

UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PEMAKAIAN SELUBUNG (SHROUD) DENGAN
PENAMBAHAN FLANGED PADA TURBIN ANGIN DI DAERAH
PEMUKIMAN**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**LUKMANUL HAKIM
0806454834**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK MESIN
DEPOK
JULI 2012**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa skripsi dengan judul:

ANALISA PEMAKAIAN SELUBUNG (SHROUD) DENGAN PENAMBAHAN FLANGED PADA TURBIN ANGIN DI DAERAH PEMUKIMAN

Yang dibuat untuk melengkapi sebagian persyaratan menjadi Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, sejauh yang saya ketahui bukan merupakan tiruan atau duplikasi dari skripsi yang sudah dipublikasikan dan atau pernah dipakai untuk mendapatkan gelar kesarjanaan di lingkungan Universitas Indonesia maupun di Perguruan tinggi atau Instansi manapun, kecuali bagian yang sumber informasinya dicantumkan sebagaimana mestinya.

Skripsi ini merupakan bagian dari skripsi yang dikerjakan bersama dengan rekan saya, saudara **AGUS IRAWAN (0806454563)**, **AKBAR RACHMAN (0806454595)** dan **SETO RESPATI (0806454954)**. Sehingga harap maklum jika ada beberapa bagian dari buku ini yang memiliki kesamaan.

Nama : Lukmanul Hakim

NPM : 0806454834

Tanda Tangan :



Tanggal : 12 Juli 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Lukmanul Hakim

NPM : 0806454834

Program Studi : Teknik Mesin

Judul Skripsi : Analisa pemakaian selubung (shroud) dengan penambahan flanged pada turbin angin di daerah pemukiman

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Mesin Departemen Teknik Mesin Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Warjito M.Sc Ph.D



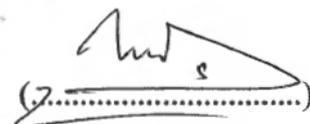
Penguji : Prof. Dr. Ir. Harinaldi M.Eng



Penguji : Prof. Dr. Ir. Budiarto M.Eng



Penguji : Dr. Ir. Ahmad Indra Siswantara



Ditetapkan di : Depok (Universitas Indonesia)

Tanggal : 12 Juli 2012

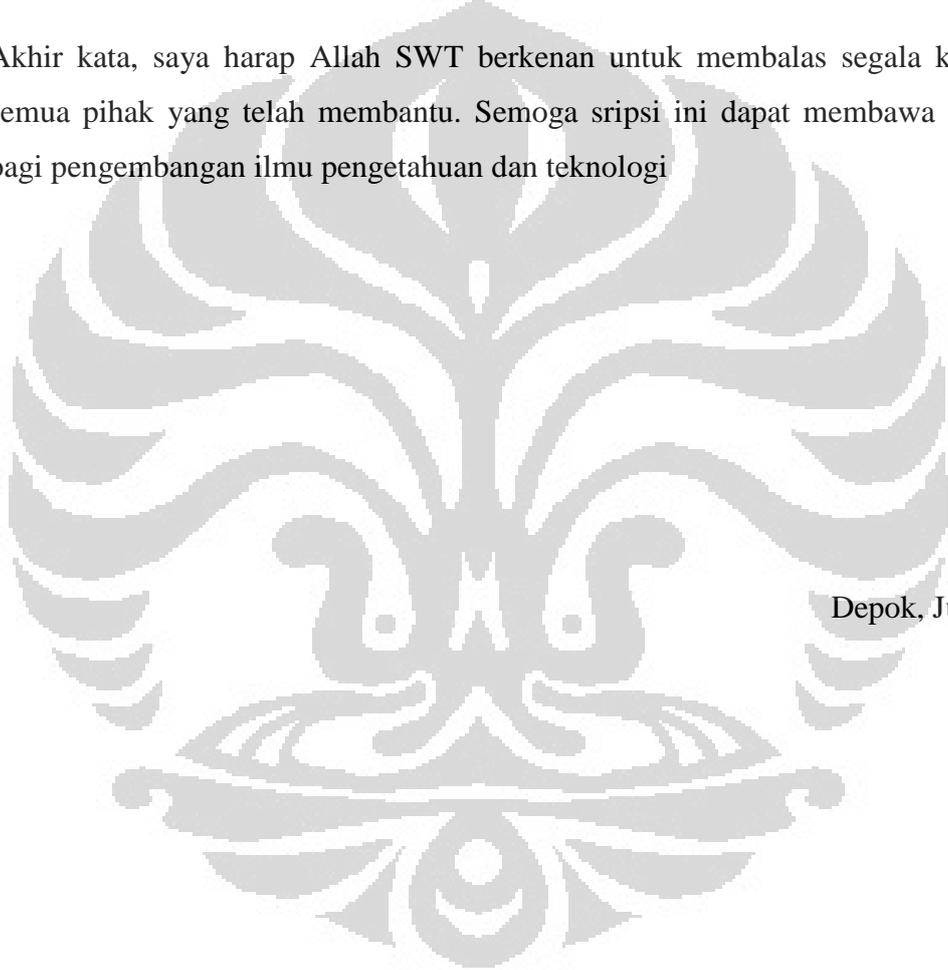
KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas rahmat dan inayah-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya sangat menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orang tua serta keluarga yang selalu memberikan doa dan semangat yang tiada batas untuk saya.
2. Ir. Warjito M.Sc Ph.D, atas segala waktu, tenaga dan kesabaran dalam membimbing dan mengarahkan kami.
3. Prof. Dr. Ir. Bambang Sugiarto, M.Eng, selaku Pembimbing Akademis, terima kasih atas bimbingannya.
4. Prof. Dr. Ir. Harinaldi, M.Eng, Kepala Departemen Teknik Mesin UI,
5. Dosen- dosen Departemen Teknik Mesin atas seluruh ilmu yang sudah diajarkan.
6. Agus Irawan, Seto Respati dan Akbar Rachman selaku rekan satu tim Turbin Angin yang selalu bersemangat, kreatif dan aktif untuk mengerjakan sripsi ini, rekan yang sangat luar biasa.
7. Mas Lukman Hakim (PT Luck and Partner Miniatur Models) yang telah membantu membuatkan model uji.
8. Bapak Mehmet Selim Caglayan dan teman-teman Dershane Depok(khususnya Arya Johari,Ari Setyawan, Akhmad Nakhrowi dan Ragil Ari Yuswito), untuk semua bantuan dan doanya.
9. Sahabat karib saya, saudara Nurul Arief Kholifian atas doa dan dukungannya selama ini.

10. Keluarga Besar Makara Cirebon, sebuah keluarga yang begitu luar biasa
11. Teman – teman Laboratorium Mekanika Fluida yang banyak memberi bantuan, saran dan motivasinya dalam mengerjakan skripsi ini.
12. Teman – teman Departemen Teknik Mesin 2008 (kalian yang terbaik).
13. Serta Semua yang telah membantu dan mendoakan saya selama ini yang tak dapat disebut satu persatu, terima kasih atas segalanya.

Akhir kata, saya harap Allah SWT berkenan untuk membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga sripsi ini dapat membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi



Depok, Juli 2012

Penulis

**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Lukmanul Hakim

NPM : 0806454834

Program Studi : Teknik Mesin

Departemen : Teknik Mesin

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Skripsi

demikian pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (Non-exclusive Royalty Free Right)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

**ANALISA PEMAKAIAN SELUBUNG (SHROUD) DENGAN
PENAMBAHAN FLANGED PADA TURBIN ANGIN DI DAERAH
PEMUKIMAN**

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (database), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok (Universitas Indonesia)

Pada tanggal : 12 Juli 2012

Yang menyatakan



(Lukmanul Hakim)

ABSTRAK

Nama : Lukmanul Hakim
Program Studi : Teknik Mesin
Judul Skripsi : Analisa pemakaian selubung (shroud) dengan penambahan flanged pada turbin angin di daerah pemukiman

Kebutuhan energi umumnya di dunia dan khususnya di Indonesia semakin hari semakin meningkat, sedangkan pemasok utama energi tersebut berasal dari energi fosil. Energi fosil adalah energi yang tidak dapat diperbaharui, sehingga akan mengakibatkan kehabisan dikemudian hari. Untuk itu perlu ada upaya untuk mengatasi masalah tersebut, diantaranya dengan memanfaatkan energi alternatif. Energi alternatif dengan potensi yang sangat besar salah satunya adalah energi angin (dengan potensi sebesar 9 GW). Pemanfaatan energi angin tersebut dengan menggunakan teknologi turbin angin. Untuk di Indonesia, teknologi turbin angin menemui kendala berupa kecepatan angin yang rendah, khususnya di wilayah pemukiman. Solusi masalah tersebut adalah dengan penambahan suatu selubung (shroud) diantara rotor turbin angin. Metode yang dipakai pada penelitian ini adalah berupa numerikal dan ekperimental. Dengan berbagai variasi geometri (dengan dan tanpa penambahan flanged) , selubung disimulasikan sehingga didapat model selubung yang mampu meningkatkan kecepatan tertinggi. Setelah itu, dengan perbandingan bilangan Reynolds dibuat sebuah model uji yang diuji pada sebuah wind tunnel. Hasil dari penelitian ini adalah peningkatan kecepatan pada model selubung flanged lebih besar dibanding tanpa flanged.

Kata kunci : turbin angin, flanged, pemukiman, selubung.

ABSTRACT

Name : Lukmanul Hakim

Study Program : Mechanical Engineering

Title : *Analyzing the effect of shroud with flanged to wind turbine in suburban areas*

The world's demand of energy, especially in the case of Indonesia, is increasing significantly. The high energy usage can create scarcity in the future as most of the energy used is based on non-renewable resources. Therefore it requires solutions to solve this problem; one of it is benefiting the presence of alternative energy. One of the most potential forms of alternative energy is the wind energy (with potential of 9 GW). The wind turbine technology can be used to harvest wind energy. But the wind has low velocity in Indonesia, especially in the suburban areas, and it becomes an obstacle for the wind turbine technology to be applied. The solution is the addition of shroud between the wind turbine rotors. Methods used in this research are numerical and experimental. With two varied models (with and without adding flanged), the shrouds are simulated in order to reach the highest speed. Using the Reynolds number comparison, a test model is constructed and tested to a wind tunnel. The result is the shroud with flanged gives more speed than the non-flanged model.

Keywords: wind turbine, flanged, shroud, suburban areas

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
DEWAN PENGUJI.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	iv
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Pembatasan Masalah	5
1.5 Sistematika Penulisan	5
BAB 2 LANDASAN TEORI	7
2.1 Energi Alternatif.....	7
2.2 Energi Angin	8
2.2.1 Karakteristik Angin.....	8
2.2.2 Pemanfaatan Energi Angin	9

2.3	Turbin Angin.....	11
2.3.1	Komponen Turbin Angin.....	12
2.3.2	Tipe Turbin Angin.....	14
2.3.3	Potensi Angin pada Turbin Angin.....	15
2.3.4	Turbin Angin di Indonesia.....	22
2.4	Selubung Turbin Angin.....	22
2.4.1	Tekanan dan Kecepatan di dalam Diffuser.....	25
2.4.2	Hubungan Antara Tekanan dan Kcepatan.....	27
2.4.3	Power dan Thrust untuk DAWT.....	29
2.5	Particle Image Velocimetry (PIV).....	30
2.5.1	Pergerakan Partikel pada Fluida Bergerak & Aplikasi pada PIV.....	31
2.5.2	Matematik Pemrosesan Data PIV.....	32
2.5.2.1	Sistem kordinat.....	32
2.6	Boundary Layer.....	34
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		37
3.1	Metode Penelitian.....	37
3.1.1	Peralatan dan alat ukur.....	37
3.1.2	Alur Kerangka Penelitian.....	38
3.2	Pengambilan Data.....	40
3.2.1	Data Kecepatan Angin.....	40
3.2.2	Pemodelan Selubung Turbin Angin.....	40
3.3	Simulasi.....	40
3.3.1	Simulasi pada Flow Simulation SolidWorks.....	41

3.4	Eksperimental.....	43
3.4.1	PIV sistem	45
3.4.1.1	Double- cavity Nd:YAG laser.....	45
3.4.1.2	Kamera Cross Correlation.....	45
3.4.1.3	Personal Computer (PC)	46
3.4.2	Prosedur Pengujian.....	46
3.4.2.1	Persiapan Model Uji.....	46
3.4.2.2	Kalibrasi	46
3.4.2.3	Pengambilan Gambar	46
3.4.2.4	Pengolahan Data	47
BAB 4	HASIL DAN ANALISIS	48
4.1	Hasil Simulasi	48
4.1.1	Diffuser tanpa Flanged.....	48
4.1.2	Diffuser dengan penambahan Flanged.....	52
4.2	Hasil Eksperimen	56
4.3	Perhitungan Daya	58
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	60
	DAFTAR PUSTAKA	62
	LAMPIRAN.....	65

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Kincir Angin Jaman Dahulu.....	10
Gambar 2.2 Turbin Angin Jaman Sekarang.....	11
Gambar 2.3 Komponen pada Turbin Angin.....	13
Gambar 2.4 HAWT dan VAWT	14
Gambar 2.5 Actuator Disc Model dari Turbin Angin	18
Gambar 2.6 Roof Top Wind Turbine	23
Gambar 2.7 Perbandingan Stream Tube antar Turbin Angin konvensional dengan DAWT	24
Gambar 2.8 Hubungan Tekanan & Kecepatan dalam Diffuser kosong.....	26
Gambar 2.9 Hubungan Kecepatan & Tekanan optimal dalam DAWT	29
Gambar 2.10 Skema Metode PIV	31
Gambar 2.11 Analisa auto-correlation.....	33
Gambar 2.12 Fungsi cross- correlation.....	33
Gambar 2.10 Skema Metode PIV	31
Gambar 3.1 Flow Chart umum kerangka penelitian.....	37
Gambar 3.2 Model Diffuser selubung turbin angin	38
Gambar 3.3 Flow Chart simulasi	40
Gambar 3.4 Model uji Diffuser Turbin Angin.....	41
Gambar 3.5 Ilustrasi diffuser didalam wind tunnel.....	42
Gambar 3.6 Diagram Alir percobaan.....	42
Gambar 3.7 Progressive-scan interline CCD Chips.....	43
Gambar 4.1 Selubung tanpa penambahan flanged.....	46
Gambar 4.2 Konsep geometri selubung tanpa flanged	47

Gambar 4.3 Cut plot distribusi kecepatan dan tekanan	48
Gambar 4.4 Grafik distribusi kecepatan.....	49
Gambar 4.5 Selubung dengan penambahan flanged.....	50
Gambar 4.6 Konsep dan geometri selubung dengan penambahan flanged	51
Gambar 4.7 Cut plot distribusi kecepatan dan tekanan.....	52
Gambar 4.8 Grafik distribusi kecepatan.....	53
Gambar 4.9 Streamline rata-rata selubung pada bidang simetrik vertikal	53

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Data Potensi Angin	7
Tabel 4.1 Distribusi kecepatan di sepanjang centerline selubung.....	48
Tabel 4.2 Distribusi kecepatan di sepanjang centerline selubung.....	52
Tabel 4.3 Perbandingan model komputasi dan model uji.....	54

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan energi di Indonesia khususnya dan di dunia umumnya terus mengalami peningkatan seiring dengan berjalannya waktu, hal ini disebabkan karena penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri yang senantiasa meningkat. Sumber utama dalam pemenuhan energi dunia sejauh ini berasal dari energi fosil, sedangkan energi fosil memiliki keterbatasan, dan memerlukan proses alam dalam waktu yang lama untuk memperbaharunya. Untuk itu perlu adanya energi alternatif non-fosil untuk memenuhi semua kebutuhan energi dunia [1].

