

549907/A/14



TUGAS AKHIR - TF 091381

**RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN VERTIKAL
JENIS SAVONIUS DENGAN INTEGRASI
OBSTACLE UNTUK MEMPEROLEH DAYA
MAKSIMUM**

ANDI ROYHAN ALBY
NRP. 2411 105 004

RSR
621.312.136

Alb
F-1
2013

Dosen Pembimbing :
Dr. Gunawan Nugroho, ST. MT.
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc

Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2013

PERPUSTAKAAN ITS	
tgl Terima	10-2-14
Terima Oleh	Alb
No Agenda Prp.	-



FINAL PROJECT - TF 091381

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF VERTICAL
AXIS WIND TURBINE SAVONIUS TYPE WITH
USING INTEGRATION OBSTACLE OF THE
BLADE TO GET MAXIMUM POWER**

**ANDI ROYHAN ALBY
NRP 2411 105 004**

Lecture 1:
Dr. Gunawan Nugroho, ST. MT.
Dr. Ir. Ali Musyafa', M.Sc

*Departement Of Physics Engineering
Faculty of Technology Industry (FTI)
Institute Technology of Sepuluh Nopember (ITS)
Surabaya 2013*

LEMBAR PENGESAHAN

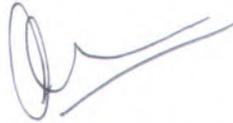
**RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN VERTIKAL JENIS
SAVONIUS DENGAN INTEGRASI *OBSTACLE* UNTUK
MEMPEROLEH DAYA MAKSIMUM**

TUGAS AKHIR

Oleh :
ANDI ROYHAN ALBY
NRP. 2411 105 0004

Surabaya, 10 Juli 2013
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I



Dr. Gunawan Nugroho ST. MT.
NIP. 19771127 200212 1 002

Pembimbing II



Dr. Ir. Ali Musyafa' M.Sc
NIP. 19600901 198701 1 001

**Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI – ITS**



Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA
NIP. 19650309 199002 1 001

**RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN VERTIKAL JENIS
SAVONIUS DENGAN INTEGRASI *OBSTACLE* UNTUK
MEMPEROLEH DAYA MAKSIMUM**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
pada
Bidang Studi Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:
ANDI ROYHAN ALBY
NRP. 2411 105 0004**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Dr. Gunawan Nugroho, ST. MT.(Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Ali Musyafa' M.Sc(Pembimbing II)
3. Dr. Ridho Hantoro, ST. MT.(Penguji I)
4. Hendra Cordova , ST. MT.(Penguji II)

**SURABAYA
Juli, 2013**

**RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN VERTIKAL JENIS
SAVONIUS DENGAN INTEGRASI *OBSTACLE* UNTUK
MEMPEROLEH DAYA MAKSIMUM**

Nama Mahasiswa : Andi Royhan Alby
NRP : 2411 105 004
Program Studi : Lintas Jalur S1 Teknik Fisika
Jurusan : Teknik Fisika FTI-ITS
Pembimbing : 1. Dr. Gunawan Nugroho ST. MT.
2. Dr. Ir. Ali Musyafa' M.Sc

Abstrak

Turbin jenis Savonius merupakan salah satu jenis turbin sumbu vertical yang sangat populer. Terdapat banyak faktor yang dapat mempengaruhi performansi turbin angin Savonius. Namun dalam penelitian kali ini, variabel yang akan diteliti yaitu pengaruh pengintegrasian *obstacle* terhadap daya maksimum yang dihasilkan turbin angin. Diharapkan dengan perbedaan integrasi *obstacle* yang diberikan akan meminimalkan torsi negatif yang dihasilkan dari *returning blade* yang berdampak pada daya yang akan dihasilkan. Pada penelitian ini dilakukan pengintegrasian *obstacle* dengan memberikan plat didepan *returning blade* dengan sudut $\beta=80^\circ$, $\beta=100^\circ$ dan berbentuk setengah lingkaran. Berdasarkan hasil pengukuran untuk pengintegrasian *obstacle* dengan $\beta=80^\circ$, $\beta=100^\circ$ dan berbentuk setengah lingkaran. Besar C_p yang didapat dengan integrasi *obstacle* memperoleh hasil lebih baik dimana untuk jenis *obstacle* setengah lingkaran dan dengan nilai $\beta=80^\circ$ mendapatkan nilai C_p dan TSR hingga 0.30 dengan nilai TSR 0.49, sedangkan tanpa menggunakan integrasi *obstacle* nilai C_p yang didapat 0.15 dan TSR didapat 0.39. hal ini menunjukkan jika penggunaan *obstacle* berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan oleh turbin angin jenis Savonius.

Kata Kunci : turbin angin, integrasi *obstacle* , daya maksimum, momen inersia, gaya drag.

**DESIGN AND IMPLEMENTATION OF VERTICAL AXIS
WIND TURBINE SAVONIUS TYPE WITH INTEGRATION
OBSTACLE OF THE BLADE TO GET MAXIMUM POWER**

Name : Andi Royhan Alby
NRP : 2411 105 004
Program Study : S1 Physics Engineering
Department : Physics Engineering FTI-ITS
Lecture : 1. Dr. Gunawan Nugroho ST. MT.
2. Dr. Ir. Ali Musyafa' M.Sc

Abstract

Savonius type of turbine is a vertical axis turbine which is popular. There are many factors that can affect the performansi of wind turbine Savonius. However, in this research, the variables will be studied is the effect of integrating obstacle to the maximum power generated wind turbines. Expected with given the obstacle difference integration will minimize the negative torque generated from the returning blade that impact on power generated. In this research, the integration of obstacle giving the plate in front of the returning blade angle 80° , 100° and semicircular. Based on the results of measurements obstacle to integration with $\beta = 80^\circ$, $\beta = 100^\circ$ and semicircular. C_p big obstacle obtained by integration have better results for this type of obstacle that a half circle and the value of $\beta = 80^\circ$ get value C_p and TSR. TSR value until 0.30 with 0.49, while without using integration obstacle obtained C_p values obtained TSR 0.15 and 0.39. This shows if obstacle react to use the power generated by the wind turbine Savonius type.

Keywords: wind turbine, obstacle integration, maximum power, moment of inertia, drag force

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah, Segala puji syukur kehadiran Allah SWT atas limpahan rahmat, hidayat serta inayahnya dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Jenis Savonius dengan Integrasi *Obstacle* untuk Memperoleh Daya Maksimum”. Penulis telah banyak mendapatkan bantuan dari berbagai pihak dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada :

1. Bapak Dr. Ir. Totok Soehartanto, DEA selaku Ketua Jurusan Teknik Fisika ITS dan sebagai dosen wali penulis.
2. Bapak Dr. Gunawan Nugroho ST. MT. yang telah sabar dalam memberikan dukungan, bimbingan dan ilmunya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Ali Musyafa' M.Sc yang telah sabar dalam memberikan dukungan, bimbingan dan ilmunya dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Dr. Ridho Hantoro, ST, MT selaku Kasie Tugas Akhir Jurusan Teknik Fisika FTI-ITS.
5. Bapak dan Ibu dosen Teknik Fisika yang telah memberikan ilmu selama kuliah.
6. Laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan serta Workshop Instrumentasi yang telah memberikan tempat dalam pengerjaan dalam Tugas Akhir ini.
7. Teman-teman seperjuangan turbin angin savonius dalam mengerjakan Tugas Akhir ini.
8. Semua Anggota dan member laboratorium Rekayasa Energi dan Pengkondisian Lingkungan yang telah membantu dan memberikan dukungan demi kelancaran Tugas Akhir.

9. Semua Anggota laboratorium Workshop Instrumentasi yang telah membantu dan memberikan dukungan demi kelancaran Tugas Akhir.
10. Semua pihak yang telah mendukung dan memberikan doa yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu.
11. Dan selalu untuk nona sempurna yang selalu menjadi ambisi tersendiri untuk melakukan semua hal yang dianggap orang lain tidak mungkin

Penulis juga mengucapkan terima kasih khusus untuk orang tua yang selalu mendukung untuk langkah demi langkah besar yang dijalani. Ayah untuk ketegasannya dan ibu untuk kesabarannya. dan kakak yang selalu ngasih standard terlalu tinggi. Penulis juga berharap semoga laporan ini dapat menambah wawasan yang bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, 10 Juli 2013

Penulis

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR PERSAMAAN	xiv
DAFTAR SIMBOL	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan Masalah.....	2
1.5 Sistematika Laporan.....	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Definisi Turbin Angin	5
2.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal	5
2.3 Sistem Konversi Energi Angin.....	8
BAB III METODOLOGI	15
3.1 Konsep Pengerjaan Tugas Akhir	15
3.2 Konsep Perancangan Turbin Savonius dengan Integrasi Obstacle	19
3.3 Spesifikasi Geometri Rotor Turbin Angin	17
3.4 Fabrikasi Turbin Savonius dengan Integrasi Obstacle ...	17

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	21
4.1 Hasil Pengukuran	21
4.2 Hasil Perhitungan	25
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	35
5.1 Kesimpulan.....	35
5.2 Saran.....	35

