.8	1.46	0	24.98	0.00	24.98	1.16	170.96	172.12
7:55	13.87	1.7	1.09	0	23.58	0.00	23.58	1.16	170.96	172.12
7:56	13.85	1.6	1.08	0	22.16	0.00	22.16	1.16	170.96	172.12
7:57	13.89	1.9	1.24	0	26.39	0.00	26.39	1.16	170.96	172.12
7:58	13.9	1.9	1.73	0	26.41	0.00	26.41	1.16	170.96	172.12
7:59	13.89	1.8	1.39	0	25.00	0.00	25.00	1.16	170.96	172.12
8:00	13.89	1.8	1.92	0	25.00	0.00	25.00	1.84	170.96	172.80
8:01	13.91	1.9	1.45	0	26.43	0.00	26.43	1.84	170.96	172.80
8:02	13.9	1.8	1.39	0	25.02	0.00	25.02	1.84	170.96	172.80
8:03	13.89	1.8	1.65	0	25.00	0.00	25.00	1.84	170.96	172.80
8:04	13.9	1.8	2.19	0	25.02	0.00	25.02	1.84	170.96	172.80
8:05	13.9	1.9	2.56	0	26.41	0.00	26.41	1.84	170.96	172.80
8:06	13.91	1.9	1.38	0	26.43	0.00	26.43	1.84	170.96	172.80
8:07	13.9	1.8	2.71	0	25.02	0.00	25.02	1.84	170.96	172.80
8:08	13.89	1.8	1.72	0	25.00	0.00	25.00	1.84	170.96	172.80
8:09	13.89	1.8	1.89	0	25.00	0.00	25.00	1.84	170.96	172.80
8:10	13.91	1.9	2.01	0	26.43	0.00	26.43	1.84	170.96	172.80
8:11	13.92	1.9	1.87	0	26.45	0.00	26.45	1.84	170.96	172.80

8:12	13.92	2	2.24	0	27.84	0.00	27.84	1.84	170.96	172.80
8:13	13.95	2	2.35	0	27.90	0.00	27.90	1.84	170.96	172.80
8:14	13.96	2	4.11	0	27.92	0.00	27.92	1.84	170.96	172.80
8:15	13.95	2	1.56	0	27.90	0.00	27.90	3.58	170.96	174.55
8:16	13.96	2	2.18	0	27.92	0.00	27.92	3.58	170.96	174.55
8:17	13.96	2	1.75	0	27.92	0.00	27.92	3.58	170.96	174.55
8:18	13.99	2	2.15	0	27.98	0.00	27.98	3.58	170.96	174.55
8:19	13.97	2	1.76	0	27.94	0.00	27.94	3.58	170.96	174.55
8:20	13.96	2	1.46	0	27.92	0.00	27.92	3.58	170.96	174.55
8:21	13.97	2	1.49	0	27.94	0.00	27.94	3.58	170.96	174.55
8:22	13.98	2.1	1.77	0	29.36	0.00	29.36	3.58	224.40	227.98
8:23	13.99	2.1	1.9	0	29.38	0.00	29.38	3.58	224.40	227.98
8:24	13.99	2.1	1.87	0	29.38	0.00	29.38	3.58	224.40	227.98
8:25	13.99	2.1	1.79	0	29.38	0.00	29.38	3.58	224.40	227.98
8:26	13.99	2.1	1.89	0	29.38	0.00	29.38	3.58	224.40	227.98
8:27	14	2.2	2.06	0	30.80	0.00	30.80	3.58	224.40	227.98
8:28	14	2.2	2.17	0	30.80	0.00	30.80	3.58	224.40	227.98
8:29	14	2.2	2.07	0	30.80	0.00	30.80	3.58	224.40	227.98
8:30	14	2.2	1.68	0	30.80	0.00	30.80	4.96	224.40	229.36
8:31	14.01	2.2	0.98	0.00088	30.82	0.00	30.82	4.96	224.40	229.36
8:32	14	2.2	0.86	0.00044	30.80	0.00	30.80	4.96	224.40	229.36
8:33	14	2.2	0.95	0.00075	30.80	0.00	30.80	4.96	224.40	229.36
8:34	14	2.2	0.925	0.00085	30.80	0.00	30.80	4.96	224.40	229.36
8:35	14.01	2.2	0.92	0.00082	30.82	0.00	30.82	4.96	224.40	229.36
8:36	14.02	2.2	0.93	0.00085	30.84	0.00	30.84	4.96	224.40	229.36
8:37	14.02	2.2	0.953	0.00106	30.84	0.00	30.85	4.96	224.40	229.36
8:38	14.02	2.2	0.873	0.00077	30.84	0.00	30.84	4.96	224.40	229.36
8:39	14.02	2.2	1.004	0.00107	30.84	0.00	30.85	4.96	224.40	229.36
8:40	14.03	2.3	0.98	0.00095	32.27	0.00	32.27	4.96	224.40	229.36
8:41	14.04	2.3	0.85	0.00056	32.29	0.00	32.29	4.96	224.40	229.36
8:42	14.06	2.4	0.954	0.00084	33.74	0.00	33.74	4.96	224.40	229.36
8:43	14.04	2.3	0.9	0.00101	32.29	0.00	32.29	4.96	224.40	229.36
8:44	14.04	2.3	0.765	0.00028	32.29	0.00	32.29	4.96	224.40	229.36
8:45	14.03	2.3	0.935	0.0008	32.27	0.00	32.27	7.62	224.40	232.02
8:46	14.04	2.3	2.304	0.0056	32.29	0.01	32.30	7.62	224.40	232.02
8:47	14.06	2.4	2.42	0.0054	33.74	0.01	33.76	7.62	224.40	232.02
8:48	14.05	2.4	1.865	0.00402	33.72	0.01	33.73	7.62	224.40	232.02
8:49	14.06	2.4	2.3	0.00504	33.74	0.01	33.76	7.62	224.40	232.02