Upaya-upaya pencarian sumber energi alternatif berupa sumber energi baru dan terbarukan selain energi fosil menyemangati para peneliti diberbagai negara untuk mencari energi lain. Energi terbarukan dapat didefinisikan sebagai energi yang secara cepat dapat diproduksi kembali melalui proses alam. Energi terbarukan meliputi energi air, panas bumi, matahari, angin, biogas, bio massa serta gelombang laut. Beberapa kelebihan energi terbarukan antara lain: sumbernya relatif mudah didapat, dapat diperoleh dengan gratis, minim limbah, tidak mempengaruhi suhu bumi secara global, dan tidak terpengaruh oleh kenaikan harga bahan bakar [2].

Pertimbangan konservasi energi dan lingkungan hidup memang menuntut kita untuk segera dapat memanfaatkan energi terbarukan yang tersedia dengan mudah dan lebih ramah lingkungan dibandingkan dengan energi fosil. Tetapi seperti yang diketahui, pemanfaatan potensi energi terbarukan seperti air, biomassa, panas bumi, surya, samudera termasuk angin sampai saat ini masih belum optimal, hal ini disebabkan karena beberapa hal diantaranya kebijakan pemerintah dan penelitian hanya sampai pada tahap penelitian saja belum sampai pada tahap produksi massal.

Salah satu energi alternatif yang memiliki potensi yang besar adalah angin. Angin dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan misalnya pemompaan air untuk irigasi, pembangkit listrik, pengering atau pencacah hasil panen, aerasi

tambak ikan/udang, pendingin ikan pada perahu-perahu nelayan dan lain-lain. Selain itu, pemanfaatan energi angin dapat dilakukan di mana-mana, baik di daerah landai maupun dataran tinggi, bahkan dapat di terapkan di laut, berbeda halnya dengan energi air.

Pemanfaatan energi angin bisa dengan penggunaan kincir angin dan turbin angin. Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik. Pada awalnya, kincir angin digunakan untuk kebutuhan pertanian, yaitu untuk menggiling padi, keperluan irigasi, dan lain-lain. Alat ini banyak dibangun di negara Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa terutama di bagian utara karena kapasitas angin di area-area tersebut sangat besar.

Pada masa kini, turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan energi listrik. Meskipun pembangunan dan teknologi turbin angin saat ini belum dapat menyaingi performa pembangkit listrik konvensional, namun masih terdapat banyak hal yang bisa dikembangkan dari turbin angin, mulai dari desain turbin angin itu sendiri, hingga ke pemilihan lokasi yang tepat untuk penyerapan energi angin.

Salah satu pemanfaatan angin adalah sebagai penghasil energi listrik. Pemanfaatan energi angin dapat dilakukan dengan mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik melalui turbin angin. Dari seluruh potensi energi angin yang ada dari kapasitas terpasang 5 GW pada tahun 1995 menjadi hampir 48 GW pada akhir tahun 2004 tersebar dalam 74,400 turbin angin di sekitar 60 negara [3]. Dan pada perkembangannya selanjutnya, kapasitas pembangkitan listrik tenaga angin di dunia telah berkembang pesat dengan laju pertumbuhan kumulatif sampai dengan tahun 2007 mencapai 25 persen per tahun. Dan potensi angin di Indonesia sebesar 9,2 GW dan yang terpasang baru sekitar 2 MW [4].

Prospek pengembangan teknologi ini sangat tinggi. Beberapa wilayah di Indonesia disinyalir dapat berkontribusi besar terhadap penggunaan pembangkit listrik tenaga bayu/angin (PLTB) diantaranya wilayah NTT, Maluku, dan beberapa wilayah Indonesia bagian timur. Selain itu kendala dalam mengoptimalkan potensi angin tersebut diantaranya tidak tersedianya data angin yang lengkap dan hanya sebatas kajian atau studi. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya-upaya untuk memaksimalkan potensi energi angin tersebut. Penelitian

mengenai hal tersebut sudah banyak dilakukan, tetapi hanya baru sebatas penelitian belum sampai pada tahap pengkomersialisasian.

Hasil dari survey dan studi literatur dari Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), pengembangan teknologi PLTB(Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) di Indonesia menghadapi beberapa masalah karena dapat menghambat pengembangan dan mengurangi minat masyarakat untuk memakai energi angin ini, yaitu: (1) Rendahnya distribusi kecepatan angin di Indonesia. (2) Besarnya fluktuasi (turbulensi) kecepatan angin di Indonesia[5]. Yang berarti profil kecepatan angin selalu berubah secara drastis dengan interval yang cepat[2].

Kecepatan angin di Indonesia pada umumnya yaitu 3 – 5 m/detik [6]. Sedangkan kebanyakan turbin angin yang ada di pasaran didesain untuk kecepatan angin yang tinggi. Ada dua pendekatan yang mungkin dilakukan, yaitu dengan mengembangkan teknologi rotor yang sesuai dengan kecepatan rendah dan memanipulasi kecepatan angin sehingga memiliki kecepatan lokal yang lebih tinggi [7]. Untuk kecepatan angin di daerah pemukiman penduduk disamping nilai kecepatannya kecil, juga memiliki turbulensi yang tinggi.

Solusi dalam mengatasi kendala tersebut diantaranya menggunakan selubung (*shroud*) pada turbin angin. Selubung ini berperan dalam mengumpulkan aliran dan mempercepat kecepatan angin yang melewati sudu (*blade*) turbin angin, sehingga dengan kecepatan angin Indonesia yang rendah dan turbulensinya tinggi masih bisa mendapatkan daya keluaran yang besar. Dengan pemakaian selubung ini diharapkan beberapa jenis turbin angin yang beredar dipasaran mampu dimanfaatkan/ dipakai di daerah yang memiliki turbulensi angin yang tinggi seperti daerah pemukiman ataupun di daerah perkotaan. Beberapa penelitian sudah dilakukan diantaranya dengan memakai beberapa jenis tipe selubung(*shroud*) yang berbeda-beda, misalnya berupa tipe Cylinder, Nozzle ataupun Diffuser. Dari beberapa tipe selubung tersebut didapatkan tipe Diffuser memiliki pengaruh yang begitu besar dalam mengurangi turbulensi angin maupun meningkatkan kecepatan angin[8]. Penggunaan selubung sangat cocok dengan kontur angin di Indonesia, sehingga diharapkan pemakaian selubung ini bisa mengoptimalkan turbin angin dan mampu mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil untuk menghasilkan energi listrik.

Dalam percobaan dan penelitian ini, diharapkan dapat menghasilkan model selubung yang dapat mengoptimal hasil keluaran dari turbin angin, dengan membandingkan hasil simulasi software dengan hasil percobaan. Sehingga dengan optimasi performa sistem, hasil daya keluaran akan meningkat.

1.2 Perumusan Masalah

Fungsi dari sebuah diffuser pada turbin angin dipengaruhi oleh geometri diffuser itu sendiri, dimana bentuk sebuah obyek yang dilalui oleh angin akan mempengaruhi perilaku aliran udara di sekitar obyek tersebut.

Pada penelitian ini dirancang dan dibuat suatu model selubung turbin angin yang dapat diaplikasikan untuk daerah yang memiliki kecepatan angin rendah dan turbulensi angin yang tinggi, khususnya di daerah pemukiman atau daerah perkotaan. Dengan adanya selubung tersebut, diharapkan penggunaan turbin angin lebih optimal secara keseluruhan.

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan :

- a. Mempelajari karakteristik selubung turbin angin
- b. Membuat model selubung turbin angin (tipe Diffuser)
- c. Menganalisa pengaruh selubung terhadap kinerja turbin angin dengan melakukan:
 - § Variasi dari panjang selubung.
 - § Variasi kecepatan angin yang melewati selubung.
 - § Variasi model penggunaan flanged pada selubung.
- d. Mendapatkan model selubung turbin angin yang sesuai untuk daerah perkotaan.

1.4 Pembatasan Masalah

Hal yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah pengaruh pemakaian selubung turbin angin terhadap peningkatan kecepatan angin yang melewati turbin angin, dengan desain selubung turbin angin meliputi:

- a. Geometri selubung
- b. Velocity angin yang melewati selubung
- c. Tekanan antara sebelum dan sesudah melewati selubung

Dengan batasan-batasan meliputi:

- § Hanya berlaku pada turbin angin sumbu horizontal
- § Jumlah sudu pada turbin tidak diperhitungkan
- § Fokus pada peningkatan kecepatan angin, tidak memperhitungkan turbulensi yang ada.

1.5 Sistematika Penulisan

Agar laporan tugas akhir ini memiliki struktur dan tujuan penulisan dapat tercapai dengan baik, maka penulisan tugas akhir ini akan mengikuti sistematika penulisan sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Bagian ini berisi tentang latar belakang yang melandasi penulisan skripsi, perumusan masalah, tujuan penulisan, pembatasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

BAB 2 LANDASAN TEORI

Bab ini menjelaskan teori-teori yang mendasari penelitian ini. Dasar teori meliputi tentang turbin angin dan jenisnya, serta mekanisme kerja selubung. Dasar teori yang ada dikutip dari beberapa buku dan referensi lain yang mendukung dalam penulisan ini.

BAB 3 METODE PENELITIAN

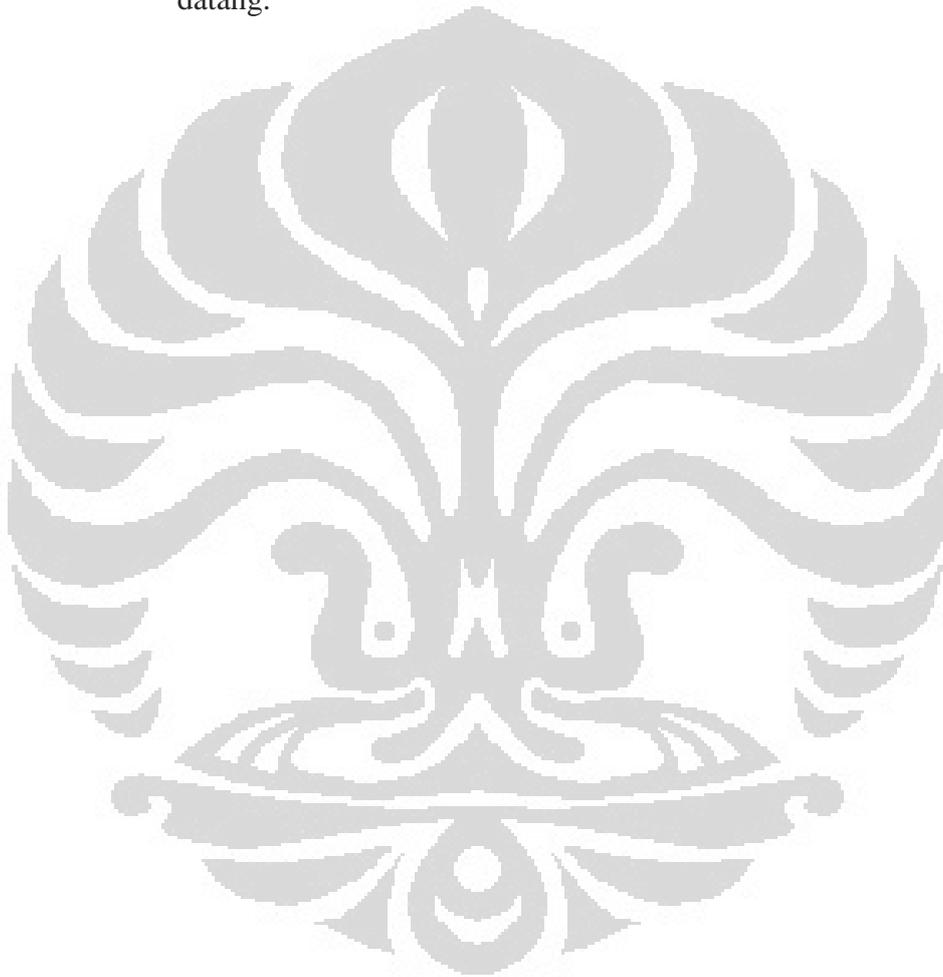
Bab ini berisikan tentang deskripsi alat pengujian yang digunakan, metode persiapan dan metode pengambilan data yang dilakukan

BAB 4 HASIL DAN ANALISA

Bab ini berisikan tentang hasil yang diperoleh dari proses pengujian, yaitu membandingkan antara hasil simulasi software dengan hasil percobaan dengan wind tunnel.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi tentang kesimpulan dari hasil penelitian dan beberapa saran yang diberikan untuk perbaikan pada penelitian yang akan datang.



BAB 2 LANDASAN TEORI

2.1 Energi Alternatif

Penggunaan Energi fosil untuk memenuhi kebutuhan energi dunia semakin meningkat dari waktu ke waktu, hal ini dapat mengakibatkan menipisnya cadangan energi fosil tersebut. Untuk itu, perlu ada upaya-upaya pencarian sumber energi yang baru dan terbarukan atau biasa disebut energi alternatif. Energi Alternatif itu bisa berupa air, angin, panas bumi, biomassa, panas matahari, samudra dan lain sebagainya. Tetapi seperti yang sudah diketahui, khususnya di Indonesia, pemanfaatan potensi energi terbarukan sampai saat ini masih belum optimal. Seperti terlihat pada data pada tabel 2.1 yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi Sumber Daya Mineral tahun 2008.

Tabel 2.1. Data potensi energi alternatif di Indonesia

No.	Jenis	Sumber Daya	Setara	Kapasitas Terpasang
1	Tenaga Air	845 juta SBM	75.670 MW	4.200 MW
2	Panas Bumi	219 juta SBM	27.000 MW	1.042 MW
3	Mini/Micro Hydro	450 MW	450 MW	210 MW
4	Biomass	49.810 MW	49.810 MW	445 MW
5	Tenaga Surya	-	4,80 kWh/m ² /hari	12 MW
6	Tenaga Angin	3-6 m/s	9.290 GW	2 MW
7	Uranium (Nuklir)	24,112 ton untuk 11 tahun*	3000 MW	30 MW

*Hanya di Kalan - Kalbar

Sumber: Kementerian ESDM 2008[4]

Dari tabel 2.1 di atas, terlihat bahwa dari semua potensi energi alternatif yang ada, baru sebagian kecil yang sudah dimanfaatkan. Untuk itu diperlukan suatu penelitian-penelitian dan kajian studi mengenai energi-energi alternatif tersebut, sehingga bisa lebih optimal dalam memanfaatkannya[2].

2.2 Energi Angin

Angin adalah sumber energi yang tersedia cukup berlimpah di alam. Pemanfaatannya telah dimulai sejak tahun 5000 SM untuk menggerakkan baling-baling perahu di Sungai Nil. Tahun 200 SM, Cina telah memanfaatkan energi angin untuk pompa air, dan di Timur Tengah telah dimanfaatkan untuk menggiling biji-bijian. Pada abad ke-20, energi angin telah banyak dimanfaatkan untuk pengolahan makanan, pompa air, dan pembangkit listrik.

Sumber angin adalah perbedaan temperatur udara yang ditimbulkan oleh panas matahari yang menghasilkan perbedaan tekanan. Perbedaan tekanan ini dapat menghasilkan pergerakan udara dan akhirnya menghasilkan angin[9].

Angin adalah salah satu energi yang mudah didapatkan, tapi masih jarang dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif. Sebelumnya, angin dimanfaatkan sebagai irigasi, pencacah hasil panen, pengering dan lain-lain. Seiring dengan semakin berkurangnya cadangan energi fosil maka angin pun dijadikan sebagai sumber energi sebagai pembangkit listrik atau biasa dikenal PLTB (pembangkit Listrik Tenaga Bayu). Secara umum, pemanfaatan tenaga angin di Indonesia memang kurang mendapat perhatian. Sampai tahun 2007, kapasitas terpasang dari pemanfaatan tenaga angin hanya mencapai 2 MW dari 94 GW potensi yang ada [4]. Padahal kapasitas pembangkitan listrik tenaga angin di dunia telah berkembang pesat dengan laju pertumbuhan kumulatif sampai dengan tahun 2004 melebihi 20 persen per tahun. Dari kapasitas terpasang 5 GW pada tahun 1995 menjadi hampir 48 GW pada akhir tahun 2004 tersebar dalam 74,400 turbin angin di sekitar 60 negara [4].