DAFTAR PUSTAKA

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	(a) Gambar turbinVAWT jenis Savonius (b) Gambar turbin angin jenis Darrieus.	6
Gambar 2.2	Konsep dasar turbin Savonius.	7
Gambar 2.3	Paket angin dengan kecepatan u .	9
Gambar 2.4	Aliran udara yang mengalir pada tabung ideal.	10
Gambar 2.5	Performansi turbin angin berdasarkan teori Betz.	12
Gambar 2.6	Performansi Turbin Angin Berdasarkan Teori Betz.	15
Gambar 3.1	Diagram Alir Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir.	15
Gambar 3.2	(a) Desain turbin konvensional, (b) Desain integrasi <i>obstacle</i> $\beta=100^\circ$, (c) Desain integrasi $\beta=80^\circ$ dan (d) Desain <i>obstacle</i> dengan bentuk setengah lingkaran.	16
Gambar 3.3	Gambar <i>end plate</i> .	17
Gambar 3.4	Sudu dan shaft pada <i>end plate</i> .	18
Gambar 3.5	Gambar setelah pemasangan <i>obstacle</i>	19
Gambar 3.6	Gambar pengujian turbin angin.	20
Gambar 4.1	Grafik Perbandingan hubungan RPM dan Kecepatan Angin pada Pengujian dengan generator.	23
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan hubungan daya dan Kecepatan Angin pada Pengujian dengan pembebanan.	38
Gambar 4.3	Grafik hubungan antara RPM dan Kecepatan angin tanpa adanya pembebanan (generator)	30
Gambar 4.4	Grafik hubungan antara RPM dan Kecepatan angin dengan pembebanan (generator) Grafik hubungan antara RPM dan Kecepatan angin dengan pembebanan (generator)	31

Gambar 4.5 Grafik hubungan antara TSR dan 32 Kecepatan angin

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1	Spesifikasi Turbin Angin	17
Tabel 4.1	Data Pengujian integrasi <i>obstacle</i> $\beta = 80^\circ$ dengan keluaran dari generator	21
Tabel 4.2	Data Pengujian integrasi <i>obstacle</i> $\beta = 100^\circ$ dengan keluaran dari generator	21
Tabel 4.3	Data Pengujian integrasi <i>obstacle</i> setengah lingkaran didapatkan hasil keluaran dari generator.	22
Tabel 4.4	Data Pengujian tanpa <i>obstacle</i> setengah lingkaran dengan generator (pembebanan)	22
Tabel 4.5	Data Perhitungan daya angin dan turbin dengan integrasi <i>obstacle</i> $\beta = 80^\circ$	25
Tabel 4.6	Data Perhitungan daya angin dan turbin dengan integrasi <i>obstacle</i> $\beta = 100^\circ$	25
Tabel 4.7	Data Perhitungan daya angin dan turbin dengan integrasi <i>obstacle</i> berbentuk setengah lingkaran	26
Tabel 4.8	Data Perhitungan daya angin dan turbin dengan tanpa pengintegrasian <i>obstacle</i>	26
Tabel 4.9	Data hasil perhitungan TSR dan Cp untuk turbin angin dengan integrasi	27
Tabel 4.10	Data hasil perhitungan TSR dan Cp untuk turbin angin dengan integrasi <i>obstacle</i> $\beta = 100^\circ$	28
Tabel 4.11	Data hasil perhitungan TSR dan Cp untuk turbin angin dengan integrasi <i>obstacle</i> setengah lingkaran	28
Tabel 4.12	Data hasil perhitungan untuk turbin angin tanpa integrasi <i>obstacle</i>	29

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1	Energi Kinetik Angin	8
Persamaan 2.2	Energi Kinetik Angin	22
Persamaan 2.3	Daya Angin	10
Persamaan 2.4	Daya Mekanis	11
Persamaan 2.5	Momen Inersia Total	11
Persamaan 2.6	Inersia <i>Blade</i>	11
Persamaan 2.7	Inersia <i>End Place</i>	11
Persamaan 2.8	Kecepatan Sudut	11
Persamaan 2.9	<i>Tip Speed Ratio (TSR)</i>	12
Persamaan 2.10	<i>Coefficient Power (Cp)</i>	13
Persamaan 4.1	Daya Mekanis	25
Persamaan 4.2	Inersia total	25
Persamaan 4.3	Inersia <i>Blade</i>	25
Persamaan 4.4	Inersia <i>End Plate</i>	25
Persamaan 4.5	Daya Angin	26
Persamaan 4.6	<i>Coefficient power</i>	28
Persamaan 4.7	<i>Tip speed ratio (TSR)</i>	29

DAFTAR SIMBOL

A	Luas penampang (permukaan)
C_p	Koefisien daya (<i>coefficient of power</i>)
C_{pR}	Koefisien daya pada kecepatan angin rata-rata
I	Arus listrik
n	Kecepatan putar turbin per menit
ρ	Densitas udara
p	Tekanan udara
P	Daya listrik
P_e	Daya listrik atau daya keluaran generator
P_m	Daya mekanis
P_w	Daya angin
λ	Rasio kecepatan ujung (<i>tip speed ratio</i>)
u	Kecepatan angin
u_R	Kecepatan angin rata-rata
U	Energi kinetik
v	Kecepatan angin
V	Tegangan listrik
ω_m	Kecepatan sudut turbin
x	Arah

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Angin selama ini dipandang sebagai proses alam biasa yang kurang memiliki nilai ekonomis bagi kegiatan produktif masyarakat. Padahal, di berbagai negara, pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi alternatif nonkonvensional sudah semakin mendapatkan perhatian. Energi angin di Indonesia merupakan salah satu pilihan yang cukup potensial sebagai alternatif penghasil listrik (Putranto, 2011). Hal ini tentu saja didorong oleh kesadaran terhadap timbulnya krisis energi dengan kenyataan bahwa kebutuhan energi terus meningkat sedemikian besarnya.

Akibat krisis energi di seluruh dunia, penelitian dan pengembangan kegiatan di bidang energi terbarukan telah sangat meningkat di banyak Negara. Di samping itu, angin merupakan sumber energi yang tidak ada habisnya sehingga pemanfaatan sistem konversi energi angin akan berdampak positif terhadap lingkungan. Meskipun beberapa penelitian sudah dilakukan, desain teknis yang tersedia belum memadai untuk mengembangkan konverter energi angin dapat diandalkan untuk kondisi yang sesuai untuk kecepatan angin rendah.

Turbin Savonius tampaknya sangat menjanjikan untuk kondisi seperti itu, Tetapi turbin Savonius menunjukkan banyak kelemahan dibandingkan dengan turbin lainnya, khususnya efisiensi yang rendah. Beberapa penelitian sebelumnya mengatakan jika dengan karakteristik turbin jenis Savonius dinilai terlalu sederhana yang mengakibatkan efisiensi yang dihasilkan cukup rendah. (G. Janiga, 2011). Banyak penulis telah mencoba meneliti untuk mengidentifikasi prinsip-prinsip terbaik untuk meningkatkan karakteristik turbin savonius, salah satunya dengan menambahkan halangan/*obstacle* yang dianggap desain penghalang ini dapat meningkatkan daya keluaran dari turbin savonius klasik.

Oleh karena itu pada tugas akhir ini, dirancang turbin Jenis Savonius terintegrasi dengan halangan/*obstacle* dengan harapan dapat mereduksi besarnya torsi negatif untuk memaksimalkan daya mekanis dari turbin jenis Savonius.

1.2 Rumusan Masalah

Terdapat banyak faktor yang dapat mempengaruhi performansi turbin angin Savonius. Namun dalam penelitian kali ini, Variabel yang akan diteliti yaitu pengaruh pengintegrasian *obstacle* terhadap daya maksimum yang dihasilkan turbin angin untuk angin berkecepatan rendah. Diharapkan dengan perbedaan integrasi *obstacle* yang diberikan akan meminimalkan torsi negatif yang dihasilkan dari *returning blade* yang berdampak pada daya yang akan dihasilkan.

1.3 Tujuan

Tujuan utama dari penelitian ini adalah menganalisis pengaruh integrasi *obstacle* terhadap daya yang dihasilkan. Hasil penelitian ini ditujukan untuk pemilihan dan penentuan jenis *obstacle* untuk memperoleh yang daya maksimum.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan ruang lingkup dari penelitian ini antara lain:

- Desain *obstacle* yang digunakan berjenis plat dengan nilai β 80°, 100° dan setengah lingkaran, dimana fabrikasi *obstacle* menggunakan fiber plastis
- Material untuk fabrikasi sudu menggunakan PVC
- *Overlap ratio* (jarak antar blade) adalah 20%
- *Aspect ratio* (perbandingan lebar dan tinggi blade) adalah 4.0
- Sudu yang dipakai sama yaitu dengan menggunakan dua sudu dengan spesifikasi sama,
- *End plate parameter* (perbandingan lebar rotor dan penampang) adalah 1.1
- Aliran *fluida* diasumsikan *steady*, *incompressible* dan *uniform* pada sisi inlet.

1.5 Sistematika Laporan

Untuk memperoleh gambaran tentang isi dari tugas akhir ini maka akan dikemukakan sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Terdiri atas : Latar Belakang, Rumusan Permasalahan, Batasan Masalah, Tujuan dan Sistematika Laporan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori penunjang yang digunakan dalam penelitian ini.

BAB III METODOLOGI

Berisi langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Terdiri atas : Hasil dan Pembahasan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Terdiri atas : Kesimpulan dan Saran.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Definisi Turbin Angin

Turbin angin atau generator listrik tenaga angin merupakan perangkat yang merubah energi kinetik dari angin menjadi energi listrik. Pembangkit Listrik Tenaga Bayu mengkonversikan energi angin menjadi energi listrik dengan menggunakan turbin angin atau kincir angin. Cara kerjanya cukup sederhana, energi angin yang memutar turbin angin, diteruskan untuk memutar rotor pada generator dibelakang bagian turbin angin, sehingga akan menghasilkan energi listrik (Putranto, 2011).