8:50	14.07	2.4	2.285	0.00631	33.77	0.01	33.78	7.62	224.40	232.02
8:51	14.08	2.4	2.54	0.00705	33.79	0.02	33.81	7.62	224.40	232.02
8:52	14.1	2.5	2.866	0.00754	35.25	0.02	35.27	7.62	224.40	232.02
8:53	14.1	2.5	2.68	0.00704	35.25	0.02	35.27	7.62	249.90	257.52
8:54	14.08	2.4	2.68	0.00703	33.79	0.02	33.81	7.62	249.90	257.52
8:55	14.08	2.4	2.74	0.00556	33.79	0.02	33.81	7.62	249.90	257.52
8:56	14.08	2.4	2.715	0.00594	33.79	0.02	33.81	7.62	249.90	257.52
8:57	14.05	2.2	2.38	0.00638	30.91	0.02	30.93	7.62	249.90	257.52
8:58	14.03	2.1	2.76	0.0065	29.46	0.02	29.48	7.62	249.90	257.52
8:59	14.09	2.4	2.91	0.00675	33.82	0.02	33.84	7.62	249.90	257.52
9:00	14.08	2.3	3.033	0.00856	32.38	0.03	32.41	11.76	249.90	261.66
9:01	14.07	2.3	8.6	0.0228	32.36	0.20	32.56	11.76	249.90	261.66
9:02	14.12	2.5	8.48	0.0213	35.30	0.18	35.48	11.76	249.90	261.66
9:03	14.12	2.5	8.53	0.0298	35.30	0.25	35.55	11.76	249.90	261.66
9:04	14.12	2.5	8.48	0.0307	35.30	0.26	35.56	11.76	249.90	261.66
9:05	14.12	2.5	9.05	0.0331	35.30	0.30	35.60	11.76	249.90	261.66
9:06	14.12	2.5	8.7	0.0314	35.30	0.27	35.57	11.76	249.90	261.66
9:07	14.12	2.5	8.71	0.03001	35.30	0.26	35.56	11.76	249.90	261.66
9:08	14.12	2.4	8.67	0.03104	33.89	0.27	34.16	11.76	249.90	261.66
9:09	14.12	2.4	8.61	0.03263	33.89	0.28	34.17	11.76	249.90	261.66
9:10	14.13	2.5	8.67	0.03221	35.33	0.28	35.60	11.76	249.90	261.66
9:11	14.14	2.5	8.27	0.0305	35.35	0.25	35.60	11.76	249.90	261.66
9:12	14.14	2.5	8.34	0.03145	35.35	0.26	35.61	11.76	249.90	261.66
9:13	14.15	2.5	8.45	0.03089	35.38	0.26	35.64	11.76	249.90	261.66
9:14	14.15	2.5	8.45	0.03128	35.38	0.26	35.64	11.76	249.90	261.66
9:15	14.15	2.5	8.31	0.03044	35.38	0.25	35.63	19.93	249.90	269.83
9:16	14.16	2.6	12.61	0.0421	36.82	0.53	37.35	19.93	249.90	269.83
9:17	14.17	2.6	12.35	0.0466	36.84	0.58	37.42	19.93	249.90	269.83
9:18	14.18	2.6	12.59	0.0471	36.87	0.59	37.46	19.93	249.90	269.83
9:19	14.19	2.6	12.2	0.0422	36.89	0.51	37.41	19.93	249.90	269.83
9:20	14.18	2.6	12.26	0.0455	36.87	0.56	37.43	19.93	249.90	269.83
9:21	14.16	2.5	12.58	0.0459	35.40	0.58	35.98	19.93	249.90	269.83
9:22	14.18	2.6	11.96	0.0442	36.87	0.53	37.40	19.93	249.90	269.83
9:23	14.18	2.5	11.94	0.0444	35.45	0.53	35.98	19.93	256.52	276.45
9:24	14.18	2.5	11.81	0.0443	35.45	0.52	35.97	19.93	256.52	276.45
9:25	14.21	2.6	11.9	0.0442	36.95	0.53	37.47	19.93	256.52	276.45
9:26	14.2	2.5	11.84	0.0437	35.50	0.52	36.02	19.93	256.52	276.45
9:27	14.21	2.6	11.86	0.0448	36.95	0.53	37.48	19.93	256.52	276.45