2.2.1 Karakteristik Angin

Adanya perbedaan kecepatan udara disebabkan variasi temperatur menimbulkan gerakan udara dari satu ketinggian ke ketinggian yang lain, sedang arahnya dipengaruhi oleh kecepatan berputar bumi pada porosnya. Hal ini yang mengakibatkan perbedaan kecepatan angin di sekitar garis garis khatulistiwa dengan daerah di kutub bumi. Hal itulah yang menyebabkan perbedaan kecepatan angin di Indonesia dengan kecepatan angin di beberapa negara Eropa. Di daerah tropis akan terjadi angin dari daerah maksimum subtropis ke daerah minimum

equator. Angin ini disebut angin passat timur laut di belahan bumi utara dan angin passat tenggara di belahan bumi selatan. Ini berarti arah angin biasanya menuju equator. Angin passat banyak membawa uap air karena berhembus di laut lepas. Akan tetapi pada beberapa wilayah dipermukaan bumi angin passat tersebut mengalami perubahan arah akibat pengaruh lingkungan setempat. Di Indonesia yang secara geografis terletak di antara dua benua (Asia dan Australia) dan dua samudera serta letak matahari yang berubah setiap enam bulan berada di utara dan enam bulan berada di selatan khatulistiwa, maka angin passat tersebut mengalami perubahan menjadi angin muson (angin musim) barat dan angin muson timur[8]. Kecepatan angin juga dipengaruhi oleh beberapa faktor setempat misalnya bukit- bukit, pohon-pohon dan variasi temperatur lokal.

Beberapa karakteristik angin di Indonesia antara lain :

- Arah angin yang sering berubah-ubah
- Sering terjadi turbulensi
- Kecepatan rata-rata angin yang relatif rendah

Jika kita ingin memanfaatkan energi angin harus diperhatikan:

- Didaerah mana kincir/turbin angin tersebut ditempatkan
- Berapa kisaran jumlah angin selama setahun pada daerah tersebut
- Bagaimana pola distribusi kecepatan angin di daerah tersebut (baik jangka panjang maupun jangka pendek)

Untuk mengetahui laju rata-rata angin suatu daerah diperlukan sebuah survey di beberapa tempat dan di waktu yang berkala. Laju angin disuatu disuatu tempat tergantung pada:

- letak geografisnya(global)
- faktor khusus dari lokasi (ketinggian dan jarak dari laut)
- *exposure*-nya sebaiknya tidak dikelilingi oleh bangunan-bangunan. Bukit terjal maupun pohon-pohon.
- bentuk tanah disekitar.

2.2.2 Pemanfaatan energi Angin

Angin sebagai sumber energi dalam penggunaannya mempunyai manfaat antara lain:

- Energi Angin tidak akan habis dan dapat didapatkan diberbagai tempat.

- Tidak menimbulkan emisi CO₂ dan ramah lingkungan.
- Biaya konversi lebih murah dibanding energi fosil.
- Cocok untuk daerah/pulau yang tidak terjangkau oleh pembangkit listrik.

Energi Angin keberadaannya begitu melimpah di alam dan tanpa memerlukan biaya untuk mendapatkannya (gratis). Penggunaan energi angin juga tidak mengakibatkan pencemaran lingkungan. Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) dibagi kedalam dua jenis, yaitu berupa kincir angin dan turbin angin[9]. Kincir angin memanfaatkan energi angin menjadi energi kinetik, sedangkan turbin angin memanfaatkan energi angin menjadi energi listrik.



Gambar 2.1. Kincir angin jaman dahulu

Sumber: http://www.cambstimes.co.uk/home/bright_looking_future_for_one_of_fenland_s_oldest_suriving_windmills_thanks_to_77_000_grant_1_728195[10]

Gambar 2.1 menunjukkan contoh kincir angin jaman dahulu, Kincir angin sudah dimanfaatkan manusia sejak berabad-abad tahun yang lalu, dan pada permulaannya kincir angin berfungsi sebagai memompa air dan kemudian diadaptasi sebagai pengganti hewan pada proses penggilingan padi, gandum maupun jagung.

Dari model kincir angin tersebutlah kemudian dikembangkan model turbin angin, yang sebelumnya hanya berfungsi sebagai memompa air maupun menggiling padi berubah menjadi alat yang dapat membangkitkan listrik.



Gambar 2.2. Turbin Angin jaman sekarang (tipe HAWT)

Sumber: <http://www.popsci.com/technology/article/2009-10/huge-texas-wind-turbines-will-be-made-china>[11]

Gambar 2.2 menunjukkkn perkembangan pemanfaatan teknologi turbin angin. Turbin angin sekarang banyak digunakan sebagai pembangkit listrik. Pengembangan-pengembangan kincir angin yang banyak dilakukan akhir-akhir ini, umumnya bertujuan:

- Mencapai efisiensi yang lebih baik
- Memperbaiki kontruksi
- Menekan biaya investasi dan operasi serendah mungkin

2.3 Turbin Angin

Turbin angin adalah sebuah alat konversi energi yang memanfaatkan energi gerak angin (energi mekanik) dan diubah menjadi bentuk energi lainnya sesuai yang diinginkan (misalnya energi listrik). Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain-lain.

Saat ini, penggunaan kincir angin lebih banyak digunakan sebagai penuplai kebutuhan energi listrik sebagai salah satu bentuk penggunaan sumber daya alam yang dapat diperbaharui karena menggunakan angin sebagai sumber energinya. Dan untuk mendapatkan kebutuhan angin yang mampu menggerakkan turbin angin dalam jumlah besar, maka di daerah non-tropis sangat cocok

diterapkan mesin konversi energi ini karena kecepatan angin rata-rata 3,0 sampai 5,0 m/s[6].

2.3.1 Komponen Turbin Angin

Prinsip kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, lalu putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik.

Sebuah Turbin angin umumnya memiliki komponen utama yaitu rotor dan generator[13]. Turbin angin secara umum terdiri dari 5 komponen, yaitu:

1. Gearbox.

Alat ini berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi.

2. Generator.

Generator ini dapat mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (Alternating Current) yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal.

3. Brake System.

Digunakan untuk menjaga putaran pada poros setelah gearbox agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin yang besar. Alat ini perlu dipasang karena generator memiliki titik kerja aman dalam pengoperasiannya.

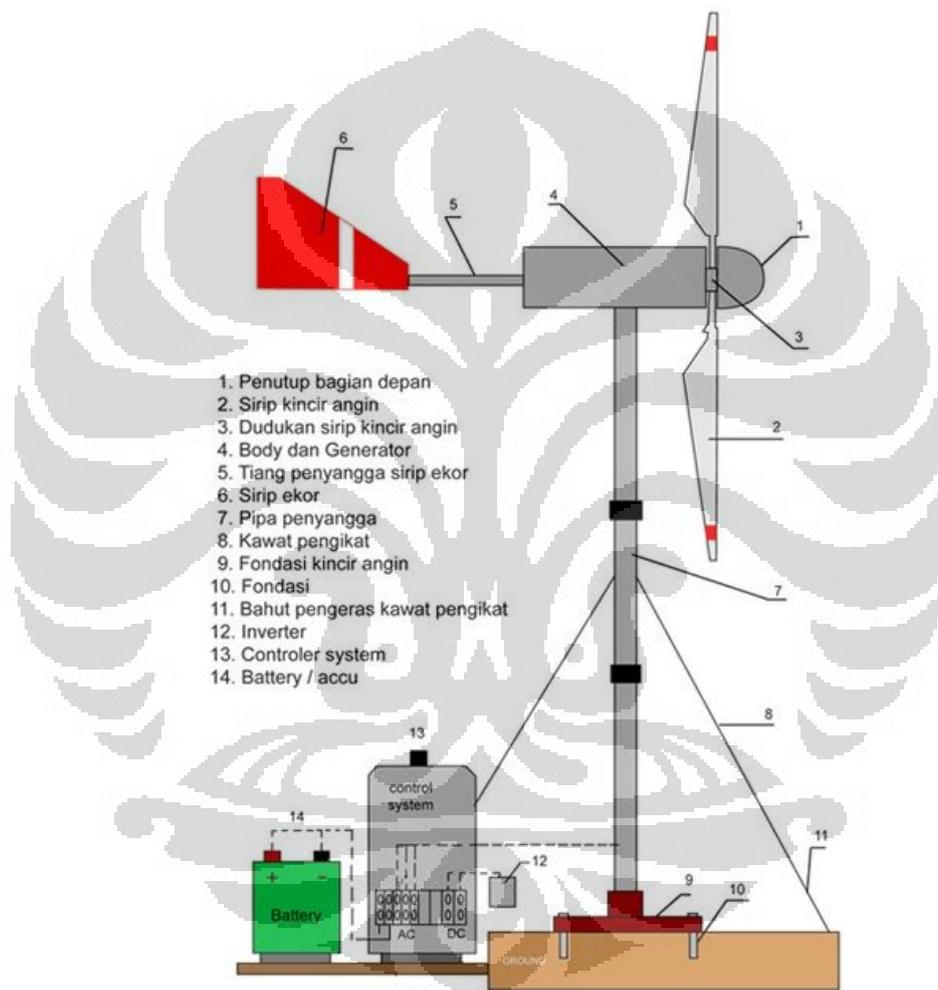
4. Penyimpan energi.

Alat penyimpan energi yang difungsikan sebagai back-up energi listrik. Ketika beban penggunaan daya listrik masyarakat meningkat atau ketika kecepatan angin suatu daerah sedang menurun, maka kebutuhan permintaan akan daya listrik tidak dapat terpenuhi. Oleh karena itu kita perlu menyimpan sebagian energi yang dihasilkan ketika terjadi kelebihan

daya pada saat turbin angin berputar kencang atau saat penggunaan daya pada masyarakat menurun.

5. Rectifier-inverter.

Rectifier dapat menyearahkan gelombang sinusoidal(AC) yang dihasilkan oleh generator menjadi gelombang DC. Inverter diperlukan untuk mengubah gelombang DC yang dikeluarkan oleh aki menjadi gelombang AC, agar dapat digunakan oleh rumah tangga.



Gambar 2.3. Komponen-komponen turbin angin

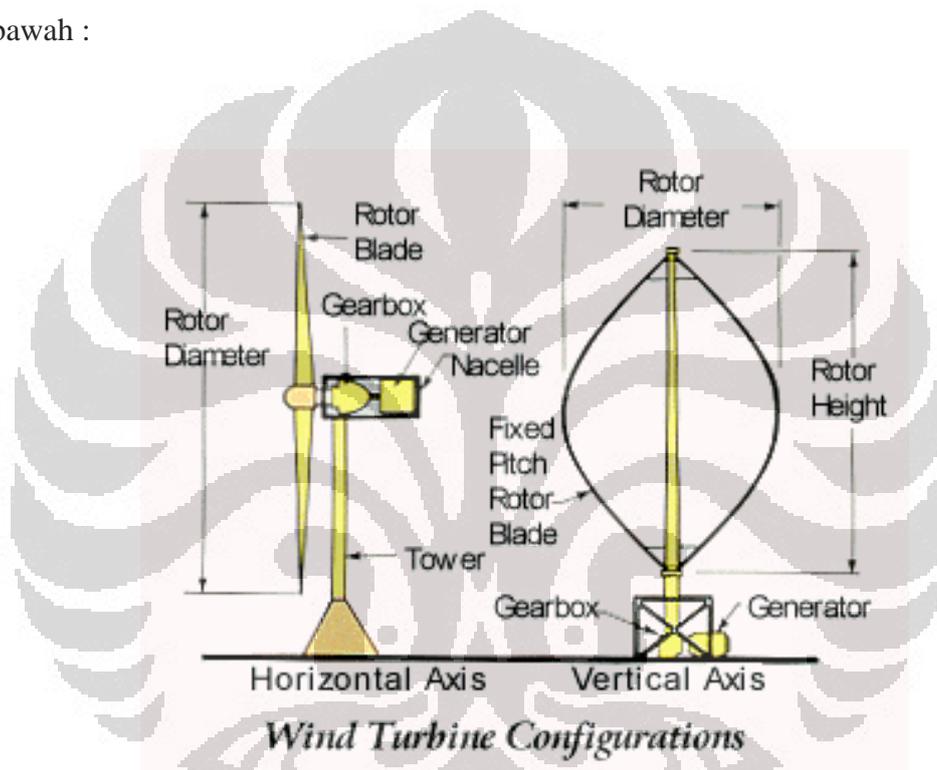
Sumber: <http://nugrohoadi.wordpress.com/category/renewable-energy/>[12]

Gambar 2.3 menunjukkan komponen-komponen yang terdapat pada turbin angin, baik berupa komponen utama maupun komponen pendukung.

2.3.2 Tipe-tipe Turbin Angin

Terdapat dua jenis turbin angin; turbin angin dengan bilah bersumbu horizontal, dan bilah bersumbu vertikal.

Horizontal-axis Wind Turbines (HAWT) memiliki shaft rotor utama dan generator pada puncak atas dari menara, dan diarahkan menghadap arah angin. Sementara Vertical-axis Wind Turbines (VAWT) memiliki shaft rotor yang dipasang secara vertikal. Untuk lebih jelasnya, dapat dilihat pada gambar di bawah :



Gambar 2.4. HAWT dan VAWT

Sumber: <http://www.heliosbuzz.com/wind-energy-vertical-axis-wind-turbines/vawt/>[14]

Gambar 2.4 menunjukkan pembagian jenis turbin angin berdasarkan bilah sumbunya. Secara umum, HAWTs terbagi lagi menjadi upwind dan downwind, sementara VAWTs terbagi menjadi turbin Darrieus dan Savonius.

Turbin angin jenis upwind memiliki rotor yang menghadap ke arah angin. Keuntungan dari desain ini adalah rotor tidak terkena wind shade dari bagian belakang menara. Kerugiannya adalah, rotor perlu menjadi lebih tidak fleksibel, dan diletakkan dengan jarak tertentu dari puncak menara.

Turbin angin jenis downwind memiliki rotor yang tidak menghadap ke arah angin. Rotor juga dapat dibuat lebih fleksibel, dan beratnya menjadi lebih

ringan secara keseluruhan. Kerugiannya adalah fluktuasi dari energi angin yang terjadi dapat memberikan beban lebih pada menara.