Indonesia memiliki potensi energi angin yang cukup memadai karena kecepatan angin rata-rata berkisar 3,5 – 7 m/s. Berdasarkan hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN) di pulau Jawa kecepatan angin rata-rata berkisar 2,5 – 4,0 m/s (LAPAN,2005). Energi angin merupakan salah satu potensi energi terbarukan yang dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kebutuhan energi listrik domestik, khususnya wilayah terpencil. Pembangkit energi angin yang biasa disebut Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) ini bebas polusi dan sumber energinya yaitu angin tersedia di mana pun, maka pembangkit ini dapat menjawab masalah lingkungan hidup dan ketersediaan sumber energi. Dibandingkan dengan sumber energi alternatif lainnya ekstraksi energi dari angin memiliki keluaran karbon yang relatif rendah.

2.2 Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (atau TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. VAWT mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Dengan sumbu yang vertikal, generator serta gearbox bisa ditempatkan di dekat tanah,

jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. Drag (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida (zat cair atau gas) bisa saja tercipta saat kincir berputar (Putranto, 2011)

Terdapat dua jenis turbin sumbu vertikal yang sering digunakan yaitu jenis Darrieus dan Savonius.

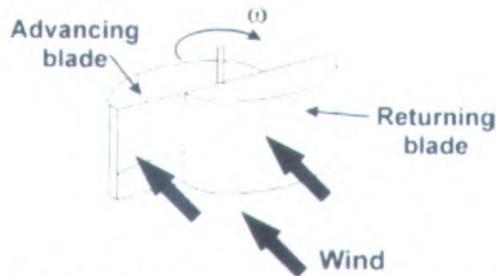


(a) (b)

Gambar 2.1 (a) Gambar turbinVAWT jenis Savonius (b) Gambar turbin angin jenis Darrieus

S.J. Savonius awalnya mengembangkan sumbu rotor Savonius vertikal pada akhir tahun 1920. Konsep rotor Savonius konvensional didasarkan pada pemotongan silinder menjadi dua bagian sepanjang bidang pusat dan kemudian memindahkan dua silinder setengah samping sepanjang bidang pemotongan, sehingga penampang menyerupai huruf S (G. Janiga, 2011).

Angin yang masuk pada rotor Savonius dengan kecepatan tertentu menciptakan torsi positif di bagian dalam silinder membentuk rotor dan torsi negatif di bagian luarnya. Oleh karena torsi di bagian dalamnya mendapatkan gaya yang lebih tinggi dari torsi di bagian luar maka turbin angin Savonius akan menghasilkan gerakan.



Gambar 2.2 Konsep dasar turbin Savonius

Turbin jenis Savonius merupakan salah satu jenis turbin sumbu vertical yang sangat populer. Salah satu kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi sehingga turbin jenis vertikal ini mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Permasalahan yang sering dihadapi dari jenis turbin angin biasanya akibat posisi yang disimpan pada keadaan didekat bangunan menyebabkan angin datang dengan gaya yang fluktuatif, selain itu, angin yang dihasilkanpun relatif kecil yang menyebabkan hasil yang didapatkan turbin relatif kecil. masalah lainnya adalah aliran udara didekat tanah dan bangunan menciptakan aliran yang sedikit turbulen yang mana ini menyebabkan getaran dan kebisingan pada saat turbin ini sedang beroperasi. tapi kelebihan lainnya pemasangan di dekat tanah dan bangunan ini memudahkan kita untuk mengakses ketika terjadi kerusakan sehingga perawatan turbin tegak ini relatif mudah.

Turbin jenis Darrieus ditemukan oleh seorang insinyur Prancis George Jean Maria Darrieus yang dipatenkan pada tahun 1931. Turbin angin Darrieus mempunyai sudu yang disusun dalam posisi simetri dengan poros. Pengaturan ini cukup efektif untuk menangkap berbagai arah angin. berbeda dengan Savonius, kincir angin Darrieus bergerak dengan memanfaatkan gaya angkat yang terjadi ketika angin bertiup bilah sudu turbin Darrieus bergerak dengan memanfaatkan gaya angkat yang

terjadi ketika angin bertip. bilah sudu turbin Darrieus bergerak berputar mengelilingi sumbu (Daryanto, Y., 2011).

2.3 Sistem Konversi Energi Angin (SKEA)

Pada dasarnya turbin angin diturunkan berdasarkan prinsip-prinsip dasar dengan menggunakan konservasi massa dan konservasi energy dalam aliran angin (M Ragheb 2011). Turbin angin bekerja dengan mengubah energi kinetik angin menjadi energy rotasi pada turbin dan kemudian menjadi energy listrik. Energi yang didapat tergantung dari kecepatan angin dan luas sapuan turbin. Oleh sebab itu penting untuk mengetahui koefisien daya dalam turbin dengan kecepatan angin tertentu dimana turbin menghasilkan nilai daya. Dimana beberapa parameter yang berpengaruh dalam penentuan daya yang dihasilkan adalah dengan menghitung nilai koefisien daya dan *tip speed ratio* (TSR).

Beberapa hal yang sangat berpengaruh terhadap daya keluaran turbin energi kinetik dari turbin diantaranya kecepatan udara dan masa udara yang mengalir. Sehingga dapat ditulis dalam bentuk persamaan sebagai berikut ini (A. Kalmikov) :

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

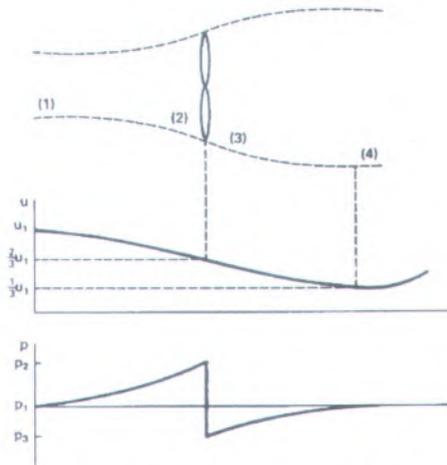
dimana :

E : energi kinetik (Joule)

m : massa udara yang bergerak (kg)

v : kecepatan angin (m/s)

Energi angin tersebut dikonversi menjadi energi mekanik rotor, dimana angin yang memiliki massa (m) yang bergerak pada kecepatan (v) bergerak dalam suatu arah x. Berikut adalah gambar ketika angin bergerak dengan kecepatan u mengarah pada sumbu x



Gambar 2.4 Aliran udara yang mengalir pada tabung ideal
(Johnson,2006)

Dimana ini menjelaskan jika kecepatan angin menurun ketika telah melewati turbin, jadi angin yang melewati turbin terekstraksi menjadi potensial mengakibatkan tekanan bertambah, sedangkan energy kinetic angin akan terkonversi menjadi energi potensial setelah melalui turbin, sehingga menyebabkan kecepatan angin akan berkurang hingga tekanan mencapai titik setimbang.

Daya angin P_w pada dasarnya merupakan turunan waktu dari energi kinetik angin yang dapat direpresentasikan sebagai berikut ini:

$$P_w = \frac{dU}{dt} = \frac{1}{2} \rho A u^2 \frac{dx}{dt} = \frac{1}{2} \rho A u^3 \quad (2.3)$$

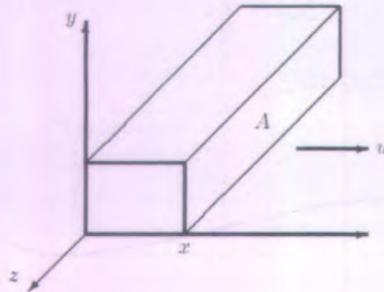
dimana :

P_w : daya kinetik angin (W)

A : luas penampang [tinggi rotor (H) x diameter (D)] (m^2)

v : kecepatan angin (m/s)

ρ : densitas udara (ρ rata-rata : $1,2 \text{ kg/m}^3$)



Gambar 2.3 Paket angin dengan kecepatan u (Johnson, 2006)

Dengan sisi lain dianggap tetap paket angin yang bergerak ke arah x dapat disimpulkan jika energi kinetik akan meningkat secara seragam seiring dengan bertambahnya nilai x , yang dapat direpresentasikan pada persamaan berikut : (Johnson, 2006):

$$E = \frac{1}{2}(\rho Ax)v^2 \quad (2.2)$$

dimana :

A : luas penampang (m^2)

ρ : densitas udara ($1,293 \text{ kg/m}^3$ pada kondisi standar udara kering)

x : ketebalan atau volume paket angin dengan massa sebesar m

Untuk melihat suatu aliran udara melalui tabung yang ideal dalam buku Johnson dengan judul *Wind Energy Systems* diperlihatkan aliran udara pada tabung ideal dijelaskan jika aliran angin bergerak pada tabung angin secara laminar pada diameter d , kecepatan u dan tekanan p yang mengarah pada turbin angin. Berikut gambar aliran udara pada tabung ideal.