9:28	14.22	2.6	12.06	0.0452	36.97	0.55	37.52	19.93	256.52	276.45
9:29	14.24	2.7	11.95	0.0434	38.45	0.52	38.97	19.93	256.52	276.45
9:30	14.24	2.7	11.71	0.0427	38.45	0.50	38.95	31.21	256.52	287.73
9:31	14.25	2.8	15.18	0.0572	39.90	0.87	40.77	31.21	256.52	287.73
9:32	14.26	2.8	15.12	0.0572	39.93	0.86	40.79	31.21	256.52	287.73
9:33	14.26	2.8	15.61	0.0581	39.93	0.91	40.83	31.21	256.52	287.73
9:34	14.27	2.8	15.59	0.0587	39.96	0.92	40.87	31.21	256.52	287.73
9:35	14.28	2.8	15.58	0.0592	39.98	0.92	40.91	31.21	256.52	287.73
9:36	14.27	2.8	15.55	0.0584	39.96	0.91	40.86	31.21	256.52	287.73
9:37	14.29	2.8	15.54	0.0582	40.01	0.90	40.92	31.21	256.52	287.73
9:38	14.29	2.9	15.28	0.0565	41.44	0.86	42.30	31.21	256.52	287.73
9:39	14.3	2.9	15.72	0.0602	41.47	0.95	42.42	31.21	256.52	287.73
9:40	14.3	2.8	15.32	0.0564	40.04	0.86	40.90	31.21	256.52	287.73
9:41	14.29	2.9	15.66	0.0583	41.44	0.91	42.35	31.21	256.52	287.73
9:42	14.31	2.9	15.86	0.0596	41.50	0.95	42.44	31.21	256.52	287.73
9:43	14.32	2.9	16.28	0.0586	41.53	0.95	42.48	31.21	256.52	287.73
9:44	14.32	2.9	16.03	0.0597	41.53	0.96	42.48	31.21	256.52	287.73
9:45	14.34	2.9	15.77	0.0561	41.59	0.88	42.47	44.43	256.52	300.95
9:46	14.34	2.9	20.06	0.0802	41.59	1.61	43.19	44.43	256.52	300.95
9:47	14.3	2.9	20.78	0.0795	41.47	1.65	43.12	44.43	256.52	300.95
9:48	14.32	2.8	21.14	0.0786	40.10	1.66	41.76	44.43	256.52	300.95
9:49	14.31	2.8	21.1	0.0806	40.07	1.70	41.77	44.43	256.52	300.95
9:50	14.31	2.8	21.35	0.0794	40.07	1.70	41.76	44.43	256.52	300.95
9:51	14.32	2.9	21.31	0.0809	41.53	1.72	43.25	44.43	256.52	300.95
9:52	14.36	2.9	20.94	0.0786	41.64	1.65	43.29	44.43	256.52	300.95
9:53	14.36	2.9	20.86	0.0789	41.64	1.65	43.29	44.43	310.44	354.87
9:54	14.38	3	20.62	0.0782	43.14	1.61	44.75	44.43	310.44	354.87
9:55	14.38	3	20.24	0.0763	43.14	1.54	44.68	44.43	310.44	354.87
9:56	14.38	2.9	20.42	0.0763	41.70	1.56	43.26	44.43	310.44	354.87
9:57	14.36	2.9	20.56	0.0767	41.64	1.58	43.22	44.43	310.44	354.87
9:58	14.37	2.9	20.18	0.0763	41.67	1.54	43.21	44.43	310.44	354.87
9:59	14.37	2.9	21.16	0.0779	41.67	1.65	43.32	44.43	310.44	354.87
10:00	14.38	2.9	21.18	0.0762	41.70	1.61	43.32	63.00	310.44	373.45
10:01	14.38	2.9	24.35	0.0923	41.70	2.25	43.95	63.00	310.44	373.45
10:02	14.38	2.9	24.03	0.0915	41.70	2.20	43.90	63.00	310.44	373.45
10:03	14.4	2.9	24.06	0.09	41.76	2.17	43.93	63.00	310.44	373.45
10:04	14.39	2.9	24.11	0.093	41.73	2.24	43.97	63.00	310.44	373.45
10:05	14.39	2.9	24.42	0.0925	41.73	2.26	43.99	63.00	310.44	373.45