2.3.3 Potensi Energi Angin pada Turbin Angin

Angin adalah udara yang memiliki massa dan bergerak dengan suatu kecepatan. Dari pergerakan ini, angin memiliki energi yang sebanding dengan massa, serta kecepatan. Nilai potensi energi angin dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut [15]:

$$E = 0,5 \cdot m \cdot V^2 \quad (2.1)$$

Massa udara di sini adalah massa yang terkandung dalam suatu volum udara, dan nilainya dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$m = \rho \cdot v \quad (2.2)$$

Volum udara yang terukur dapat ditentukan dari perkalian antara luas penampang lingkaran turbin dan panjang lintasan yang ditempuh udara dalam suatu waktu, dan nilainya dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$v = A \cdot x \quad (2.3)$$

Persamaan (2.2) dan persamaan (2.3) dapat disubstitusi sehingga:

$$m = \rho \cdot A \cdot x \quad (2.4)$$

Persamaan (2.1) dan persamaan (2.4) dapat disubstitusi sehingga:

$$E = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot x \cdot V^2 \quad (2.5)$$

$$p = \frac{dE}{dt} = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot V^2 \frac{dx}{dt}$$

$$p = 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (2.6)$$

Dan daya spesifik dari angin per satuan luas bidang putar turbin, nilainya dapat ditentukan dengan persamaan sebagai berikut:

$$P = \frac{p}{A} = 0,5 \cdot \rho \cdot V^3 \quad (2.7)$$

Angin bertiup melalui suatu turbin dan kemudian melepaskan sebagian energi kinetik pada turbin tersebut, dan mengalami perhambatan. Dari hal ini dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin sebelum dan sesudah melewati turbin tidaklah sama. Perubahan momentum yang dialami udara dapat ditentukan dengan persamaan berikut:

$$\Delta M = m(V_1 - V_2) \quad (2.8)$$

$$P = m(V_1 - V_2)V \quad (2.9)$$

$$0,5 \cdot m \cdot (V_1^2 - V_2^2)$$

$$0,5 \cdot m \cdot (V_1^2 - V_2^2) = m(V_1 - V_2)$$

$$V = 0,5 \cdot (V_1 + V_2)$$

$$P = \rho \cdot A \cdot V \cdot (V_1 - V_2)V$$

$$P = \rho \cdot A \left(\frac{V_1 + V_2}{2} \right)^2 (V_1 - V_2)$$

$$P = \rho \cdot A \cdot V_1^3 [(1 + \alpha)(1 - \alpha^2)]/4$$

$$\alpha = \frac{V_2}{V_1}$$

$$\frac{dP}{d\alpha} = 1 + \alpha - \alpha^2 - \alpha^3 = 0$$

$$\alpha = 1/3$$

Energi maksimum yang dapat diambil oleh turbin adalah:

$$P_{max} = \frac{8}{27} \cdot \rho \cdot A \cdot V_1^3 \quad (2.10)$$

Daya maksimal persatuan luas:

$$P_{max} = \frac{8}{27} \cdot \rho \cdot V_1^3 \quad (2.11)$$

Daya per satuan luas yang terdapat di angin:

$$P = 0,5 \cdot \rho \cdot V_1^3 \quad (2.12)$$

Efisiensi maksimum turbin angin:

$$\eta = C_p = \frac{P_{max}}{P} = 0,59 \quad (2.13)$$

Daya spesifik yang dapat diambil oleh turbin angin:

$$P = 0,5 \cdot C_p \cdot \rho \cdot V_1^3 \quad (2.14)$$

Dimana:

P = daya yang dihasilkan turbin angin secara teoritis (Watt)

C_p = koefisien daya turbin angin

ρ = massa jenis udara pada waktu tertentu (Kg/m^3)

A = luas permukaan turbin yang dikenai tumbukan angin (m^2)

v = kecepatan udara pada waktu tertentu (m/s)

Sebagai pembanding diperlukan rumusan daya lainnya. Daya itu didapat dari torsi yang dihasilkan sesuai dengan putaran turbin, rumusnya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} P_s &= T \omega \\ P_s &= T \frac{2\pi N}{60} \end{aligned} \quad (2.15)$$

P_s = daya yang dihasilkan turbin angin dengan simulasi (Watt)

T = torsi yang dihasilkan turbin (N.m)

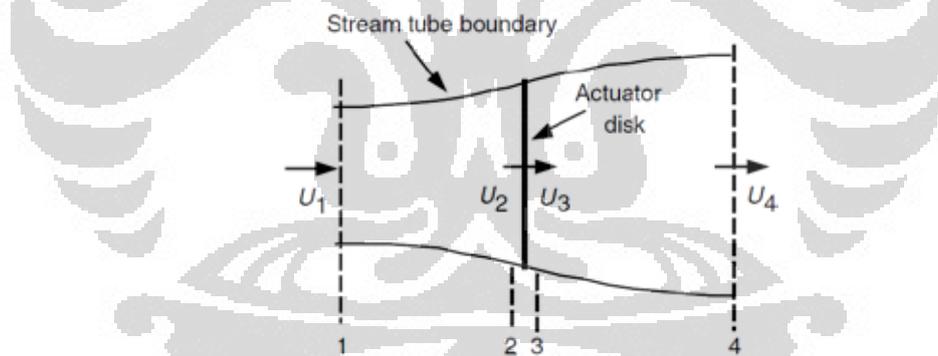
N = jumlah putaran (rpm)

Teori tentang perhitungan suatu turbin angin pertama kali dikenalkan oleh Beltz(1926). Sebuah model sederhana, dapat digunakan untuk menentukan kekuatan dari sebuah rotor turbin, gaya dorong angin pada rotor ideal, dan efek

dari kerja rotor pada local wind field. Model sederhana ini didasarkan pada teori momentum linier yang dikembangkan lebih dari 100 tahun yang lalu untuk memprediksi kinerja baling-baling kapal.

Analisis ini mengasumsikan kontrol volume, dimana batas-batas kontrol volume adalah permukaan stream tube dan dua penampang stream tube (Gambar 2.5). Turbin digambarkan sebagai 'actuator disc' seragam yang menciptakan diskontinuitas tekanan pada aliran udara yang mengalir melalui stream tube. Analisis ini tidak terbatas pada jenis tertentu dari turbin angin. Analisis ini menggunakan asumsi sebagai berikut[16] :

- Alirannya homogen, incompressible, dan steady state flow
- Tidak ada frictional drag
- Jumlah blade infinite
- Uniform thrust pada rotor area
- Non-rotating wake
- Tekanan statis far upstream dan far downstream pada rotor sama dengan tekanan statis di sekitarnya



Gambar 2.5. Actuator disc model dari turbin angin

Dengan menerapkan kekekalan momentum linier untuk kontrol volume yang menutup seluruh sistem, dapat dihitung gaya total pada kontrol volume. Bahwa gaya adalah sama dan berlawanan dengan gaya dorong (thrust), T , yang merupakan gaya atau kekuatan angin pada turbin angin. Dari kekekalan momentum linier untuk satu dimensi aliran, incompressible, time-invariant flow, gaya dorong adalah sama dan berlawanan dengan laju perubahan momentum dari aliran udara[16].

$$T = U_1(\rho AU)_1 - U_4(\rho AU)_4 \quad (2.16)$$

Dimana ρ adalah densitas udara, A adalah luas penampang, dan U adalah kecepatan udara.

Untuk steady state flow, $(\rho AU)_1 = (\rho AU)_4 = \dot{m}$, dimana \dot{m} adalah laju massa[16]. Sehingga :

$$T = \dot{m}(U_1 - U_4) \quad (2.17)$$

Gaya dorong adalah positif sehingga kecepatan di belakang rotor, U_4 , lebih rendah daripada kecepatan free stream U_1 . Dengan demikian, fungsi Bernoulli dapat digunakan dalam 2 volume kontrol di kedua sisi actuator disc. Di sisi upstream :

$$p_1 + \frac{1}{2}\rho U_1^2 = p_2 + \frac{1}{2}\rho U_2^2 \quad (2.18)$$

Di sisi downstream :

$$p_3 + \frac{1}{2}\rho U_3^2 = p_4 + \frac{1}{2}\rho U_4^2 \quad (2.19)$$

Dimana diasumsikan tekanan pada far upstream dan far downstream adalah sama ($p_1 = p_4$) dan oleh karena itu kecepatan free stream yang melintas adalah sama ($U_2 = U_3$)[16].

Gaya dorong juga dapat dinyatakan sebagai jumlah dari gaya-gaya di setiap sisi actuator disc:

$$T = A_2(p_2 - p_3) \quad (2.20)$$

Jika $(p_2 - p_3)$ dapat diselesaikan menggunakan persamaan 2.18 dan 2.19, dan disubstitusikan ke persamaan 2.20 , sehingga menghasilkan persamaan[16] :

$$T = \frac{1}{2}\rho A_2(U_1^2 - U_4^2) \quad (2.21)$$

Menggunakan persamaan 2.17 dan 2.21 untuk nilai thrust dan mengenali laju massa sebagai $\rho A_2 U_2$, sehingga diperoleh [16] :

$$U_2 = \frac{U_1 + U_4}{2} \quad (2.22)$$

Dengan demikian, kecepatan angin di rotor plane, menggunakan model sederhana ini, adalah rata-rata dari kecepatan udara di sisi upstream dan downstream.

Jika didefinisikan axial induction factor, a , sebagai penurunan fraksional kecepatan udara antara free stream dan rotor plane, maka [16] :

$$a = \frac{U_1 - U_2}{U_1} \quad (2.23)$$

$$U_2 = U_1(1 - a) \quad (2.24)$$

dan

$$U_4 = U_1(1 - 2a) \quad (2.25)$$

Nilai $U_1 a$ sering disebut sebagai kecepatan induced pada rotor, dalam hal ini kecepatan angin pada rotor adalah kombinasi dari kecepatan free stream dan kecepatan induced angin. Karena axial induction factor meningkat dari 0, kecepatan angin di belakang rotor menjadi lebih lambat dan lambat. Jika $a = 1/2$, angin melambat hingga kecepatan nol di belakang rotor sehingga teori sederhana ini tidak lagi dapat diberlakukan.

Daya keluaran, P , sama dengan thrust times velocity pada disk [16] :

$$P = \frac{1}{2} \rho A_2 (U_1^2 - U_4^2) U_2 = \frac{1}{2} \rho A_2 U_2 (U_1 + U_4) (U_1 - U_4) \quad (2.26)$$

Substitusi U_2 dan U_4 dari persamaan 2.24 dan 2.25 memberikan :

$$P = \frac{1}{2} \rho A U^3 4a(1 - a)^2 \quad (2.27)$$

Dimana daerah kontrol volum pada rotor, A_2 , digantikan oleh A , area rotor, dan kecepatan free stream U_1 digantikan oleh U .

Rotor performance dari turbin angin biasanya dikarakteristikan oleh koefisien dayanya, C_p :

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho U^3 A} = \frac{\text{Rotor power}}{\text{Power in the wind}} \quad (2.28)$$

Koefisien daya merupakan sebagian dari potensi daya angin yang diekstraksi oleh rotor. koefisien daya adalah:

$$C_p = 4a(1 - a)^2 \quad (2.29)$$

C_p maksimum ditentukan dengan mengambil derivatif dari koefisien daya (Persamaan 2.29), menghasilkan $a = 1/3$. Sehingga :

$$C_{p,max} = 16/27 = 0,5926 \quad (2.30)$$

Dari persamaan 2.21, 2.24, dan 2.25, gaya dorong aksial pada disc adalah

$$T = \frac{1}{2}\rho AU^2[4a(1 - a)] \quad (2.31)$$

Sama dengan daya, gaya dorong turbin angin dapat dikarakteristikan sebagai non dimensional, koefisien thrust[16] :

$$C_T = \frac{T}{\frac{1}{2}\rho U^2 A} = \frac{\text{Thrust force}}{\text{Dynamic force}} \quad (2.32)$$

Betz Limit, $C_{p,max} = 16/27$, adalah koefisien daya rotor maksimum yang mungkin secara teoritis. Dalam aplikasinya, tiga faktor yang menyebabkan berkurangnya koefisien daya maksimum yang dapat tercapai diantaranya adalah :

- Rotation of the wake di belakang rotor
- Jumlah blade yang tidak infinite dan losses pada ujung tip blade
- Drag aerodinamis (tidak sama dengan nol)[16]

Efisiensi turbin secara keseluruhan adalah fungsi dari koefisien daya rotor dan efisiensi mekanis dari turbin angin[16] :

$$\eta_{overall} = \frac{P_{out}}{\frac{1}{2}\rho AU^3} = \eta_{mech} C_p \quad (2.33)$$

Sehingga :

$$P_{out} = \frac{1}{2}\rho AU^3 (\eta_{mech} C_p) \quad (2.34)$$

2.3.4 Turbin angin di Indonesia

Pada saat ini, naiknya permintaan terhadap energi yang bersih dapat diperbarui semakin tinggi. Penggunaan dan eksploitasi bahan bakar fosil, dan efeknya pada lingkungan, menjadi ancaman bagi kehidupan di masa yang akan datang. Tren yang sama juga terjadi di Indonesia. Indonesia memiliki energi yang bersih dan dapat diperbarui dalam jumlah yang banyak, namun teknologinya belum cukup untuk dapat mengolah energi-energi tersebut.

Dalam beberapa tahun ini, banyak insinyur yang mencoba untuk mengatasi situasi tersebut. Di Indonesia, energi 'hijau' dan terbarukan semakin dikembangkan, contohnya; bioetanol, biodiesel, energi geotermal, bahkan energi solar. Energi angin sendiri telah menjadi semacam sektor yang berkembang pesat dalam industri ini. Angin dengan kecepatan 3 m/s, atau 12 km/jam, atau 6.7 knot/jam cukup untuk turbin angin skala kecil [17].

Sementara itu sebagai salah satu kebijakan dari diversifikasi energi Ditjen Energi Baru Terbarukan dan Konservasi Energi (DJEBTKE) Kementerian Energi Sumber Daya Mineral (ESDM) bersama UPC Asia Wind Limited telah menandatangani nota kesepahaman (MoU) dalam sebuah proyek PLTB skala besar yang rencananya akan dibangun di pesisir Pantai Samas, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta. PLTB ini ditargetkan ini memiliki kapasitas 50 MW yang meliputi pembangunan 33 turbin angin dengan kapasitas masing-masing sebesar 1,5 MW [17].

2.2.5 Turbin angin skala kecil

Turbin angin skala kecil adalah turbin angin dengan output energi lebih rendah dari turbin angin komersial. Turbin angin jenis ini hanya dapat menghasilkan listrik $< 0,5$ kW [18].

Perihal instalasi, aturan yang berlaku untuk pemasangan turbin angin adalah tinggi minimalnya adalah 9 meter lebih tinggi dari gedung di sekitarnya dalam radius 152 meter [19]. Hal ini merupakan masalah karena tujuannya adalah untuk menciptakan turbin angin yang dapat dipasang pada area permukiman, dan digunakan pada level aktivitas rumah tangga.



Gambar 2.6. *Rooftop Wind Turbines*

Sumber: <http://www.windturbinepicker.com/rooftop-wind-turbines/>[20]

Pada Gambar 2.6 menunjukkan sebuah turbin angin skala kecil untuk daerah perumahan atau perkotaan, dengan geometri rotor yang relatif kecil.

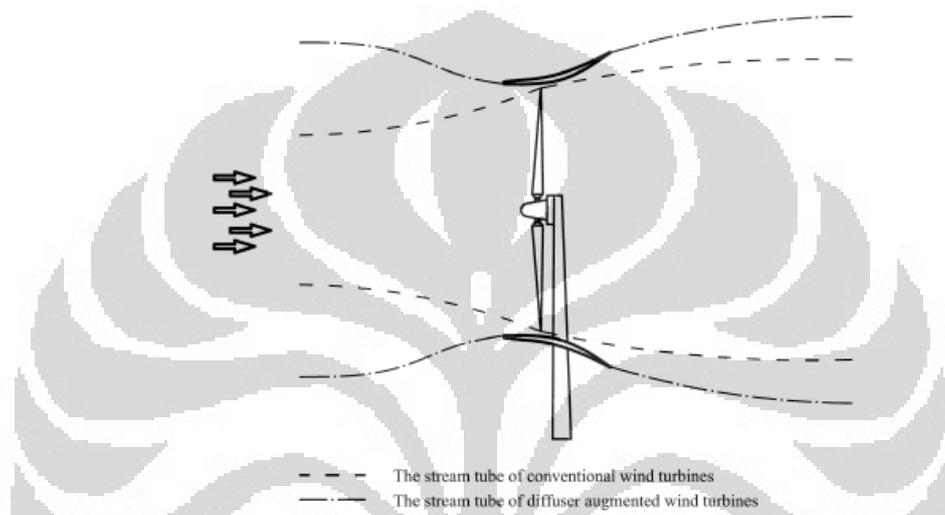
Turbin angin skala kecil seperti ini lebih banyak terhambat oleh turbulensi dan jarang menghasilkan energi yang cukup, terutama pada daerah perkotaan. Masalah inilah yang ditemukan pada kota-kota di Indonesia, di samping kecepatan angin yang tidak dapat memenuhi standar normal kecepatan yang diperlukan untuk keperluan dasar turbin angin.