Daya mekanis dari turbin angin savonius ditentukan dari momen inersia dan kecepatan sudut per lamanya waktu yang dibutuhkan turbin hingga menghasilkan kecepatan sudut yang *steady* seperti yang ditunjukkan pada persamaan dibawah ini:

$$P_m = \frac{1}{2} I \frac{\omega^2}{\Delta t} \quad (2.4)$$

dimana:

I : momen inersia (kg m^2)

ω : kecepatan sudut (rad/s)

Δt : selisih waktu hingga turbin menghasilkan kecepatan sudut yang *steady* (s)

Momen inersia (I) didapatkan dari persamaan berikut ini :

$$I = I_{blade\ a} + I_{blade\ b} + I_{endplate\ a} + I_{endplate\ b} \quad (2.5)$$

dimana:

$$I_{blade\ a,b} : \left[\frac{1}{4} m (a_1^2 - a_2^2) + (b_1^2 - b_2^2) \right] + m d^2 \quad (2.6)$$

$$I_{endplate\ a,b} : \frac{1}{2} m R^2 \quad (2.7)$$

d : pergeseran benda (m)

m : massa (kg)

R : jari-jari (m)

Dimana Kecepatan sudut (ω) didapatkan dari persamaan berikut ini (Sargolzaei,2007):

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \quad (2.8)$$

dimana:

n : kecepatan putar turbin (rpm)

Salah satu konsep penting lainnya yang berkaitan dengan performansi turbin angin adalah menghitung *tip speed ratio* (TSR) dimana *tip speed ratio* didefinisikan sebagai kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. *Tip speed ratio* berpengaruh terhadap kecepatan putar rotor, jika rotor berputar terlalu lambat memungkinkan terlalu banyak angin yang tidak terekstraksi (Magdi, 2011). *Tip speed ratio* dapat dipresentasikan dalam rumus sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{\omega D}{2v} \quad (2.9)$$

dimana:

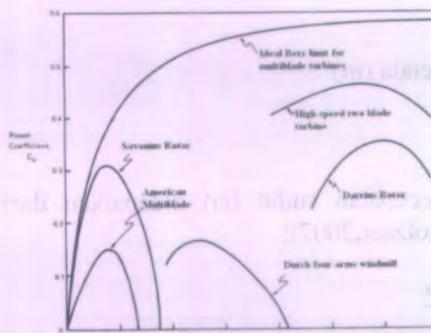
λ : *tip speed ratio*

D : diameter rotor (m)

n : putaran rotor (rpm)

v : kecepatan angin (m/s)

Secara teori efisiensi maksimum teoritis dari turbin angin didapatkan oleh batas Betz dimana hasil maksimum koefisien daya 0.593. dan secara praktik turbin angin hanya bisa beroperasi dibawah batas Betz. dapat dijelaskan pada gambar performansi turbin angin berdasarkan teori Betz sebagai berikut :



Gambar 2.3 Performansi turbin angin berdasarkan teori Betz (M Ragreb, 2011)

Koefisien daya atau C_p (*coefficient of power*) merupakan suatu perhitungan yang dapat merepresentasikan performa turbin angin, nilai tersebut ditunjukkan dalam suatu rasio perbandingan antara daya mekanis angin dibanding daya kinetik angin. Dimana nilai dari koefisien daya dapat merepresentasikan performansi dari turbin angin angin. Jadi semakin besar nilai koefisien daya dari suatu turbin maka performansi turbin tersebut maka semakin baik performansi dari turbin angin tersebut. Secara teori C_p (*coefficient of power*) adalah pengukuran seberapa efisien turbin angin mengubah energi angin menjadi energi listrik. Dapat ditulis dalam persamaan :

$$C_p = \frac{P_m}{P_w} \quad (2.10)$$

dimana :

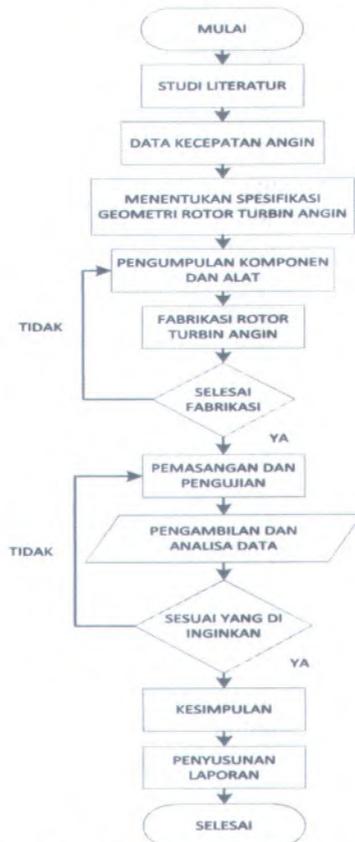
P_m : daya mekanis turbin (W)

P_w : daya kinetik angin(W)

BAB III PERANCANGAN DAN PEMBUATAN ALAT

3.1 Konsep Pengerjaan Tugas Akhir

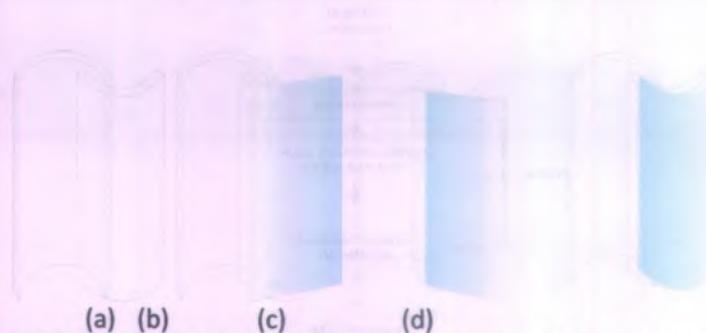
Dalam pengerjaan tugas akhir kali ini. Yaitu melakukan penelitian dengan membuat turbin angin Savonius dan menganalisa pengaruh yang dihasilkan oleh wind turbin dengan mengintegrasikan *obstacle* untuk mendapatkan nilai daya yang maksimum.



Gambar 3.1 Diagram Alir Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir

3.2 Konsep Perancangan Turbin Savonius dengan Integrasi *Obstacle*

Penelitian ini dilakukan untuk menganalisa pengaruh perubahan 3 jenis desain *obstacle* yaitu desain dengan plat yang bernilai β bernilai 80° dan β bernilai 100° . desain *obstacle* yang digunakan berjenis plat dengan nilai β 80° , 100° dan setengah lingkaran, dimana fabrikasi *obstacle* menggunakan fiber plastis. material untuk fabrikasi sudu menggunakan PVC. sudu yang dipakai sama yaitu dengan menggunakan dua sudu dengan spesifikasi panjang, lebar dan tinggi sudu yang digunakan adalah sama. aliran fluida diasumsikan steady, incompressible dan uniform pada sisi inlet. Desain dengan β bernilai 80° bertujuan untuk mengarahkan angin masuk langsung pada sudu positif (*advancing blade*) ini ditujukan agar angin yang pada awalnya akan menumpuk sudu negatif (*reverse blade*). Sedangkan untuk integrasi *obstacle* yang bernilai $\beta=100^\circ$ ini ditujukan agar angin tidak menumbuk sudu negatif (*reverse blade*) sama sekali. Sedangkan desain setengah lingkaran ini dibentuk hampir menyerupai bentuk blade konvensional dengan tujuan meminimalisir *drag coefficient*.



Gambar 3.2 (a) Desain turbin konvensional, (b) Desain integrasi *obstacle* $\beta=100^\circ$, (c) Desain integrasi $\beta=80^\circ$ dan (d) Desain *obstacle* dengan bentuk setengah lingkaran

3.3 Spesifikasi Geometri Rotor Turbin Angin

Pada penelitian ini dilakukan pembuatan turbin angin Savonius dengan kriteria dan spesifikasi sebagai berikut:

Tabel 3.1 Spesifikasi Turbin Angin

Spesifikasi	Nilai
Bahan Sudu	PVC
Bahan Obstacle	Fiber
Tinggi blade turbin angin	36 cm
Diameter blade turbin angin	10 cm
Diameter <i>endplate</i> turbin angin	19,8 cm
<i>Overlap Ratio</i>	0.2
<i>Aspect Ratio</i>	4.0
<i>Endplate parameter</i>	1.1
Diameter <i>shaft</i>	0,8 cm

3.4 Fabrikasi Turbin Savonius dengan Integrasi *Obstacle*

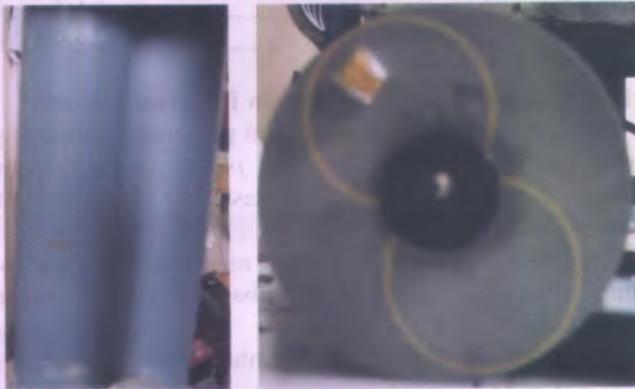
Terdapat beberapa tahapan dalam pembuatan turbin angin Savonius, Diantaranya pembuatan *end plate*, pembuatan sudu, pemasangan sudu pada *end plate*, pemasangan *shaft*, pembuatan *obstacle* dan pemasangan *obstacle*.

End plate dibuat dengan cara membuat pola lingkaran menggunakan PVC berbentuk lembaran. PVC lembaran kemudian dibubut untuk dihaluskan dan untuk mengatur ketebalan. setelah itu dibentuk pola untuk tempat pemasangan sudu pada *end plate*.



Gambar 3.3 Gambar *end plate*

Sudu dibuat dengan cara memotong pipa PVC menjadi 2 bagian sesuai dengan lebar dan tinggi geometri yang diperlukan. ukuran pemotongan ini diharuskan sama karena akan sangat mempengaruhi kinerja dari turbin angin. Selanjutnya sudu dipasang pada *end plate* dengan cara menempelkan sudu pada pola lingkaran yang sudah dibentuk pada *end plate* kemudian di lem. Setelah lem mengering kemudian dilakukan pengelasan pada bagian ujung sudu, ini ditujukan untuk memperkuat sudu yang sudah terpasang. Pemasangan sudu pada *end plate* membutuhkan presisi yang cukup tinggi. sebab, jika posisi sudu tidak seimbang membuat turbin kemungkinan besar akan miring yang membuat turbin menjadi tidak stabil.