10:06	14.4	2.9	24.65	0.0945	41.76	2.33	44.09	63.00	310.44	373.45
10:07	14.4	2.9	23.95	0.0909	41.76	2.18	43.94	63.00	310.44	373.45
10:08	14.4	2.9	23.65	0.091	41.76	2.15	43.91	63.00	310.44	373.45
10:09	14.4	2.9	24.12	0.0924	41.76	2.23	43.99	63.00	310.44	373.45
10:10	14.39	2.9	23.89	0.091	41.73	2.17	43.90	63.00	310.44	373.45
10:11	14.4	2.9	24.06	0.09206	41.76	2.21	43.97	63.00	310.44	373.45
10:12	14.41	2.9	24.48	0.0924	41.79	2.26	44.05	63.00	310.44	373.45
10:13	14.42	2.9	24.47	0.092	41.82	2.25	44.07	63.00	310.44	373.45
10:14	14.42	2.9	24.38	0.0906	41.82	2.21	44.03	63.00	310.44	373.45
10:15	14.42	2.9	24.05	0.0914	41.82	2.20	44.02	73.97	310.44	384.41
10:16	14.44	2.9	26.87	0.1011	41.88	2.72	44.59	73.97	310.44	384.41
10:17	14.43	2.9	25.9	0.0987	41.85	2.56	44.40	73.97	310.44	384.41
10:18	14.43	2.9	26.03	0.0976	41.85	2.54	44.39	73.97	310.44	384.41
10:19	14.44	2.9	25.54	0.0975	41.88	2.49	44.37	73.97	310.44	384.41
10:20	14.43	2.9	26.05	0.099	41.85	2.58	44.43	73.97	310.44	384.41
10:21	14.44	2.9	26.09	0.0997	41.88	2.60	44.48	73.97	310.44	384.41
10:22	14.47	3	25.66	0.0981	43.41	2.52	45.93	73.97	321.74	395.71
10:23	14.48	3	26.02	0.0994	43.44	2.59	46.03	73.97	321.74	395.71
10:24	14.48	3	25.94	0.0987	43.44	2.56	46.00	73.97	321.74	395.71
10:25	14.48	3	25.85	0.0989	43.44	2.56	46.00	73.97	321.74	395.71
10:26	14.49	3	25.86	0.0986	43.47	2.55	46.02	73.97	321.74	395.71
10:27	14.48	3	26.08	0.0994	43.44	2.59	46.03	73.97	321.74	395.71
10:28	14.49	3	25.68	0.0946	43.47	2.43	45.90	73.97	321.74	395.71
10:29	14.47	2.9	25.93	0.0987	41.96	2.56	44.52	73.97	321.74	395.71
10:30	14.48	2.9	26.2	0.1001	41.99	2.62	44.61	73.97	321.74	395.71