Turbin angin skala kecil biasanya terdiri atas; bilah-bilah rotor, hub, generator DC, diode, dudukan turbin, kabel-kabel, dan menara kecil. Desain ini dapat berbeda pada tiap lokasi tergantung kebutuhan dan keinginan konsumen, serta karakteristik lokasi itu sendiri.

2.4 Selubung Turbin Angin

Salah satu tujuan utama dari pengembangan turbin angin adalah meningkatkan daya output turbin. Menurut persamaan (2.34), ada dua parameter yang mempengaruhi nilai daya, daerah sapuan blade dan kecepatan angin. Oleh karena itu daya output dapat ditingkatkan dengan meningkatkan salah satu dari dua parameter tersebut. Menurut Betz Limit, untuk turbin angin konvensional, koefisien daya adalah parameter terbatas. Kembali mengacu pada persamaan

(2.34), bahwa daya dari sebuah turbin angin adalah kecepatan pangkat tiga. Oleh karena itu, dengan meningkatkan kecepatan angin yang melalui rotor akan berdampak besar pada daya. Salah satu metode untuk meningkatkan kecepatan angin yang efektif adalah menggunakan selubung di sekitar rotor. Desain tersebut kadang-kadang disebut sebagai Diffuser-Augmented Wind Turbine (DAWT). Gambar menggambarkan sebuah skema desain ini diterapkan pada HAWT dan perubahan stream tube dibandingkan dengan turbin angin konvensional.



Gambar 2.7 Perbandingan stream tube antara turbin angin konvensional dan DAWT

Pemakaian selubung di sekitar rotor meningkatkan laju aliran udara yang melalui daerah tersebut, sehingga meningkatkan kecepatan angin di rotor. Keuntungan lain menggunakan diffuser sekitar blade adalah bahwa daya maksimum teoritis dari turbin angin dengan selubung tidak dibatasi oleh Betz Limit, dan berhubungan dengan perbedaan tekanan dan kecepatan aliran di sekitar selubung [21]. Fakta akan keuntungan kinerja substansial yang diwujudkan dengan penggunaan selubung pada turbin angin diakui di tahun 1950. Studi yang dilakukan oleh Lilley dan Rainbird [22] menunjukkan bahwa dengan penambahan selubung, dapat menghasilkan daya hingga dua kali lebih besar dibandingkan dengan tanpa selubung dengan diameter yang sama.

Beberapa penelitian mengenai desain diffuser untuk HAWT telah dilakukan sejauh ini [22-28]. De Vries [29] adalah salah satu yang pertama untuk mengembangkan teori dari DAWT (*Diffuser Augmented Wind Turbine*). Dia

membedakan teori diffuser sederhana dari teori turbin berselubung. Dalam teori diffuser sederhana, dia memodelkan aliran satu dimensi melalui diffuser, tapi mengantisipasi kenyataan bahwa tekanan di sisi keluar harus sama dengan sekitar. Dia memasukkan nilai back pressure negatif seperti yang ditemukan dalam percobaan sebelumnya dengan memperkenalkan koefisien tekanan keluar empiris. Dalam pendekatan turbin berselubung, ia membuat suatu usaha untuk memodelkan gaya radial pada selubung dengan pendekatan momentum. Hasil tersebut menghasilkan kesimpulan bahwa nilai-nilai optimal dari sekitar $C_p = 2$ dapat diperoleh .

Pada tahun 1999 Hansen dkk [30-31] menunjukkan melalui perhitungan CFD, bahwa batas Betz dapat dilampaui dengan rasio yang sesuai dengan kenaikan relatif dalam aliran massa yang melalui rotor. Dari teori momentum DAWT dapat dilihat bahwa daya yang dicapai sebanding dengan daya sebuah HAWT yang memiliki diameter yang sama dengan diameter keluar dari diffuser. Namun dari model momentum ini juga dapat dilihat bahwa kinerja yang lebih baik masih memungkinkan ketika “back pressure level” di sisi keluar diffuser dapat tercapai.

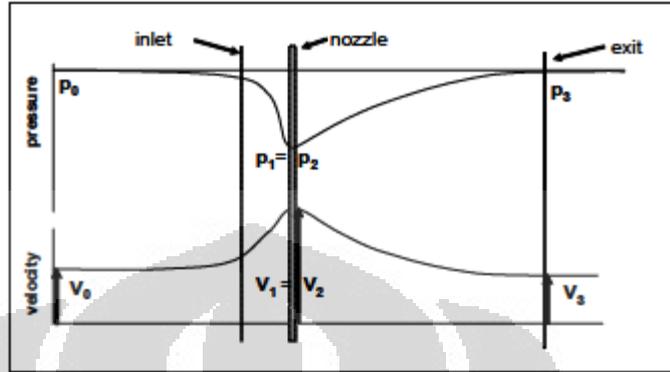
Salah satu desain diffuser terbaru dilakukan oleh Abe dkk. [32]. Para penulis menyarankan diffuser dengan flens di akhir diffuser untuk meningkatkan daya output dari HAWT. Dalam penelitiannya tersebut, penulis melakukan penyelidikan numerik dan eksperimental untuk menunjukkan efek dari flange downstream. Mereka juga meneliti efek pada inlet diffuser dengan menggunakan diffuser dengan bagian inlet yang lebih luas. Diffuser dengan flens dilakukan studi eksperimental lebih lanjut oleh Ohya dkk. [8] untuk merancang DAWT komersial.

2.4.1 Tekanan dan kecepatan dalam sebuah diffuser kosong

Dalam one dimensional momentum theory, kecepatan dan tekanan dalam sebuah diffuser kosong secara langsung berhubungan dengan geometri, yaitu untuk variasi luas penampang. Gambar 2.8 menunjukkan indeks yang digunakan di berbagai lokasi. Luas penampang keluar dari diffuser yang digunakan sebagai referensi. Tekanan ambien p_0 berada jauh di depan dan di belakang diffuser.

Sepanjang diffuser, hubungan kecepatan dan tekanan dapat ditemukan dari persamaan kontinuitas dan hukum Bernoulli untuk tekanan total:

$$p_{tot} = p_0 + \frac{1}{2}\rho V_0^2 = p_1 + \frac{1}{2}\rho V_1^2 = p_3 + \frac{1}{2}\rho V_3^2 = p_o + \frac{1}{2}\rho V_e^2 \quad (2.34)$$



Gambar 2.8. Hubungan tekanan dan kecepatan dalam diffuser kosong

Dengan menggunakan persamaan kontinuitas dapat dilihat dengan mudah bahwa hubungan antara kecepatan pada nosel dan kecepatan di sisi keluar diffuser sebanding dengan rasio diffuser area β :

$$V_1 = \beta V_3 \quad (2.35)$$

Tekanan total di nosel, menggunakan hubungan persamaan di atas dapat ditulis sebagai:

$$p_{tot} = p_1 + \frac{1}{2}\rho(\beta V_0)^2 \quad (2.36)$$

Pada awalnya diasumsikan bahwa tidak ada *back pressure* di sisi keluar diffuser, sehingga $p_3 = p_0$ dan $V_0 = V_3$. Sehingga tekanan pada nosel sama dengan :

$$p_1 = p_0 + (1 - \beta^2) \frac{1}{2}\rho V_0^2 \quad (2.37)$$

Hal ini menunjukkan bahwa *under pressure* akan ada pada nosel, setiap kali rasio diffuser area β lebih besar dari 1. Hal ini jelas terjadi ketika luas area di sisi keluar lebih besar daripada area masuk, dan tidak ada separasi aliran yang muncul.

$$V_3 = \gamma V_0 \quad (2.38)$$

Di sisi keluar diffuser *back pressure* (γ) dapat saja terjadi, misalnya ketika mengalami Kutta condition, aliran dipaksa untuk terdefleksi ke arah radial. Kemudian kecepatan di sisi keluar akan berbeda dari kecepatan ambient V_0 di

depan diffuser. Dengan melihat hubungan *back pressure* sebagai hubungan antara kecepatan V_0 dan V_3 di sisi keluar diffuser sehingga menghasilkan tekanan pada nozzle sebagai berikut :

$$p_1 = p_0 + (1 - \beta^2 \gamma^2) \frac{1}{2} \rho V_0^2 \quad (2.39)$$

Jadi untuk rasio diffuser area β lebih besar dari 1 dan untuk *back pressure* nol atau negatif ($\gamma \geq 1$), akan ada *under pressure* di nosel.

Hubungan kecepatan di dalam diffuser akan lebih sederhana jika geometrinya diketahui. Dimulai dari kecepatan V_3 di sisi keluar dari diffuser, kecepatan di lokasi lain dapat langsung dihitung dari perbandingan luas daerah tersebut dengan luas daerah keluar, dengan mengaplikasikan persamaan kontinuitas, dan menggunakan asumsi distribusi kecepatan seragam pada setiap bagian diffuser.

Rasio antara kecepatan dalam nosel diffuser (tanpa turbin angin) dan kecepatan masuk V_0 di depan diffuser sering menyebabkan kesalahan dalam memprediksi daya yang mampu dicapai oleh sebuah DAWT. Dengan menggabungkan persamaan (2.35) dan (2.37), menunjukkan bahwa kecepatan nozzle sama dengan $\beta \gamma V_0$. Namun daya maksimum yang dapat dicapai tidak sama dengan $\beta^3 \gamma^3 C_{pmax}$, dimana C_{pmax} adalah daya maksimum yang dapat dicapai dari sebuah turbin angin tanpa diffuser. Secara signifikan, daya maksimum aktual lebih rendah dimana hal ini akan dijelaskan dibawah.

2.4.2 Hubungan antara kecepatan dan tekanan dalam DAWT

Ketika sebuah turbin angin diletakkan dalam diffuser, segala sesuatu mulai menjadi lebih kompleks. Efek dari turbin angin ini akan menyebabkan drop pada total pressure, di suatu tempat dalam diffuser, yang dapat diwakili oleh penurunan tingkat total pressure di sisi keluar diffuser. Lokasi yang paling cocok untuk penempatan wind turbine dari sudut pandang konstruksi adalah pada nosel diffuser, yang merupakan luas penampang terkecil.

Dalam teori momentum satu dimensi yang dikembangkan oleh Van Bussel [33], terdapat hal yang harus diupayakan untuk mengembangkan teori yang memiliki kesetaraan atau kesamaan paling dekat dengan hubungan

momentum untuk windturbines biasa. Oleh karena itu diasumsikan bahwa di sisi keluar dari diffuser, kondisi yang sama diberlakukan seperti halnya turbin angin biasa (dengan asumsi tidak ada back pressure tambahan). Sehingga dapat diekspresikan menggunakan persamaan:

$$V_3 = (1 - a)V_0 \quad (2.40)$$

Jadi, axial induction factor (a) didefinisikan di sisi keluar dari diffuser. Sama halnya seperti turbin angin biasa, teori momentum induksi ini adalah setengah dari faktor induksi ditemukan jauh di belakang DAWT ($V_e = (1 - 2a)V_0$). Dari persamaan kontinuitas, menggunakan diffuser area ratio β , bahwa kecepatan di wind turbine pada nozel DAWT sama dengan $V_1 = \beta V_3$, sehingga:

$$V_1 = \beta(1 - a)V_0 \quad (2.41)$$

Kecepatan di lokasi lain di dalam diffuser, seperti pada situasi tanpa turbin angin, dapat ditentukan dengan mengaplikasikan persamaan kontinuitas. Ketika ada sebuah back pressure tambahan di sisi keluar dari diffuser, kecepatan pada sisi keluar dapat diekspresikan:

$$V_3 = \gamma(1 - a)V_0 \quad (2.42)$$

Untuk diffuser kosong. Maka kecepatan pada nozzle:

$$V_1 = \beta\gamma(1 - a)V_0 \quad (2.43)$$

Hubungan tekanan dengan mudah dapat diperoleh dengan penerapan hukum Bernoulli pada aliran di depan dan di belakang rotor. Bila diasumsikan bahwa rotor terletak di nosel, maka:

$$p_1 = p_0 + [1 - \beta^2\gamma^2(1 - a)^2]\frac{1}{2}\rho V_0^2 \quad (2.44)$$

untuk tekanan di depan rotor dan:

$$p_2 = p_0 + [(1 - 2a)^2 - \beta^2\gamma^2(1 - a)^2]\frac{1}{2}\rho V_0^2 \quad (2.45)$$

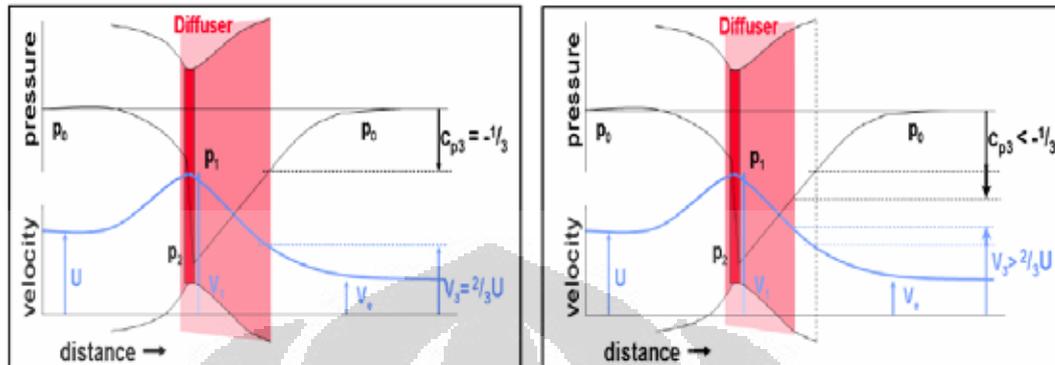
untuk tekanan di belakang rotor.

Dengan demikian perbedaan tekanan pada rotor dapat diekspresikan menggunakan persamaan:

$$p_2 - p_1 = 4a(1 - a)\frac{1}{2}\rho V_0^2 \quad (2.46)$$

Ini berarti bahwa jumlah energi yang diekstraksi per unit volume adalah identik dengan jumlah energi yang diekstraksi oleh turbin angin biasa (tanpa

diffuser). Jumlah udara yang melewati turbin di diffuser telah ditingkatkan dengan faktor $\beta\gamma$. Dan seperti halnya dengan teori momentum untuk turbin angin biasa nilai optimal untuk $a = 1/3$.



Gambar 2.9. Hubungan kecepatan dan tekanan optimal dalam sebuah DAWT yang diperoleh dari teori momentum

Kiri : diffuser tanpa *back pressure* tambahan ($\gamma = 1$)

Kanan: diffuser dengan *back pressure* tambahan ($\gamma > 1$)

2.4.3 Power dan *thrust* untuk DAWT.

Koefisien daya dari DAWT mengikuti persamaan (2.41) dan (2.46):

$$C_{p,rotor} = \beta\gamma 4a(1-a)^2 \quad (2.47)$$

Dan akibatnya koefisien daya pada sisi keluar diffuser:

$$C_{p,exit} = \gamma 4a(1-a)^2 \quad (2.48)$$

Dari persamaan di atas, dapat ditarik kesimpulan berkaitan dengan distribusi gaya dorong (*thrust*) total yang bekerja pada DAWT tersebut. *Thrust* pada rotor di dalam diffuser adalah persis sama dengan *thrust* pada rotor biasa tanpa diffuser, seperti dapat dilihat dari persamaan (2.46):

Penerapan prinsip kekekalan momentum untuk aliran yang melalui DAWT dapat menggunakan persamaan berikut:

$$C_{p,total} = \beta\gamma 4a(1-a) \quad (2.49)$$

Hal ini memberikan kesimpulan bahwa gaya dorong pada diffuser tergantung pada tekanan dari rotor:

$$C_{T,diffuser} = C_{p,total} - C_{p,rotor} = (\beta\gamma - 1)4a(1-a) \quad (2.50)$$

Oleh karena itu gaya dorong pada diffuser sebanding dengan laju massa tambahan yang diperoleh dalam DAWT. Koefisien daya optimal yang diperoleh untuk $a = 1/3$, sama seperti turbin angin biasa. Dalam karyanya pendekatan Van Bussel menekankan bahwa teori yang dikembangkan tidak mencakup penentuan back pressure ratio maksimum γ yang dapat dicapai.