Gambar 3.4 Sudu dan shaft pada end plate

Untuk pemasangan *shaft* dilakukan dengan cara memasang tabung aluminium pada ujung atas dan bawah turbin angin. sebelum pemasangan *shaft* sebelumnya di ukur berat turbin. ini untuk mengetahui apakah beban turbin atas dan bawah sama, jika tidak maka harus ada penambahan beban agar turbin berjalan seimbang.



Gambar 3.5 Gambar setelah pemasangan *obstacle*

Setelah turbin angin selesai di fabrikasi dilanjutkan dengan memfabrikasi *obstacle*. yaitu dengan membuat rangka menggunakan alumunium batang dipotong mengikuti bentuk dari *obstacle* dengan panjang dan lebar sudu. pemasangan dilakukan pada rangka turbin angin. Pemasangan *obstacle* pada rangka menggunakan klem untuk menjaga stabilitas pada saat pengujian.

3.5 Skema Pengujian dan Performansi Turbin Angin

Pengujian turbin angin dilakukan pada rangka yang telah dilengkapi generator. Pengujian turbin angin meliputi pengukuran kecepatan angin, pengukuran kecepatan rotasional turbin angin (Rotasi per menit) dan pengukuran daya keluaran yang dihasilkan dari turbin angin. berikut penjelasan masing-masing dari pengukuran turbin tersebut :

- Pengukuran kecepatan angin
pengukuran kecepatan angin menggunakan anemometer. anemometer digunakan untuk mengetahui distribusi kecepatan angin pada setiap bagian turbin angin. sehingga dapat merepresentasikan kecepatan angin referensinya. Pada pengujian kali ini angin yang digunakan adalah kecepatan 3,8 m/s , 4 m/s, 4.2 m/s, 4,4 m/s dan 4,6 m/s.
- Pengukuran Kecepatan Putar per Menit
pengukuran kecepatan putar per menit (rotasi per menit) ini dilakukan pada masing-masing pengujian integrasi *obstacle*.

Alat yang dipakai pada pengujian ini yaitu menggunakan stroboskop tachometer.

- Pengukuran Daya

Pengukuran daya yang dihasilkan generator ini didapat dari multimeter. pada percobaan ini pengukuran dilakukan berdasarkan tahanan resistor sebesar $1\text{ k}\Omega$ yang dihubungkan dengan keluaran generator. Berdasarkan data hasil pengukuran tegangan dilakukan perhitungan untuk menentukan arus dan daya keluaran dari turbin angin.



Gambar 3.6 Gambar pengujian turbin angin

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data hasil Pengukuran

Berikut data hasil pengukuran daya keluaran generator, dengan 3 variasi *obstacle* dan tanpa menggunakan *obstacle*

Tabel 4.1 Data Pengujian integrasi *obstacle* $\beta = 80^\circ$ dengan keluaran dari generator

v_{angin} (m/s)	n (rpm)	V (μV)	I (μA)	P (μW)
3,8	178	416	5.41	22505
4	236	453	5.84	26455
4,2	279	501	6.13	30711
4,4	328	546	6.46	35708
4,6	346	574	6.89	39548

Dilihat dari daya yang dihasilkan dari generator daya yang tertinggi didapatkan pada saat kecepatan angin 4,6 m/s dengan nilai kecepatan putar turbin mencapai 346 RPM yaitu dengan nilai daya $3,9 \times 10^{-3}$ W, Sedangkan pada kecepatan yang diujikan paling rendah yaitu pada kecepatan 3.8 m/s didapatkan hasil daya $2,2 \times 10^{-3}$ dengan kecepatan putar turbin 178 RPM.

Tabel 4.2 Data Pengujian integrasi *obstacle* $\beta = 100^\circ$ dengan keluaran dari generator

v_{angin} (m/s)	n (rpm)	V (μV)	I (μA)	P (μW)
3.8	104.2	260	4.33	1125
4	133	325	4.41	14332
4.2	152	334	5.01	16733
4,4	162.1	366	5.31	19434
4,6	172	372	5.42	20162



Pada pengujian kedua yaitu dengan pengintegrasian $\beta = 100^\circ$ daya yang dihasilkan tertinggi didapat pada kecepatan angin 4,6 m/s dimana kecepatan putar turbin mencapai 172 rpm dan daya yang dihasilkan adalah 2×10^{-3} . Sedangkan daya pada kecepatan angin rendah yaitu pada kecepatan 3.8 m/s didapatkan kecepatan putar turbin 104 rpm dengan keluaran daya $1,1 \times 10^{-3}$ W.

Tabel 4.3 Data Pengujian integrasi *obstacle* setengah lingkaran didapatkan hasil keluaran dari generator

No.	v_{angin} (m/s)	n (rpm)	V (μ V)	I (μ A)	P (μ W)
1.	3,8	185	421	5.52	23239
2.	4	264.2	462	5.92	39569
3.	4,2	305	518	6.28	40655
4.	4,4	338	562	6.67	40745
5.	4,6	352	582	7.12	39410

Pada integrasi *obstacle* dengan menggunakan setengah lingkaran didapatkan hasil tertinggi pada kecepatan 4,4 m/s dimana daya yang dihasilkan pada adalah 4.07×10^{-3} dengan kecepatan putar turbin yang dihasilkan adalah 352 rpm. Nilai terendah didapatkan pada kecepatan terendah yaitu pada kecepatan 3,8 m/s didapatkan kecepatan putar turbin pada kecepatan 185 rpm dengan daya yang dihasilkan adalah 2.3×10^{-3} .

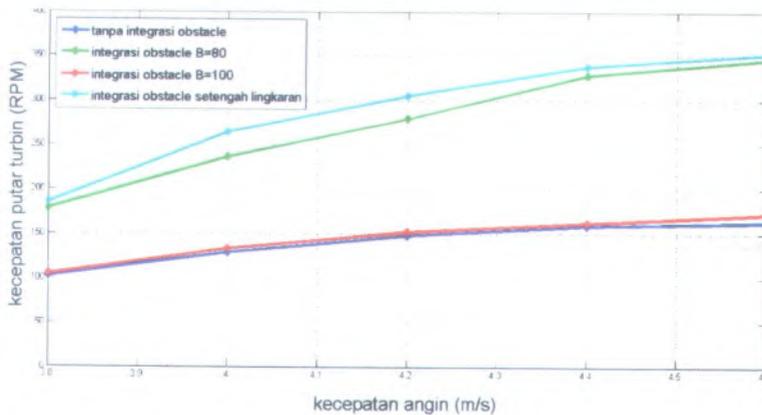
Tabel 4.4 Data Pengujian tanpa *obstacle* setengah lingkaran dengan generator (pembebanan)

No.	v_{angin} (m/s)	n (rpm)	V (μ V)	I (μ A)	P (μ W)
1.	3,8	101,9	252	3,41	8593
2.	4	128,7	310	4,25	13175
3.	4,2	147,8	331	4,60	15226
4.	4,4	158,6	350	5,25	18375
5.	4,6	162,9	367	5,32	19524

Dilihat dari data yang sudah didapat daya tertinggi didapat pada kecepatan angin 4,6 m/s didapat kecepatan putar

turbin tertinggi yaitu 162,9 rpm dengan daya yang dihasilkan yaitu $1,9 \times 10^{-3}$. Dan pada saat kecepatan angin terendah daya yang dihasilkanpun rendah yaitu $0,8 \times 10^{-3}$ dengan kecepatan putar turbin yaitu mencapai 101,9 rpm.

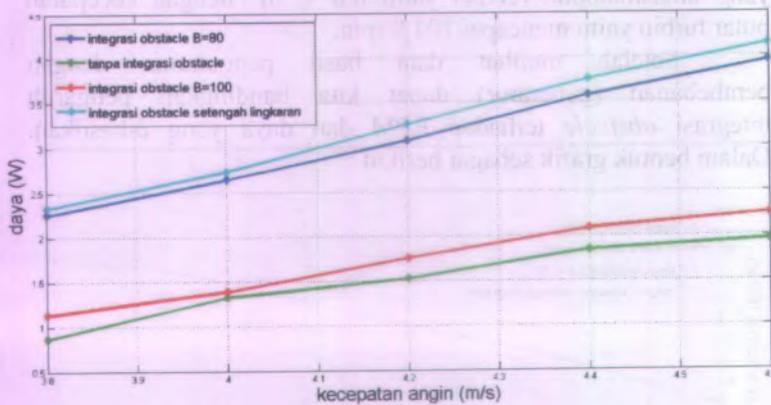
Setelah melihat data hasil pengukuran dengan pembebanan (generator) dapat kita bandingkan pengaruh integrasi *obstacle* terhadap RPM dan daya yang dihasilkan. Dalam bentuk grafik sebagai berikut :



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan hubungan RPM dan Kecepatan Angin pada Pengujian dengan generator

Dilihat dari hasil grafik yang ditampilkan kecepatan angin berpengaruh pada kecepatan putar turbin dimana kecepatan angin berbanding lurus terhadap kecepatan putar turbin yang dihasilkan. dimana pada kecepatan rendah kecepatan putar turbin yang dihasilkanpun memiliki nilai yang relatif kecil. Nilai tanpa pengintegrasian *obstacle* didapatkan paling rendah dibanding dengan pengintegrasian *obstacle*, kecepatan tertinggi didapat pada integrasi *obstacle* setengah lingkaran dan integrasi *obstacle* $\beta=80^\circ$ dimana analisa awal jika angin yang menumbuk pada *reverse blade* dapat dimanfaatkan dan ini dibuktikan jika hasil kecepatan

putar turbin dengan integrasi *obstacle* dengan mengarahkan pada *advancing* blade didapatkan hasil yang lebih baik.