B. Data Perhitungan Efisiensi

Data Turbin Angin

$$\rho = \text{rapat massa udara} = 1,225 \text{ kg/m}^3$$

$$D = \text{diameter rotor} = 0,35 \text{ m}$$

$$H = \text{tinggi rotor} = 0,39 \text{ m}$$

$$A = \text{luas sapuan rotor} = H \times D = 0,39 \text{ m} \times 0,35 \text{ m} = 0,1365 \text{ m}^2$$

$$V_{\text{angin}} = \text{kecepatan angin} = 9,6 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{out}} = 25,98 \text{ Volt}$$

$$P_{\text{out}} = 2,563525 \text{ Watt}$$

$$\text{RPM}_{\text{pulley}} = 486,31$$

$$D_{\text{pulley rotor}} = 14 \text{ cm}$$

$$D_{\text{pulley gen}} = 5,7 \text{ cm}$$

$$V_{\text{angin}} = 9,6 \text{ m/s}$$

Data Panel Surya

$$\text{Luas Panel} = \text{Panjang} \times \text{Lebar} = 0.61 \text{ m} \times 0.67 \text{ m} = 0.4087 \text{ m}^2$$

C. Dokumentasi Penelitian



Charge Controller



Pengambilan Data 24 Jam



Turbin Angin dan Panel Surya



Sistem Puli dan Generator



Pengambilan Data Kecepatan Angin



Pengambilan Data Tegangan dan Arus Turbin



Pengambilan Data Kecepatan Turbin



Luxmeter



Multimeter



Spesifikasi Baterai

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN SKRIPSI

Dengan ini saya yang bertanda tangan di bawah ini, mahasiswa Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Jakarta:

Nama : Shinta Wuriyandani

No. Registrasi : 3225111285

Jurusan : Fisika

Program Studi : Fisika

Menyatakan bahwa skripsi yang saya buat dengan judul **“Pengembangan Pembangkit Listrik Teaga Hibrida Menggunakan Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Double-Stage Savonius dan Panel Surya”** adalah:

1. Dibuat dan diselesaikan oleh saya sendiri, berdasarkan data yang diperoleh dari hasil percobaan pada bulan Januari 2015 – Juni 2015.
2. Bukan merupakan duplikat skripsi yang pernah dibuat oleh orang lain atau jiplakan karya tulis orang lain dan bukan terjemahan karya tulis orang lain.

Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan saya bersedia menanggung segala akibat yang timbul jika pernyataan saya ini tidak benar.

Jakarta, Juli 2015



Shinta Wuriyandani

DAFTAR RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Jakarta, 30 Juni 1994 sebagai anak terakhir dari tiga bersaudara pasangan suami - istri Bapak Drs. Raska dan Ibu Tri Wahyu Hidayati. Pendidikan formal yang diikuti yaitu diawali dari SDN Pekayon Jaya 1 (1999 - 2005), SMP Negeri 12 Bekasi (2005 - 2008), SMAN 8 Bekasi (2008 - 2011), dan kemudian diterima melalui jalur SNMPTN (Seleksi Nasional Masuk Perguruan Tinggi Negeri) untuk Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Jakarta (Juni 2011 - Juli 2015). Selama kuliah pernah menjadi asisten laboratorium untuk mata kuliah praktikum Fisika Dasar dan Fisika Modern, dan peserta olimpiade OSN-Pertamina. Diluar bidang akademik, penulis juga aktif dalam kegiatan organisasi kemahasiswaan yaitu dalam organisasi Badan Legislatif Mahasiswa (BLM) tingkat jurusan fisika sebagai *staff budgeting* periode 2011/2012 dan sekretaris umum periode 2012/2013. Tahun 2014 bergabung dengan BPPT (Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi) pada unit PTPSE (Pusat Teknologi dan Pengembangan Sumberdaya Energi) untuk melaksanakan Praktik Kerja Lapangan. Pernah bekerja sebagai pengajar *private* untuk mata pelajaran matematika dan umum untuk SMP dan SMA.

Pada Juni 2015, menjadi pemakalah seminar nasional fisika 2015 di Universitas Negeri Jakarta (UNJ). Dan di waktu yang sama, penulis berhasil menyelesaikan penelitian skripsinya di bidang energi terbarukan dengan judul Pengembangan Pembangkit Listrik Teaga Hibrida Menggunakan Turbin Angin Sumbu Vertikal Tipe Double-Stage Savonius dan Panel Surya di bawah bimbingan Bapak Cecep E Rustana, Ph.D dan Bapak Hadi Nasbey, S.Pd, M.Si.