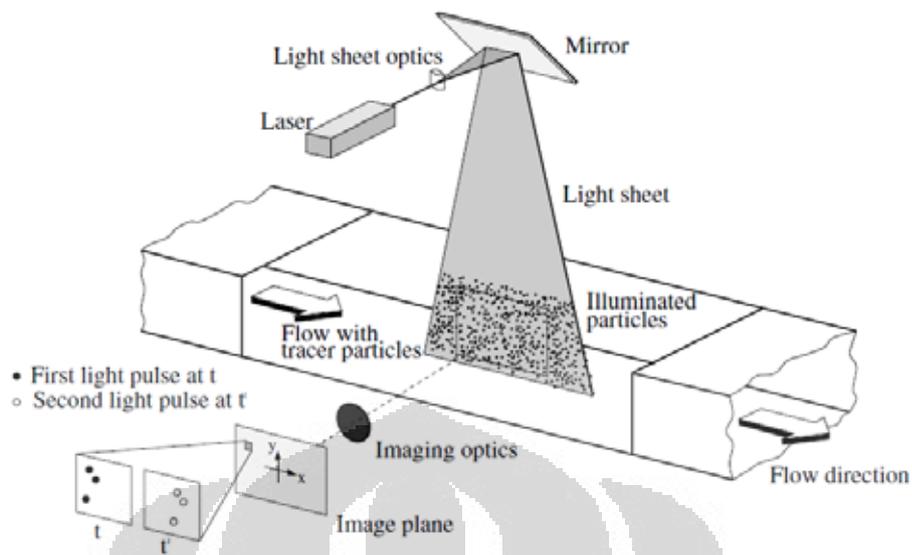
2.5 Particle Image Velocmetry (PIV)

Untuk mempelajari struktur aliran yang melewati suatu diffuser wind turbine, bisa menggunakan metode Particle Image Velocimetry (PIV). PIV adalah salah satu metode yang dapat mengvisualisasikan dan mengkalkulasi suatu velocity sebuah aliran. Metode ini juga bisa dipakai diberbagai aplikasi, diantaranya mengkalkulasikan velocity pada perpindahan panas, boundary layer, aliran transonic pada jet atau disekitar airfoil, vortex shading dan pada percobaan dengan menggunakan water atau wind tunnel[34].

Dengan metode PIV, kecepatan fluida diukur dalam bentuk two-dimensional cross-section. Seeding partikel dari velocity tersebut direkam dalam bentuk gambar dengan interval waktu tertentu. Setelah itu, dengan mengkalkusikan jarak antar partikel (Δx dan Δy) dengan interval waktu pengambilan gambar (Δt) maka, velocity antar partikel dapat dikalkulasikan..

$$\text{kecepatan[m/s]} = \frac{\text{jarak[m]}}{\text{waktu[t]}} \quad (2.51)$$

Suatu Aliran yang telah di tambahkan seeding partikel disinari oleh laser yang kemudian laser memberi efek freezing, pada saat yang bersamaan kamera menangkap dan merekam posisi sesaat partikel aliran tersebut. Dengan mengkalkulasikan perpindahan partikel terhadap waktu antar gambar yang satu dengan yang lain maka dapat diperoleh informasi mengenai kecepatan.



Gambar 2.10 skema metode PIV[34]

Gambar 2.10 menunjukkan skema pengambilan dengan menggunakan PIV, seeding particle mengalir bersama fluida, laser memberi efek freezing dan kamera menangkap gambar.

2.5.1 Pergerakan Partikel Pada Fluida Bergerak dan Aplikasinya Pada PIV

Pada Saat menggunakan PIV pada kondisi real, tidak ada model matematika yang dapat digunakan. Analisa pergerakan partikel terjadi sangat kompleks. Oleh karena itu, pada praktiknya diasumsikan bahwa bentuk partikel yang digunakan spherical dan mengalir di dalam aliran yang *infinite*.

Pada tahun 1888, Basset memperkenalkan persamaan pergerakan partikel berbentuk spherical relatif terhadap aliran *infinite stagnant*. Selanjutnya, Hinze (1959) mengembangkan persamaan tersebut untuk pergerakan fluida dengan memperkenalkan *instantaneous particle velocity* V relative terhadap fluida ($V \equiv U_p - U_f$), yang akhirnya menghasilkan persamaan:

$$\frac{\rho}{6} d_p^3 r_p \frac{d\hat{U}_p}{dt} = -3\rho m l_p \hat{V} + \frac{\rho}{6} d_p^3 r_f \frac{d\hat{U}_f}{dt} - \frac{\rho}{12} d_p^3 r_f \frac{d\hat{V}}{dt} - \frac{3}{2} d_p^2 \sqrt{\rho m r_f} \int_0^t \frac{d\hat{V} dx}{dx \sqrt{t-x}} \quad (2.52)$$

Pada persamaan ini, term pertama merepresentasikan gaya yang dibutuhkan untuk mengakselerasi partikel, dan term kedua pada persamaan (2.52)

berhubungan dengan gaya drag viskos yang dihasilkan oleh partikel karena bergerak dalam fluida. Seiring dengan akselerasi fluida, gradien tekanan pada sekitar partikel terbentuk: karenanya, terdapat gaya tambahan pada partikel, yang di representasikan oleh term ke-tiga. Term ke-empat berhubungan dengan resistansi fluida terhadap akselerasi partikel(diprediksi oleh teori aliran potensial). Term terakhir menggambarkan parameter “*Basset history integral*”, yang merepresentasikan peningkatan gaya drag dari penurunan pola aliran dari yang terjadi pada keadaan *steady flow*.

2.5.2 Matematik Pemrosesan Data PIV

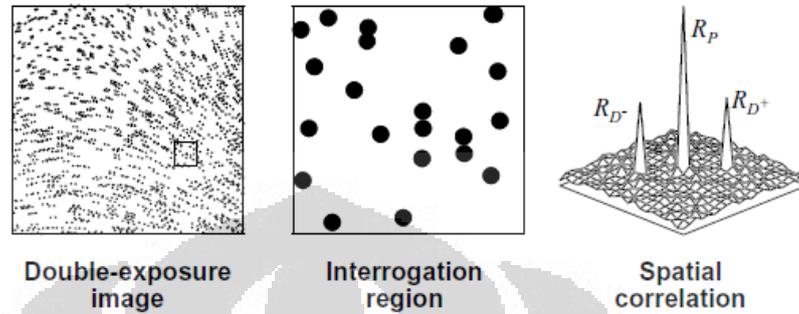
2.5.2.1 Sistem Koordinat

Software PIV menggunakan sistem koordinat kartesian untuk mengubah [pixel/s] perpindahan ke [m/s] kecepatan di dalam bidang XY yang tepat berhimpit dengan posisi dari *light-sheet*. Oleh karena itu, posisi positif X-axis adalah memanjang kearah kanan dan positif Y-axis adalah kearah atas seperti yang terlihat saat memperhatikan *light-sheet* dari belakang kamera. Sebagai konsekuensinya, baik *light-sheet* maupun orientasi kamera menggambarkan sistem koordinat dengan origin(0,0) terdapat pada bagian kiri-bawah sudut dari observasi area.

2.5.3 Pengolahan Gambar

Jika pengambilan gambar dilakukan dengan menggunakan frame yang sama (*single frame*) maka perpindahan partikel dapat dikalkulasi menggunakan analisis *auto-correlation*. Teknik *auto-correlation* ini biasa digunakan oleh sistem PIV dengan kamera berbasis film karena keterbatasan kecepatan trigger kamera film dibanding *high speed* kamera digital. Fungsi *auto-correlation* pada dua gambar memiliki sebuah puncak pusat, R_P , dan dua puncak sisi simetri, R_D^- , R_D^+ seperti pada Gb.(2.11). Namun, teknik *auto-correlation* memiliki dua kelemahan yaitu: (1) walaupun jarak perpindahan partikel dapat diketahui, tetapi tidak adanya informasi arah pergerakan partikel membuat arah aliran menjadi ambigu, (2) pada kasus perpindahan partikel dengan jarak yang sangat kecil, puncak sisi simetri

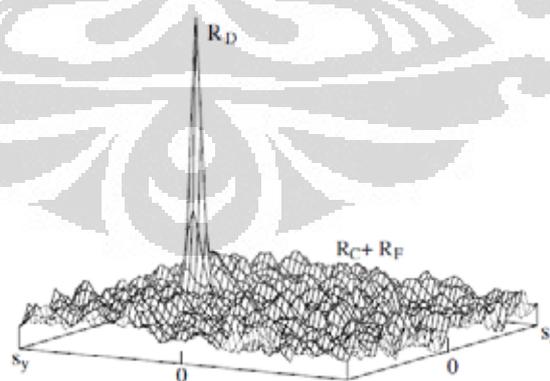
dapat bernilai lebih tinggi dari puncak pusat, hal ini membuat *auto-correlation* memiliki limitasi pada range kecepatan tertentu.



Gambar 2.11 analisis *auto-correlation*

sumber: K.D Jansen, *flow measurement*, 2004

Teknik yang lebih baik dalam pengolahan gambar dalam PIV adalah dengan menggunakan dua frame yang berbeda (*double frame*). Teknik *cross-correlation* dapat dilakukan pada gambar dengan *double frame*, fungsi dari *cross-correlation* ini memiliki satu puncak R_D , menghasilkan besar dan arah aliran tanpa kerancuan (ambiguitas).



Gambar 2.12 fungsi *cross-correlation*

sumber: M Raffel, *Particle Image Velocimetry*, 2007[34]

2.6 Boundary Layer

Lapisan Batas atau boundary layer adalah lapisan yang terbentuk di sekitar penampang yang dilalui oleh fluida, karena mengalami hambatan yang disebabkan beberapa faktor, seperti faktor gesekan dan faktor efek-efek viskos. Secara definisi, lapisan batas adalah sebuah lapisan yang terbentuk pada benda yang terendam dalam fluida dimana pada lapisan tersebut efek viskos sangat penting dan di luar lapisan tersebut fluida bersifat *inviscid*. *Inviscid* merupakan aliran fluida yang tidak mengalami gesekan, konduktifitas panas, atau difusi massa.

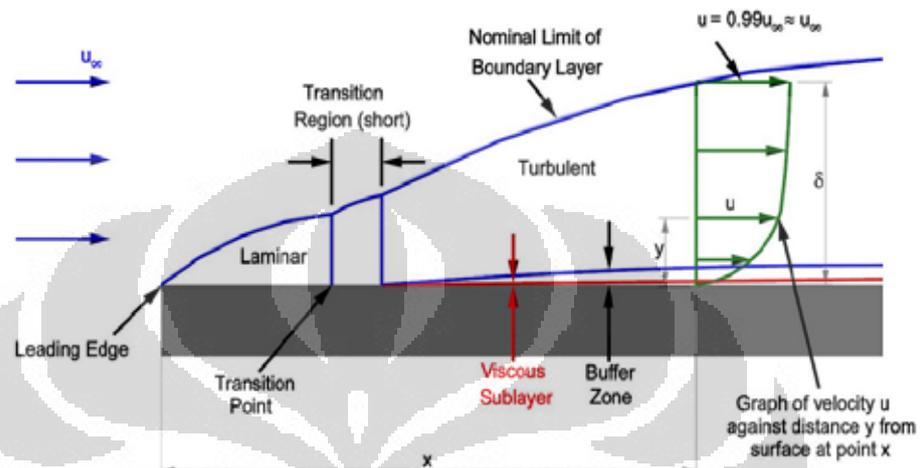
Apabila aliran seragam sebuah fluida tak mampu mampat mendekati permukaan sebuah benda dengan kecepatan *upstream*, U_o , maka ketika fluida telah mencapai tepi sebelah depan, tegangan geser yang besar terbentuk dekat permukaan benda karena partikel-partikel fluida yang datang terpaksa berhenti dan partikel-partikel yang cukup dekat dan normal terhadap benda dihambat oleh gesekan viskos. Daerah tempat aliran mengalami hambatan ini disebut lapisan batas dan ketebalannya dinyatakan dengan tebal lapisan batas, δ .

Lapisan batas menebal dengan arah yang sama dengan arah aliran, akibatnya perubahan kecepatan dari nol di permukaan pelat hingga *free stream*, U , pada jarak d semakin jauh menjadi semakin besar. Laju perubahan kecepatan tadi menentukan gradient kecepatan di permukaan pelat dan juga tegangan gesernya. Tegangan geser untuk lapisan batas laminar adalah :

$$\tau = \mu \left(\frac{du}{dy} \right)_{y=0} \quad (2.53)$$

Dan harga ini bervariasi terhadap jarak disepanjang permukaan karena profil kecepatan juga bervariasi terhadap jarak. Saat lapisan batas laminar mulai menebal, akan terjadi ketidakmampuan sehingga akan terbentuk lapisan turbulen. Peralihan dari lapisan batas laminar ke lapisan batas turbulen tergantung pada kekasaran permukaan dan tingkat turbulensi aliran bebas.

Aliran udara yang melewati selubung dengan adanya lapisan batas ini membuat aliran terfokus di tengah selubung, sehingga kecepatan meningkat di bagian centerline selubung.



Gambar 2.4 Lapisan batas di sepanjang plat rata

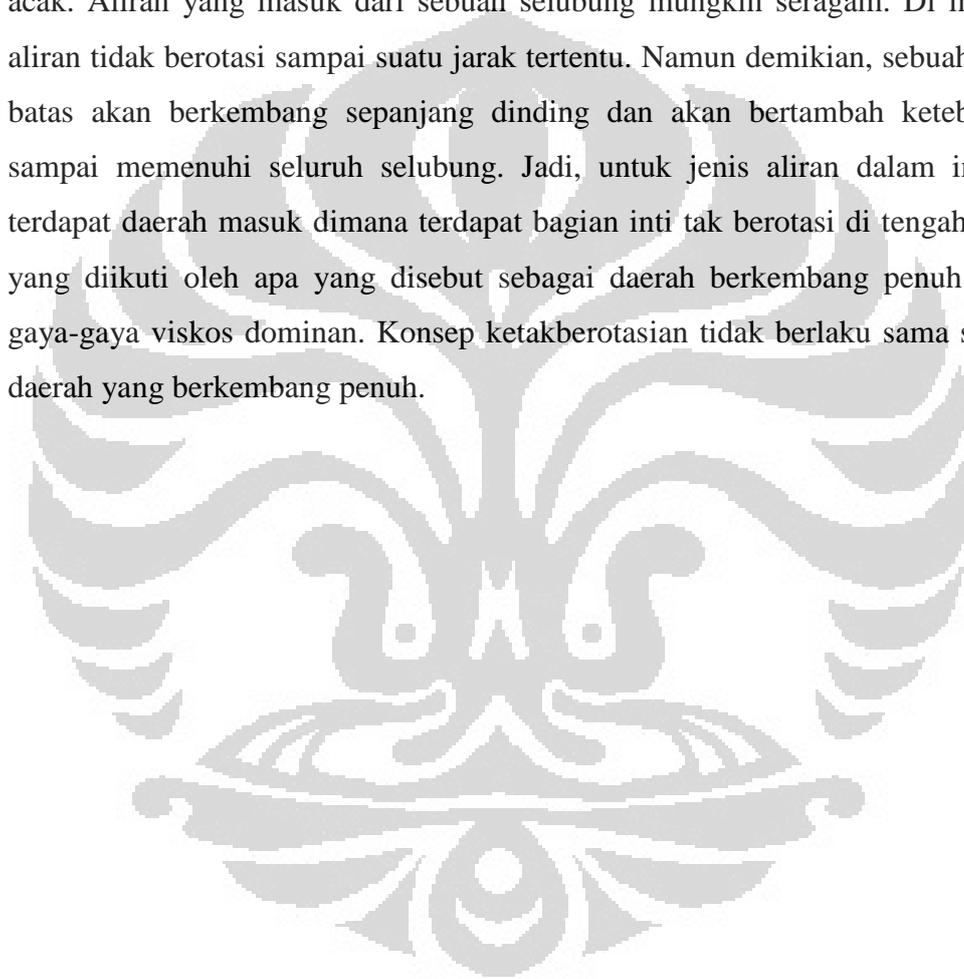
Aliran fluida tak mampu mampat dan bergesekan akan menimbulkan perubahan kecepatan pada penampang sistem aliran. Perubahan vektor kecepatan aliran ini dapat dinyatakan dalam suatu persamaan matematika yang dapat digambarkan dalam bentuk distribusi kecepatan.