Gambar 4.2 Grafik Perbandingan hubungan daya dan Kecepatan Angin pada Pengujian dengan pembebanan

Dilihat dari grafik diatas dapat dilihat jika kecepatan angin cukup berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan. Daya tertinggi didapat pada integrasi *obstacle* setengah lingkaran dan *obstacle* dengan nilai $\beta=80^\circ$ sedangkan nilai cukup rendah didapat dari integrasi *obstacle* $\beta=100^\circ$ dimana hasil keluaran generator maksimum hanya mencapai 2×10^{-3} W dengan kecepatan 4.6 m/s. tren yang terjadi sama dengan kenaikan rpm. Dimana semakin cepat angin yang diberikan maka daya yang dihasilkan oleh generator semakin besar. sedang daya terendah terjadi pada turbin angin yang tidak menggunakan integrasi *obstacle* dimana daya yang dihasilkan paling kecil dibandingkan dengan pengintegrasian *obstacle*.

4.2 Data hasil perhitungan

Berikut data hasil perhitungan daya pada turbin dan daya pada angin, dengan 3 variasi obstacle dan tanpa menggunakan obstacle

Perhitungan P_m didapat dari persamaan

$$P_m = \frac{1}{2} I \frac{\omega^2}{\Delta t} \quad (4.1)$$

Dimana nilai I ditentukan dengan perumusan

$$I = I_{blade\ a} + I_{blade\ b} + I_{endplate\ a} + I_{endplate\ b} \quad (4.2)$$

dimana:

$$\omega = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 155}{60} = 16,22$$

$$I_{blade\ a,b} : \left[\frac{1}{4} m (a_1^2 - a_2^2) + (b_1^2 - b_2^2) \right] + m d^2 \quad (4.3)$$

$$I_{endplate\ a,b} : \frac{1}{2} m R^2 \quad (4.4)$$

Berikut contoh perhitungan P_m

$$I_{blade\ a} = \left[\frac{1}{4} \cdot 0,2 (0,092^2 - 0,09^2) + (0,092^2 - 0,09^2) \right] + 0,2 \cdot 0,004^2$$

Didapatkan hasil $I_{blade} = 0,008$

$$I_{endplate\ a,b} : \frac{1}{2} \cdot 0,266 \cdot 0,1^2$$

Didapatkan hasil $I_{endplate} = 0,0013$

Dan untuk inersia total $I = (0,008 + 0,008 + 0,0013 + 0,008) = 0,0043$

$$\text{Sehingga } P_m = \frac{1}{2} \cdot 0,0013 \cdot \frac{16,22^2}{1} = 0,570\text{ W}$$

Nilai P_w didapat dengan perumusan

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A u^3 \quad (4.5)$$

Sehingga

$$P_w = \frac{1}{2} * 1.2 * (0.18 * 0.36) 3.8^3$$

Didapatkan hasil 2.13 W

Berikut adalah hasil perhitungan untuk nilai P_w dan P_m untuk masing masing pengintegrasian obstacle yang dipresentasikan dalam bentuk tabel

Tabel 4.5 Data Perhitungan daya angin dan turbin dengan integrasi *obstacle* $\beta = 80^\circ$

No.	V_{angin} (m/s)	n (rpm)	P_w (W)	P_m (W)
1.	3.8	203	2.13	0.57
2.	4	252	2.48	0.71
3.	4.2	291	2.88	0.92
4.	4,4	334	3.31	1.04
5.	4,6	354	3.78	1.14

Dilihat dari data yang dihasilkan daya angin yang didapat maksimum yang dihasilkan mencapai 3.7 W pada kecepatan angin 4.6 m/s sedangkan untuk daya angin terendah pada 3.8 dihasilkan daya angin sebesar 2.1 W. Untuk daya turbin pada kecepatan angin tertinggi dapat mengekstraksi daya hingga 1.1 W pada kecepatan putar turbin mencapai 203 rpm sedang untuk kecepatan angin 3.8 m/s daya yang dapat diekstraksi hanya berkisar 0.57 W dengan kecepatan putar turbin 203 rpm.

Tabel 4.6 Data Perhitungan daya angin dan turbin dengan integrasi *obstacle* $\beta = 100^\circ$

V_{angin} (m/s)	n (rpm)	P_w (W)	P_m (W)
3.8	129	2.13	0.39
4	140.1	2.48	0.46
4.2	162	2.88	0.62
4,4	180	3.31	0.76
4,6	190	3.78	0.85

Dilihat dari tabel diatas dimana pengintegrasian *obstacle* berpengaruh terhadap daya turbin untuk mengekstrak angin yang dihasilkan. Dimana pada kecepatan rendah dengan daya angin 2.1 W angin yang terkestraksi hanya sekitar 0.39 W. dan pada saat daya angin yang diperoleh cukup tinggi yaitu pada kecepatan 4.6 m/s dengan daya angin 3.7 W daya yang terkestraksi mencapai 0.85 W.

Tabel 4.7 Data Perhitungan daya angin dan turbin dengan integrasi *obstacle* berbentuk setengah lingkaran

No.	V_{angin} (m/s)	n (rpm)	P_w (W)	P_m (W)
1.	3.8	248	2.13	0.54
2.	4	287	2.48	0.70
3.	4.2	326	2.88	0.90
4.	4,4	342	3.31	0.97
5.	4,6	354	3.78	1.12

Dilihat dari tabel diatas daya angin yang terekstraksi cukup tinggi dengan menggunakan bantuan pengintegrasian *obstacle* setengah lingkaran dimana pada daya angin 2.1 W daya terekstraksi pada turbin mencapai 0.54 W dan pada daya angin 3.7 W daya yang dapat terekstraksi hingga 1.1 W dimana ini

merupakan nilai tertinggi yang dapat dicapai oleh turbin dengan integrasi *obstacle*.

Tabel 4.8 Data Perhitungan daya angin dan turbin dengan tanpa pengintegrasian *obstacle*

No.	V_{angin} (m/s)	n (rpm)	P_w (W)	P_m (W)
1.	3.8	125	2.13	0.37
2.	4	138	2.48	0.45
3.	4.2	157.8	2.88	0.59
4.	4,4	168.1	3.31	0.67
5.	4,6	175.5	3.78	0.73

Setelah menghitung daya turbin dan daya angin tanpa pengintegrasian *obstacle* maka dapat dilihat jika penggunaan *obstacle* dapat menambah daya yang dapat diekstrak oleh turbin. Dimana pada kecepatan 3.8 m/s dengan daya angin 2.1 W hanya dapat terekstraksi 0.3 W dan pada kecepatan 4.6 m/s hanya dapat terekstraksi 0.7 W dimana ini nilai paling rendah jika dibandingkan dengan menggunakan integrasi *obstacle*.

Untuk menghitung nilai *coefficient power* dari turbin menggunakan persamaan 2.10 yaitu $C_p = \frac{P_m}{P_w}$ (4.6)

Sehingga untuk C_p pada kecepatan 3.5 dengan pengintegrasian *obstacle* 80° dengan memasukan nilai P_m dan P_w yaitu :

$$C_p = \frac{2.13}{0.57}$$

Didapatkan hasil C_p yaitu 0.26

Sedangkan untuk nilai TSR didapat dengan menggunakan rumus 2.9 yaitu

$$\lambda = \frac{\omega D}{2v} \quad (4.7)$$

$$\lambda = \frac{16.2 \cdot 0.10}{2.3.8} = 0.42$$

Berikut adalah hasil perhitungan untuk TSR dan C_p untuk 3 jenis pengintegrasian dan tanpa pengintegrasian *obstacle* sebagai berikut :

Tabel 4.9 Data hasil perhitungan TSR dan C_p untuk turbin angin dengan integrasi *obstacle* $\beta = 80^\circ$

No.	v_{angin} (m/s)	N (rpm)	TSR	C_p
1.	3,8	203.4	0.42	0.26
2.	4	252.4	0.45	0.28
3.	4,2	291	0.49	0.31
4.	4,4	334	0.49	0.31
5.	4,6	354	0.49	0.30

Dilihat dari hasil perhitungan antara C_p dan TSR yang dihasilkan. Nilai performansi yang didapat cukup dimana persentase ekstraksi mencapai 0.31 % pada kecepatan 4.4 m/s sedangkan nilai ekstraksi terendah didapat pada kecepatan 3,8 m/s dimana hanya didapat nilai C_p 0.26. Sedangkan untuk nilai *tip speed ratio* nilai tertinggi didapat pada kecepatan angin 4,4 m/s dengan nilai *tip speed ratio* adalah 0.42.

Tabel 4.10 Data hasil perhitungan TSR dan C_p untuk turbin angin dengan integrasi *obstacle* $\beta = 100^\circ$

No.	v_{angin} (m/s)	N (rpm)	TSR	C_p
1.	3,8	129	0.35	0.14
2.	4	140.1	0.36	0.14
3.	4,2	162	0.40	0.16
4.	4,4	180	0.42	0.18
5.	4,6	190	0.43	0.17

Pada pengintegrasian *obstacle* dengan nilai $\beta = 100^\circ$ didapatkan hasil C_p terbaik pada kecepatan 4,4 m/s dengan nilai C_p 0.18 dengan TSR 0.43. sedang pada kecepatan 4 m/s dan 3.8 m/s nilai C_p didapat hanya 0.14 dimana ini berarti daya angin tidak banyak terekstraksi oleh turbin angin.

Tabel 4.11 Data hasil perhitungan TSR dan C_p untuk turbin angin dengan integrasi *obstacle* setengah lingkaran

No.	v_{angin} (m/s)	N (rpm)	TSR	C_p
1.	3,8	248	0.41	0.25
2.	4	287	0.45	0.28
3.	4,2	326	0.48	0.31
4.	4,4	342	0.48	0.29
5.	4,6	354	0.49	0.29

Pada integrasi *obstacle* setengah lingkaran nilai C_p semakin besar yaitu mencapai 0.31 pada kecepatan 4.2 m/s ini berarti daya angin dapat terekstraksi lebih besar dibandingkan dengan pengintegrasian *obstacle* lainnya. Penurunan ini akibat kenaikan daya angin tidak diikuti oleh kenaikan daya yang dihasilkan dari turbin, sehingga nilai C_p terbaik didapat pada kecepatan 4.2 m/s bukan pada kecepatan yang lebih tinggi yaitu pada kecepatan 4.6 m/s.

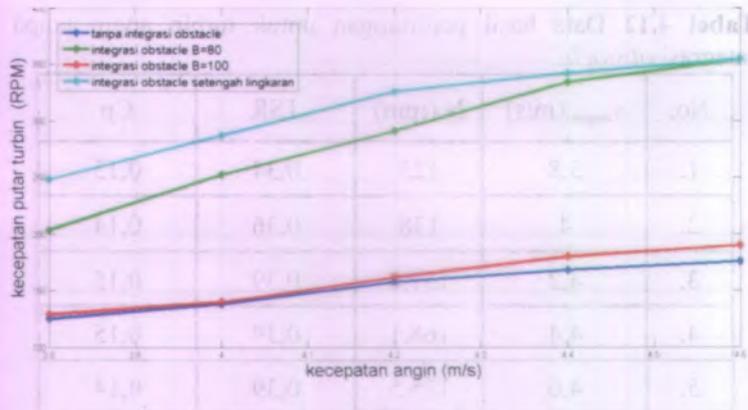
3,8	248	0,41	0,25	1
4,0	287	0,45	0,28	2
4,2	326	0,48	0,31	3
4,4	342	0,48	0,29	4
4,6	354	0,49	0,29	5

Tabel 4.12 Data hasil perhitungan untuk turbin angin tanpa integrasi *obstacle*.

No.	v_{angin} (m/s)	N (rpm)	TSR	Cp
1.	3,8	125	0,34	0,13
2.	4	138	0,36	0,14
3.	4,2	157,8	0,39	0,15
4.	4,4	168,1	0,39	0,15
5.	4,6	175,5	0,39	0,14

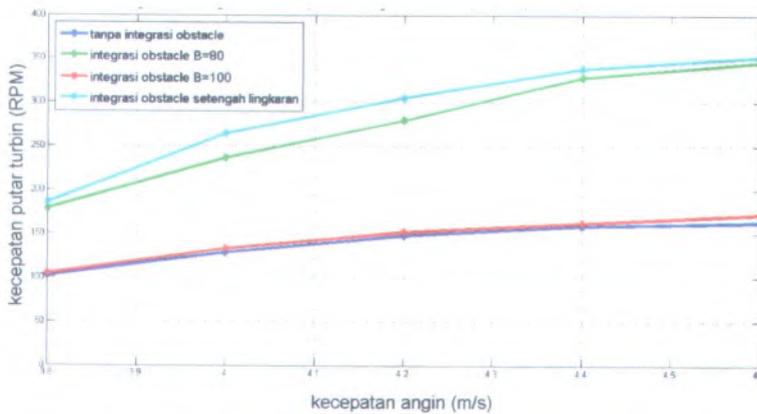
Jika dilihat dari hasil perhitungan Cp dan TSR yang dihasilkan oleh turbin angin tanpa penggunaan *obstacle* TSR maksimum sebesar 0,39 pada kecepatan putar turbin angin 175 rpm sedangkan Cp maksimum sebesar 0,16 dihasilkan pada kecepatan putar turbin sebesar 158-168 rpm sedangkan pada kecepatan putar turbin sebesar 176 rpm besarnya nilai Cp yang dihasilkan mengalami penurunan sehingga nilai Cp yang dihasilkan sebesar 0,14. Hal yang sama terjadi pada keadaan tanpa menggunakan *obstacle* dimana nilai Cp menurun tidak mengikuti kecepatan angin.

Setelah melihat hasil nilai Cp dan TSR dibawah ini akan diperlihatkan dalam bentuk gambar pengaruh kecepatan angin (m/s) terhadap kecepatan putar turbin (RPM), sebagai berikut



Gambar 4.3 Grafik hubungan antara RPM dan Kecepatan angin tanpa adanya pembebanan (generator)

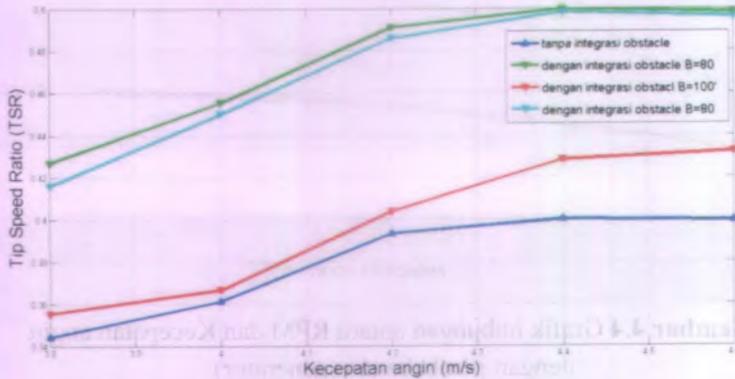
Jika dilihat dari gambar 4.3 pengaruh antara kecepatan angin dan kecepatan putar turbin tanpa adanya pembebanan yang dihasilkan maka analisa yang dapat diambil variasi *obstacle* berpengaruh terhadap kecepatan putar turbin yang didapat. Nilai RPM tertinggi dan nilai yang didapat relatif sama ini didapat dari jenis *obstacle* dengan konfigurasi $\beta = 80^\circ$ dan jenis *obstacle* setengah lingkaran, sedangkan untuk konfigurasi *obstacle* $\beta = 100^\circ$ didapatkan kecepatan yang hampir sama dengan tanpa penggunaan *obstacle*. Dimana kecepatan turbin yang dihasilkan untuk jenis konfigurasi $\beta = 80^\circ$ dan jenis *obstacle* setengah lingkaran didapatkan hasil 203.4 RPM dan 248 RPM sedangkan untuk $\beta = 100^\circ$ dan tanpa menggunakan *obstacle* didapatkan hasil yang cukup rendah yaitu 125 RPM dan 129 RPM.



Gambar 4.4 Grafik hubungan antara RPM dan Kecepatan angin dengan pembebanan (generator)

Pada gambar 4.8 grafik pengaruh kecepatan terhadap RPM dengan menggunakan generator (pembebanan) mendapat hasil dengan variasi yang sama, tapi nilai relatif menurun. ini disebabkan karena turbin mendapatkan pembebanan yang didapat dari generator. Kecepatan yang didapat pada kecepatan angin terendah yaitu 3.8 m/s untuk *obstacle* dengan integrasi $\beta=80^\circ$ dan *obstacle* dengan menggunakan setengah lingkaran didapatkan hasil yang lebih tinggi yaitu 178 RPM dan 285 RPM dibanding hasil yang didapat dari *obstacle* dengan integrasi $\beta=100^\circ$ dan tanpa pemakaian *obstacle* yang hanya bernilai 101.9 RPM dan 104.2 RPM. ini membuktikan jika desain *obstacle* setengah lingkaran dan dengan integrasi $\beta=80^\circ$ mendapatkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan integrasi $\beta=100^\circ$ dan tanpa pemakaian *obstacle*. ini sesuai dengan analisa awal yang mana pemanfaatan angin yang menumbuk torsi negatif dapat dimanfaatkan untuk menambah kecepatan turbin. sehingga dapat

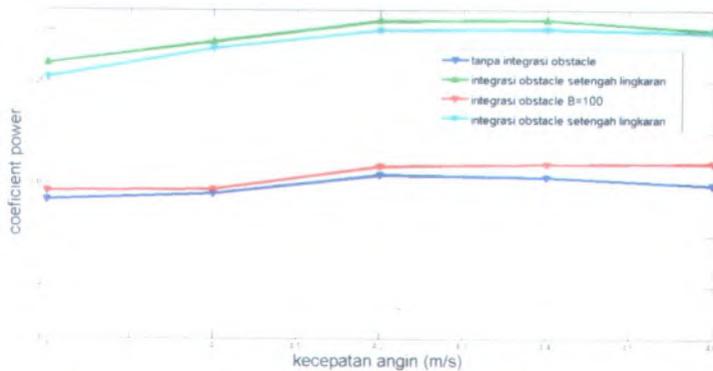
ditarik kesimpulan jika pengintegrasian *obstacle* mempengaruhi terhadap RPM yang dihasilkan. Jika kita lihat



Gambar 4.5 Grafik hubungan antara TSR dan Kecepatan angin

Gambar 4.5 menunjukkan hubungan antara kecepatan dan *tip speed ratio* (TSR) dapat dilihat hasil grafik hubungan antara TSR dan kecepatan angin menunjukkan jika kecepatan angin berpengaruh terhadap TSR (*Tip Speed Ratio*), dimana hasil menunjukkan ketika kecepatan angin meningkat diikuti oleh TSR yang didapatkan. tapi pada saat kecepatan angin cukup tinggi nilai yang didapat TSR tetap pada nilai yang hampir sama. ini diduga akibat besar rasio kecepatan ujung dari turbin angin tidak dapat melebihi besarnya kecepatan angin yang dapat diterima. Hal ini terjadi pada turbin yang dipasang *obstacle* dengan bentuk setengah lingkaran dimana nilai TSR pada kecepatan angin 4.4 m/s lebih baik dibandingkan kecepatan yang lebih cepat yaitu pada kecepatan 4.6 m/s dimana hasil TSR yang didapatkan untuk angin dengan kecepatan 4.4 m/s didapatkan nilai TSR yaitu 0.499 sedangkan untuk kecepatan angin 4.6 m/s didapatkan nilai TSR yaitu 0.498. hal yang sama pun terjadi pada turbin tanpa

menggunakan integrasi *obstacle* dengan penurunan yang sangat kecil sedangkan untuk integrasi dengan nilai $\beta=80^\circ$ dan $\beta=100^\circ$ nilai yang didapatkan setelah mendapatkan kecepatan 4.4 m/s dan 4.6 m/s didapatkan hasil yang relatif sama hanya saja nilai penurunannya yang sangat kecil.