Persamaan matematika untuk distribusi kecepatan diperoleh dengan menganalisa partikel aliran pada suatu kontrol volume diferensial. Dengan menerapkan persamaan hukum II Newton untuk menentukan total gaya pada semua bidang, dan menggabungkan dengan persamaan deformasi linier fluida akan diperoleh persamaan distribusi kecepatan.

Untuk sebuah fluida inviscid tidak terdapat tegangan geser-gaya yang bekerja pada fluida hanyalah beratnya dan gaya-gaya tekanan. Karena berat bekerja melalui pusat gravitasi elemen, dan tekanan bekerja dalam arah normal terhadap permukaan elemen, tidak satu pun dari gaya-gaya ini menyebabkan elemen berputar.

Oleh karena itu, untuk sebuah fluida inviscid, jika beberapa bagian dari medan aliran tak berotasi, maka elemen-elemen fluida yang berasal dari daerah ini tidak mengalami suatu rotasi apapun selagi elemen-elemen tersebut bergerak melalui medan aliran.

Konsekuensi lain dari lapisan batas adalah arus inti alirannya mungkin terpisah dari permukaan dan membentuk sebuah olakan di bagian hilir dari benda. Olakan tersebut mencakup sebuah daerah dengan fluida yang bergerak lambat dan acak. Aliran yang masuk dari sebuah selubung mungkin seragam. Di inti pusat aliran tidak berotasi sampai suatu jarak tertentu. Namun demikian, sebuah lapisan batas akan berkembang sepanjang dinding dan akan bertambah ketebalannya sampai memenuhi seluruh selubung. Jadi, untuk jenis aliran dalam ini, akan terdapat daerah masuk dimana terdapat bagian inti tak berotasi di tengah tengah, yang diikuti oleh apa yang disebut sebagai daerah berkembang penuh dimana gaya-gaya viskos dominan. Konsep ketakberotasian tidak berlaku sama sekali di daerah yang berkembang penuh.



BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah numerik dan eksperimental, yaitu dengan mencari referensi dari berbagai macam tipe selubung angin yang dimodelkan. Selanjutnya adalah menggunakan data sekunder kecepatan angin rata-rata di daerah perkotaan yang nantinya akan disimulasikan. Berdasarkan data yang diperoleh itu, selanjutnya dimodelkan dan disimulasikan bentuk selubung turbin angin yang cocok untuk daerah perkotaan dengan kecepatan angin yang relatif rendah.

Setelah membatasi dari berbagai tipe selubung angin, maka dibuatlah model selubung turbin angin dengan tipe diffuser dengan dan tanpa menggunakan flanged. Pemodelan pada perangkat lunak Solidworks 2011 dengan skala 1:2. Input yang digunakan pada simulasi adalah data kecepatan angin dan fluida yang digunakan berupa udara. Perangkat lunak yang digunakan untuk simulasi adalah flow simulation 2011. Tujuan dari simulasi ini adalah mendapatkan peningkatan nilai kecepatan pada model yang disimulasikan, kemudian hasilnya dibandingkan dengan nilai menurut perhitungan, maka didapatkan validasi dan verifikasi model selubung turbin yang mendekati referensi.

Selanjutnya hasil simulasi dan perhitungan akan divalidasi dengan hasil pengujian selubung turbin angin dengan menggunakan wind tunnel, dengan membuat model dengan skala perbandingan diameter komputasi dengan diameter model selubung tersebut disesuaikan dengan bilangan Reynold model tersebut. Tujuan dari pengujian ini adalah validasi dan melihat kecepatan dan tekanan pada bagian-bagian selubung turbin anign.

3.1.1 Peralatan dan Alat Ukur

Adapun alat ukur yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebuah wind tunnel yang ada di Laboratorium Mekanika fluida Departemen Teknik Mesin Universitas Indonesia. Wind tunnel yang digunakan merupakan produk dari Armfield dengan kode C2-00 , mempunyai panjang 260 cm dan diameter

mulut 55 cm serta motor DC dengan putaran 2800 rpm dan daya 1.5 kW untuk menggerakkan blower axial. Terowongan angin memiliki satu diffuser yang berfungsi untuk menyeragamkan arah aliran. Kecepatan aliran udara maksimum yang mampu dibangkitkan dalam seksi uji adalah 70 km/jam.

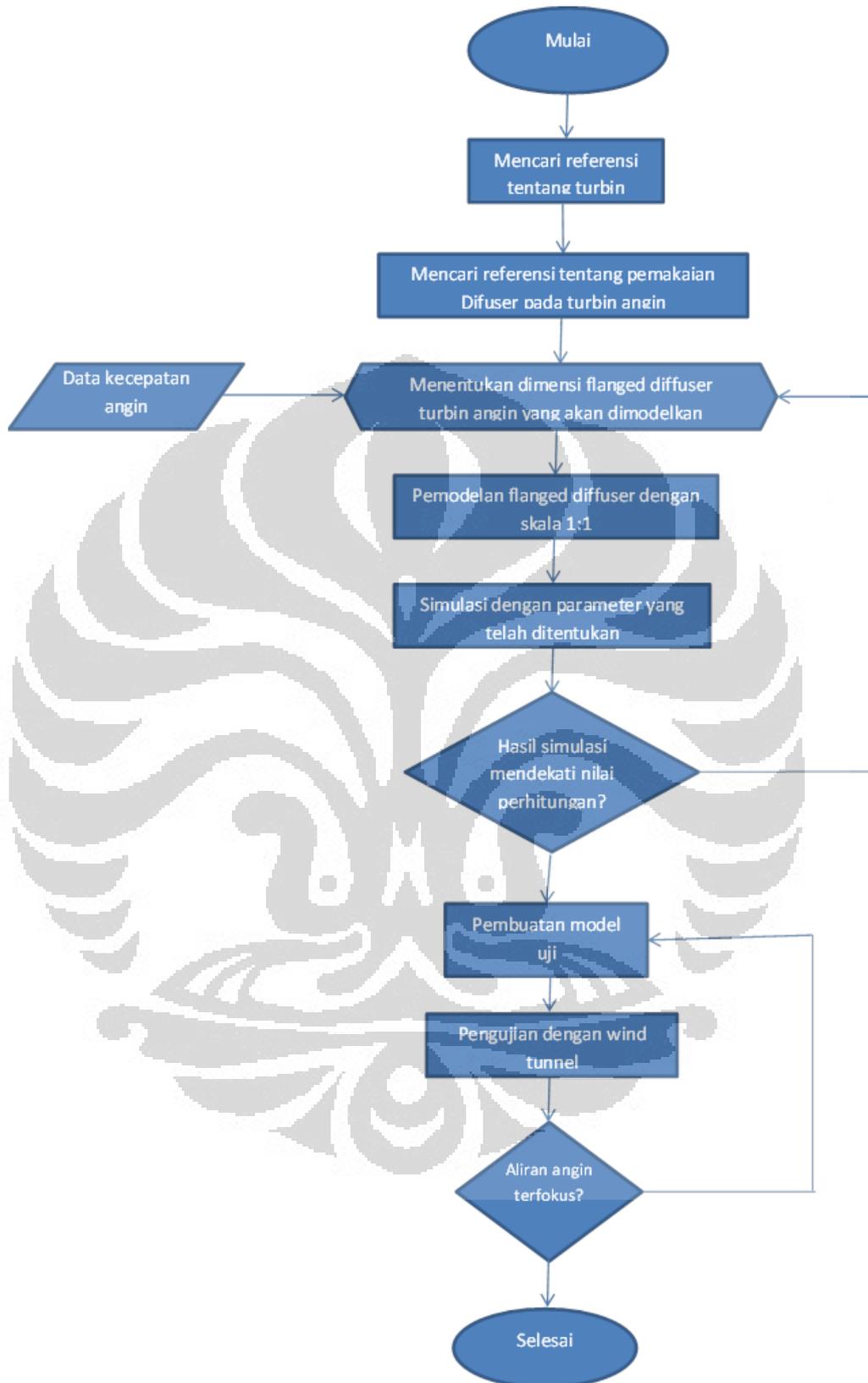
Peralatan lainnya adalah perangkat komputasi yang berisikan perangkat lunak Solidwork 2011 beserta flow simulation 2011 sebagai pemodelan dan simulasi menggunakan komputasi sebagai media dari perangkat lunak.

Perangkat lunak komputasi yang digunakan adalah ASUS K4I0N dengan spesifikasi sebagai berikut:

- Intel Pentium (R) Dual- Core T4200 2,0 GHz
- Memory 2048 RAM
- HDD 250 GB
- Windows 7 Ultimate 32-Bit
- Solidwork 2011 Profesional edition dan Flow Simulation 2011

3.1.2 Alur Kerangka Penelitian

Adapun alur kerangka penelitian ini adalah sebagai berikut:



Gambar 3.1 Flow Chart umum kerangka penelitian

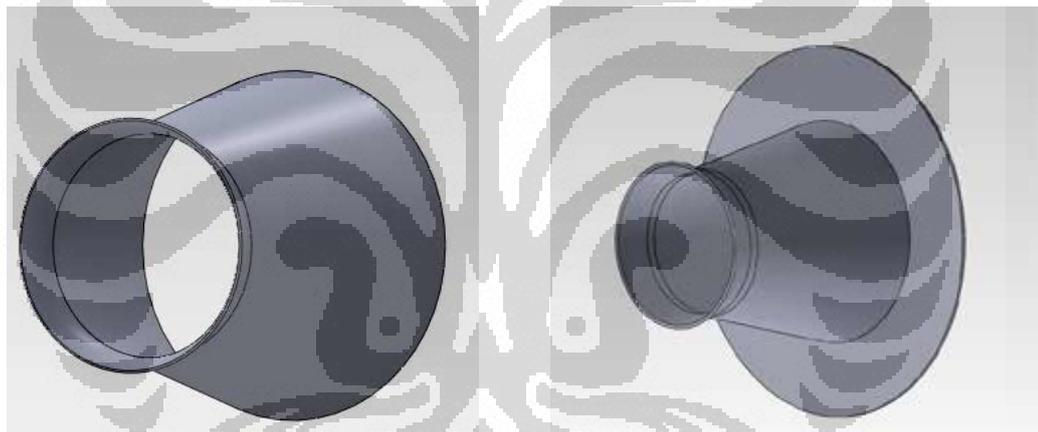
3.2 Pengambilan Data

3.2.1 Data Kecepatan Angin

Dalam penelitian ini, dibutuhkan kecepatan angin rata-rata di daerah perkotaan. Data angin ini berfungsi sebagai input dalam simulasi pemodelan. Proses pengambilan data pada penelitian ini berupa pengambilan data sekunder dari data kecepatan angin rata-rata di Indonesia yang sudah ada, yaitu sekitar $3\text{ m/s} - 5\text{ m/s}$.

3.2.2 Pemodelan Selubung Turbin Angin

Pada Langkah ini, dibuat beberapa model yang nantinya disimulasikan dan dilihat model mana yang memiliki nilai validasi dan verifikasi mendekati pada nilai perhitungan yang memiliki tingkat peningkatan kecepatan angin paling tinggi.



Gambar 3.2 Model selubung turbin angin

Pada gambar 3.2 dibuat model yang memiliki peningkatan kecepatan paling besar dibanding model-model lainnya. Model dipertimbangan dari segi geometri berupa panjang diffuser, diameter masukan diffuser, tinggi flanged dan sudut kemiringan dari diffuser.

3.3 Simulasi

Setelah membuat model sesuai dengan langkah diatas. Maka langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi pada model-model tersebut. Hal ini dilakukan untuk mencari nilai peningkatan kecepatan angin pada masing-masing

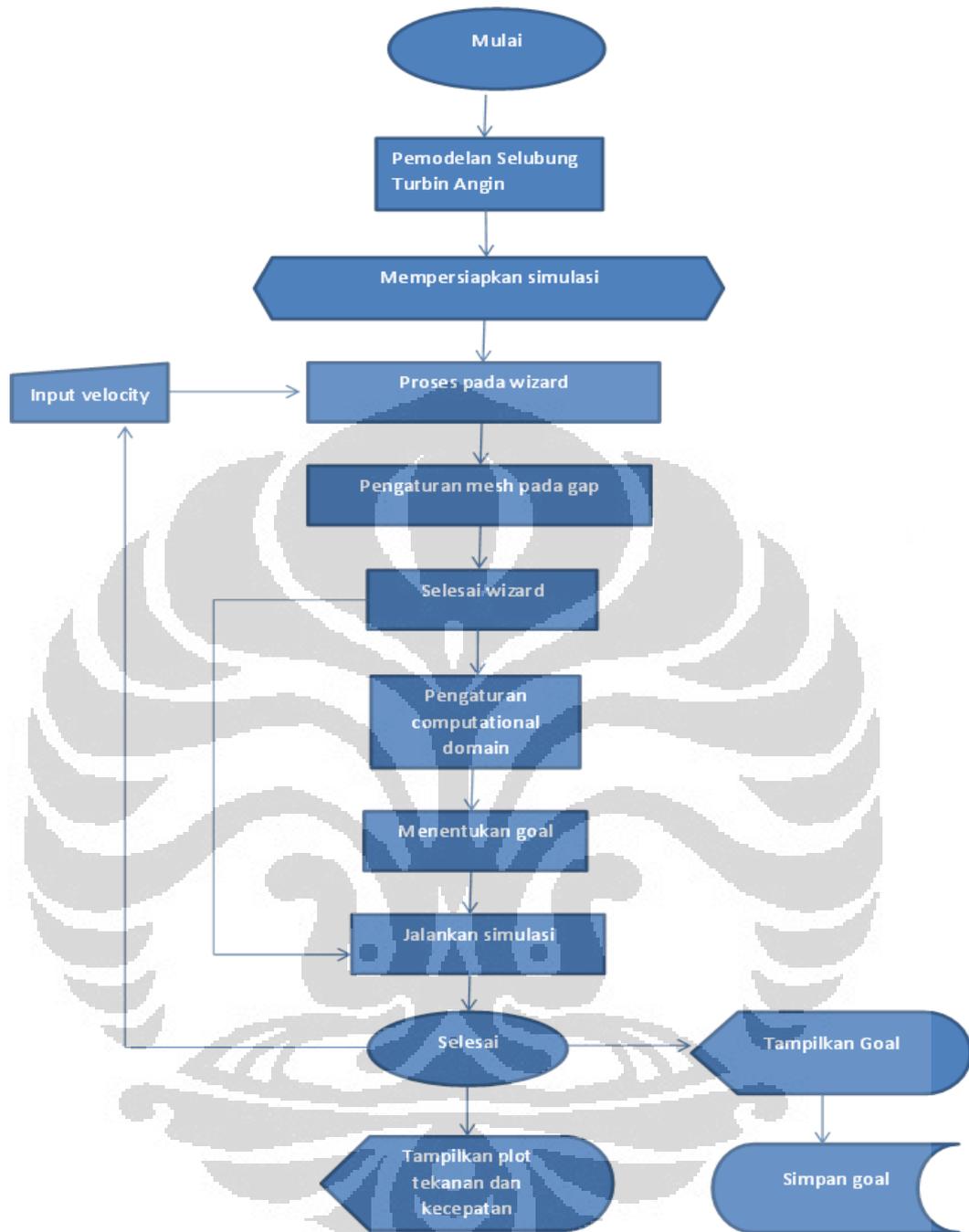
model. Pemodelan dilakukan dengan Solidworks 2011 dan disimulasikan dengan Flow Simulation 2011. Setelah geometri dari selubung dibuat, maka langkah selanjutnya adalah melakukan simulasi dengan memasukkan input-input variabel dan parameter-parameter yang menjadi batas pada simulasi. Hasil yang didapat berupa tampilan geometri yang memiliki plot, kontur, vektor, kisaran tekanan dan kecepatan angin dan lain sebagainya tergantung dengan apa yang akan dianalisa.