Gambar 4.6 Grafik hubungan antara Kecepatan angin dan Cp

Pada gambar hubungan antara Cp (koefisien daya) dimana hasil paling tinggi didapatkan pada integrasi setengah lingkaran. dimana Cp yang didapatkan pada kecepatan 4.2 m/s yang mana didapatkan hasil cp bernilai 0.30 sedangkan untuk kecepatan angin yang lebih cepat didapatkan nilai Cp yang sedikit lebih rendah yaitu bernilai 0.29 sedangkan untuk nilai integrasi lainnya yaitu untuk integrasi dengan nilai $\beta=80^\circ$ didapatkan nilai tertinggi pada kecepatan 4.4 m/s yaitu 0.31 sedangkan untuk $\beta=100^\circ$ koefisien power tertinggi yang dihasilkan pada kecepatan angin 4.4 m/s yaitu didapat 0.17. sedangkan untuk koefisien power yang didapatkan tanpa menggunakan integrasi *obstacle* didapatkan hasil yang lebih rendah dari semua integrasi yaitu 0.157. ini membuktikan jika savonius memiliki batas untuk mengekstraksi

energi dimana ketika kecepatan ditambah semakin cepat tidak memberikan dampak yang signifikan terhadap C_p yang dihasilkan, sehingga setelah mendapatkan kecepatan yang maksimum nilai C_p masuk pada fase stall dengan perubahan nilai yang tidak terlalu tinggi.



Gambar 4.1 Grafik hubungan antara kecepatan angin dan C_p

Salah satu faktor yang mempengaruhi efisiensi energi sistem tenaga angin adalah hubungan antara C_p dengan kecepatan angin. Dimana C_p yang dihasilkan pada kecepatan 4-12 m/s yang mana dihasilkan pada tip speed ratio 0,30 sedangkan untuk kecepatan angin yang lebih cepat dihasilkan nilai C_p yang sedikit lebih rendah yaitu sekitar 0,25 sedangkan untuk nilai kecepatan lainnya yang lebih tinggi hingga nilai 10-20 dihasilkan nilai C_p yang semakin rendah yang dihasilkan pada kecepatan angin 4-12 m/s yang dihasilkan 0,17 sedangkan untuk kecepatan power yang dihasilkan nilai tercapainya adalah sebesar 0,127. Hal ini yang menunjukkan bahwa saat kecepatan angin semakin meningkat maka efisiensi energi akan semakin menurun.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Adityo Putranto, Andika Prasetyo, dan Arief Zاتمiko U. 2011. "Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga". Semarang.
- [2] Aron Zingman. 2007. "Optimization of a Savonius Rotor Vertical-Axis Wind Turbine for Use in Water Pumping Systems in Rural Honduras". Honduras.
- [3] E. Pap, D. Thévenin M.H. Mohamed, G. Janiga, 2010 "Optimization of Savonius turbines using an *obstacle* shielding the returning blade"
- [4] K. Pope I. Dincer G.F. Naterer 2010 "Energy and exergy efficiency comparison of horizontal and vertical axis wind turbines". Kanada
- [5] M.H. Mohamed G. Janiga E. Pap. D. Thévenin. 2011 "Optimal blade shape of a modified Savonius turbine using an *obstacle* shielding the returning blade". Jerman
- [6] Mahmoud, N.H., El-Haroun, A.A., Wahba, E. dan Nasef, M.H., 2012. "An Experimental Study on Improvement of Savonius Rotor Performance". Alexandria Engineering Journal 51:19–25
- [7] Moch. Arif Afifudin. 2010. "Studi eksperimental performansi *vertical axis wind turbine* (VAWT) dengan variasi desain turbin". ITS Surabaya.
- [8] Hau. Eric. 2005:81 "Wind Turbines Fundamental"
- [9] Daryanto, Y ., 2007, Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, Balai PPTAGG-UPT-LAGG, Yogyakarta.
- [10] Alex Kalmikov and Katherine Dykes. 2011 "Wind Power Fundamental" MIT.
- [11] Magdi Ragreb. Adam M. Ragreb. 2011 "Turbines Theory – The Betz Equation and Optimal Rotor Tip Speed Ratio" Talbot Laboratory. USA.
- [12] Johnson, Gary L.. 2006 "Wind Energy System" Manhattan. KS

BAB V

Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

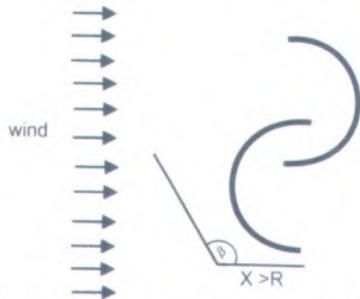
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan jika bahwa pemakaian *obstacle* dapat mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh turbin angin. Besar C_p yang didapat dengan integrasi *obstacle* memperoleh hasil lebih baik dimana untuk jenis *obstacle* setengah lingkaran dan dengan nilai $\beta=80^\circ$ mendapatkan nilai C_p dan TSR hingga 0.30 dengan nilai TSR 0.49, sedangkan tanpa menggunakan integrasi *obstacle* nilai C_p yang didapat 0.15 dan TSR didapat 0.39. dimana hasil ini dapat menjadi rekomendasi untuk pemilihan jenis *obstacle* untuk mendapatkan daya maksimum.

5.2 Saran

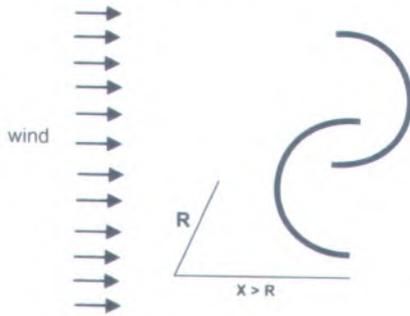
Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan adapun saran yang diambil adalah sebagai berikut : Untuk penelitian selanjutnya pembuatan turbin angin dibuat sedetail mungkin dan desain *obstacle* dibuat lebih tipis dan instrumentasi pendukung lainnya dipastikan terkalibrasi untuk menghindari kesalahan dalam pengukuran. Setelah itu diharapkan *obstacle* dapat didesain untuk digunakan langsung pada arah angin yang tak searah. Selain itu kecepatan angin lebih diperlebar untuk memperoleh analisa lebih mendetail.

DAFTAR PUSTAKA

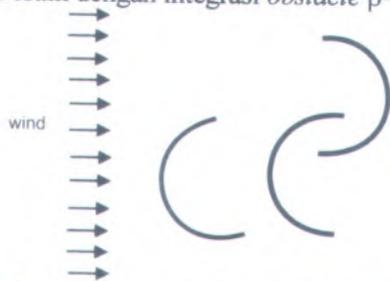
- [1] Adityo Putranto, Andika Prasetyo, dan Arief Zاتمiko U. 2011. "Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal Untuk Penerangan Rumah Tangga". Semarang.
- [2] Aron Zingman. 2007. "Optimization of a Savonius Rotor Vertical-Axis Wind Turbine for Use in Water Pumping Systems in Rural Honduras". Honduras.
- [3] E. Pap, D. Thévenin M.H. Mohamed, G. Janiga, 2010 "Optimization of Savonius turbines using an *obstacle* shielding the returning blade"
- [4] K. Pope I. Dincer G.F. Naterer 2010 "Energy and exergy efficiency comparison of horizontal and vertical axis wind turbines". Kanada
- [5] M.H. Mohamed G. Janiga E. Pap. D. Thévenin. 2011 "Optimal blade shape of a modified Savonius turbine using an *obstacle* shielding the returning blade". Jerman
- [6] Mahmoud, N.H., El-Haroun, A.A., Wahba, E. dan Nasef, M.H., 2012. "An Experimental Study on Improvement of Savonius Rotor Performance". Alexandria Engineering Journal 51:19-25
- [7] Moch. Arif Afifudin. 2010. "Studi eksperimental performansi *vertical axis wind turbine* (VAWT) dengan variasi desain turbin". ITS Surabaya.
- [8] Hau. Eric. 2005:81 "Wind Turbines Fundamental"
- [9] Daryanto, Y ., 2007, Kajian Potensi Angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu, Balai PPTAGG-UPT-LAGG, Yogyakarta.
- [10] Alex Kalmikov and Katherine Dykes. 2011 "Wind Power Fundamental" MIT.
- [11] Magdi Ragreb. Adam M. Ragreb. 2011 "Turbines Theory – The Betz Equation and Optimal Rotor Tip Speed Ratio" Talbot Laboratory. USA.
- [12] Johnson, Gary L.. 2006 "Wind Energy System" Manhattan. KS



Desain dengan integrasi *obstacle* $\beta = 100^\circ$



Desain dengan integrasi *obstacle* $\beta = 100^\circ$



Desain dengan integrasi *obstacle* setengah lingkaran



Turbin angin konvensional tanpa pengintegrasian
obstacle



Plat *obstacle* untuk pengujian $\beta=80^\circ$ dan $\beta=100^\circ$



obstacle berbentuk setengah lingkaran



Bentuk terowongan angin