3.3.1 Simulasi pada Flow Simulation Solidworks

Pada langkah ini, variabel yang dimasukkan adalah data kecepatan angin pada free stream. Fluida yang digunakan adalah udara. Asumsi dalam simulasi ini adalah lingkungan dalam kondisi ideal.

Model selubung turbin angin yang disimulasikan sesuai dengan variabel data. Untuk mencari nilai peningkatan kecepatan yang paling tinggi di dalam selubung tersebut, maka diperlukan variasi data, yaitu panjang (L) dari selubung, diameter (D) dari selubung dan dari geometri flanged selubung.

Langkah-langkah simulasinya adalah sebagai berikut:



Gambar 3.3 Flowchart simulasi

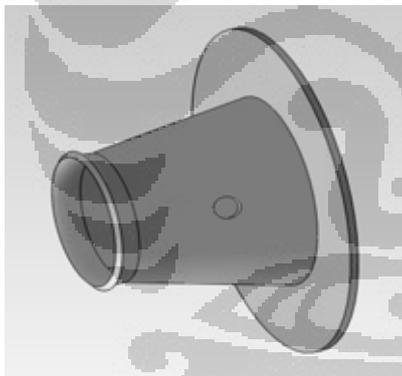
Yang dimasukkan dalam wizard adalah, jenis fluida yang digunakan, kecepatan angin free stream. Simulasi dilakukan pada beberapa model dengan geometri selubung yang berbeda-beda dan dengan kecepatan angin yang tetap. Setelah melakukan pada wizard, kemudian tentukan kondisi batas pada computational domain, dan menentukan goal nilai velocity pada sumbu X.

Setelah selesai, tampilkan penampakan tekanan dan kecepatan. Untuk memperlihatkan karakteristik fluida tersebut pada daerah hitungan (computational domain), serta tampilan goal untuk selanjutnya disimpan. Apabila telah disimpan, lanjut pada model selubung lainnya dengan geometri model yang berbeda dibanding model yang sebelumnya.

3.4 Eksperimental

Langkah penelitian selanjutnya adalah validasi hasil simulasi, yaitu dengan cara pembuatan model uji. Langkah-langkah pembuatan model uji diantaranya mempertimbangkan skala perbandingan antara geometri komputasi (model simulasi) dengan geometri model uji, yaitu dengan perbandingan bilangan Reynold-nya.

Model uji dibuat dari bahan akrilik dengan dimensi geometri disesuaikan dengan hasil simulasi. Material akrilik dipilih dengan pertimbangan material tersebut bening, sehingga laju aliran di dalam diffuser bisa terlihat.

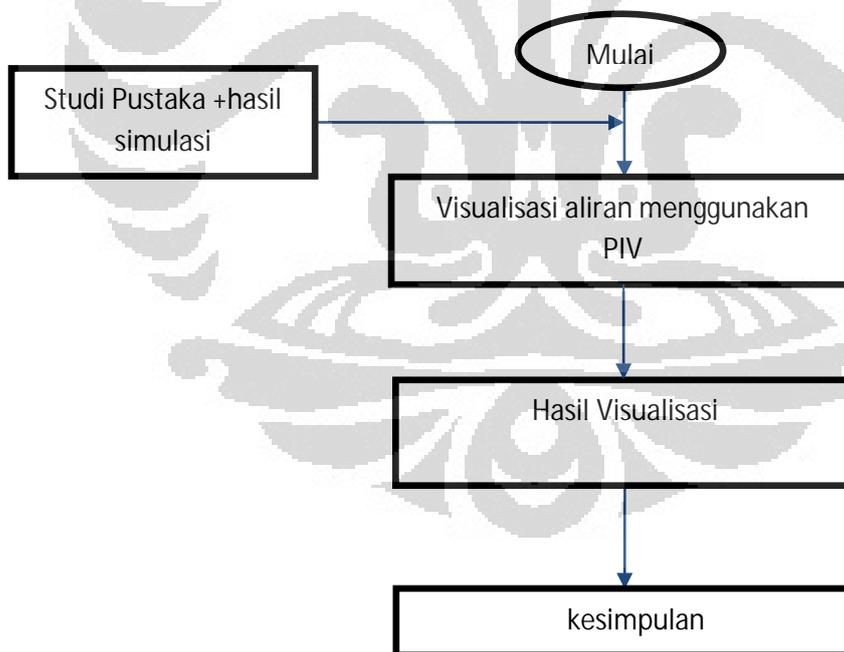


Gambar 3.4 Gambar model uji Diffuser Turbin Angin

Selanjutnya model uji tersebut di ujikan ke wind tunnel yang sudah diintegrasikan dengan PIV (Particle Image Velocimetry).

Gambar 3.5 Ilustrasi diffuser di dalam wind tunnel

Berikut adalah diagram alir eksperimen yang secara menyeluruh menggambarkan tahap-tahap penelitian yang telah dilakukan :



Gambar 3.6 Diagram alir percobaan

Hasil yang diperoleh melalui eksperimen adalah *velocity vector map*, *streamlines*, dan *vorticity contoure* yang nantinya akan dibandingkan antara model tanpa penambahan flanged dan dengan penambahan flanged. Nilai

parameter-parameter yang telah diperoleh kemudian disajikan dalam bentuk grafik, diagram, dan kontur penuh dalam bab berikutnya sehingga memudahkan dalam melihat pengaruh dari penambahan flanged.

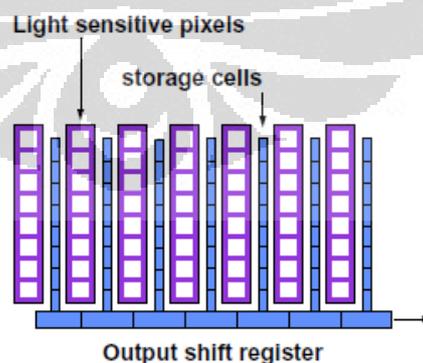
3.4.1 PIV sistem

3.4.1.1 Double-cavity Nd:YAG laser

Double-cavity Nd:YAG (*Neodymium-doped Yttrium aluminium garnet*) laser atau biasa disebut PIV laser adalah standard laser yang digunakan untuk sistem PIV modern terkini. Nd:YAG laser pada dasarnya menghasilkan sinar infra-red dengan panjang gelombang 1064nm yang tidak terlihat oleh mata telanjang dan tidak dapat digunakan untuk sistem PIV karena standard camera PIV sensitifitasnya tidak mendekati sinar infra-red. Dengan penambahan HG (Harmonic generator) dan HS (Harmonic separator) untuk mengubah sinar infra-red menjadi sinar hijau dengan panjang gelombang 532nm yang dapat terlihat mata telanjang, membuat Nd:YAG laser merupakan laser dengan fleksibilitas tinggi untuk digunakan dalam sistem PIV.

3.4.1.2 Kamera *Cross-Correlation*

Dalam *cross-correlation*, posisi awal (*initial position*) dari seeding particle direkam dalam frame kamera, yang kemudian dengan cepat dipindahkan ke storage frame. Lalu, setelah posisi awal dipindahkan ke storage frame, frame kamera telah *cleared* dan siap untuk merekam *final position*. dengan kata lain, informasi arah kecepatan tidak abigu jika menggunakan *cross-correlation*.



Gambar 3.7 *progressive-scan interline CCD chips*

Kamera *cross-correlation* memiliki *progressive-scan interline CCD chips*, yang memiliki jumlah *light-sensitive cell* dan *storage cell* yang sama. Kamera

CCD yang digunakan merupakan produk dari dantec, model FlowSense EO 2M dengan *resolusi spatial* 1600x1200 *pixel*, maksimum *frame rate* 35 *frame* per detik dan dilengkapi oleh lensa dengan *focal length* sebesar 50mm.

3.4.1.3 Personal Computer(PC)

PC yang digunakan merupakan produk dari DELL, seri *precision* T3500 dengan *processor* intel xeon, dan memory RAM sebesar 6GB. Dilengkapi dengan *software* pengolahan data PIV, *Dynamic Studio*, sebuah *PCI Synchroniser timerboard*, dan sebuah *PCI camera interface*.

3.4.2. Prosedur Pengujian (Eksperimental Set-up)

3.4.2.1 Persiapan Model Uji

Model uji selubung yang sebelumnya telah diberi warna hitam pekat setengahnya agar mengurangi pantulan cahaya yang dapat menyebabkan *noise* pada gambar hasil, dimasukkan ke dalam wind tunnel..

3.4.2.2 Kalibrasi

Kalibrasi gambar dilakukan sebelum pengambilan data gambar dengan PIV. Tujuan dari kalibrasi adalah untuk mendapatkan faktor skala perbandingan antara satuan milimeter pada model real terhadap satuan *pixel* gambar yang ditangkap oleh kamera. Kalibrasi dilakukan dengan mengambil gambar model dengan tambahan sebuah batang yang sebagian dilapisi warna yang kontras dengan warna batang (jika batang berwarna putih, maka dilapisi hitam), panjang dari warna kontras tersebut adalah input untuk *absolute distance* nantinya pada fitur kalibrasi di dalam software PIV. Sehingga, didapatkan *scale factor* milimeter terhadap *pixel*.

3.4.2.3 Pengambilan Gambar

Sebelum dilakukan pengambilan gambar, perlu dilakukan pengaturan fokus lensa kamera dan besar energi laser. Pengaturan lensa kamera dapat dilakukan secara manual dengan memutar lensa kamera sambil melihat hasil gambar pada monitor PC, begitu juga pengaturan power laser dilakukan dengan memutar panel energy pada control panel. Pengaturan energi disesuaikan dengan hasil pantulan cahaya laser oleh seeding particle, tambahkan energi hingga dirasa *seeding partikel* cukup terlihat.

Dilakukan pengambilan dua ratus gambar pada dua model uji yang berbeda dengan kecepatan angin di wind tunnel sebesar 60 Km/jam.

3.4.2.4 Pengolahan Data

Perhitungan vektor kecepatan dilakukan dengan menggunakan teknik *adaptive correlation*. *Adaptive correlation* adalah teknik dalam mengkalkulasi vektor kecepatan dengan *initial interrogation area* (IA) sebesar N kali *final interrogation area* dan menggunakan hasil sementara sebagai informasi untuk *Interrogation area* selanjutnya yang memiliki luas lebih kecil, begitu berulang sampai dengan final interrogation area.

Dalam perhitungan vektor kecepatan menggunakan teknik *adaptive* terkadang didapatkan vektor-vektor yang tidak sesuai, hal ini biasanya disebabkan oleh berbagai faktor, seperti: besar *seeding particle*, distribusi partikel yang tidak merata, *interrogation window area*, noise optik dan sebagainya. Untuk mendapatkan hasil yang baik, dalam penelitian ini ditetapkan dimensi *initial interrogation area* sebesar 256 x 256, dan *final interrogation area* sebesar 64 x 64 *pixel* dengan 50% *overlap* yang akan menghasilkan 1392 vektor kecepatan tersebar di seluruh area pandang.

BAB 4

HASIL DAN ANALISA

4.1 Hasil Simulasi

4.1.1 Selubung tanpa Flanged

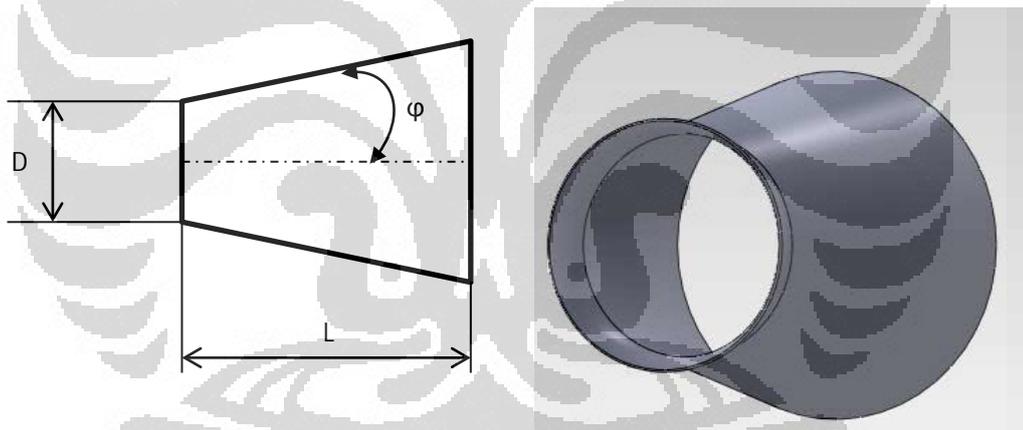
Untuk mendapatkan data diffuser yang dimodelkan dalam CFD, maka harus diketahui diameter diffuser (D) dan panjang diffuser (L) terlebih dahulu. Berikut geometri dari diffuser tanpa flanged[34].

$$L = 625 \text{ mm}$$

$$D = 500 \text{ mm}$$

$$V = 3 \text{ m/s}$$

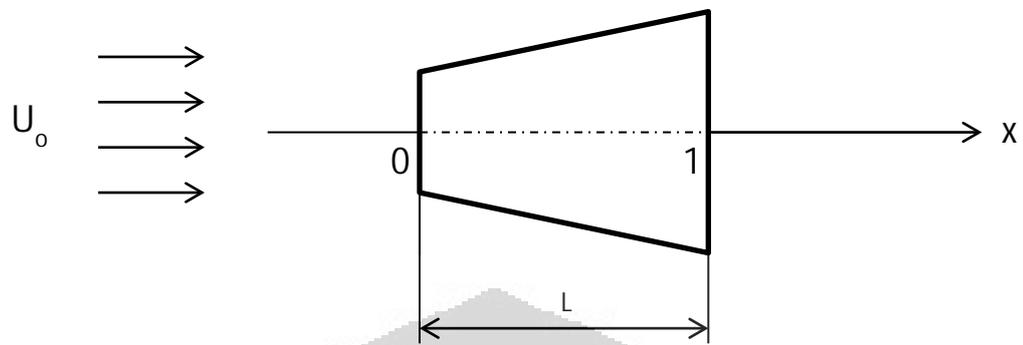
$$\phi = 12^\circ$$



Gambar 4.1. Selubung tanpa penambahan flanged

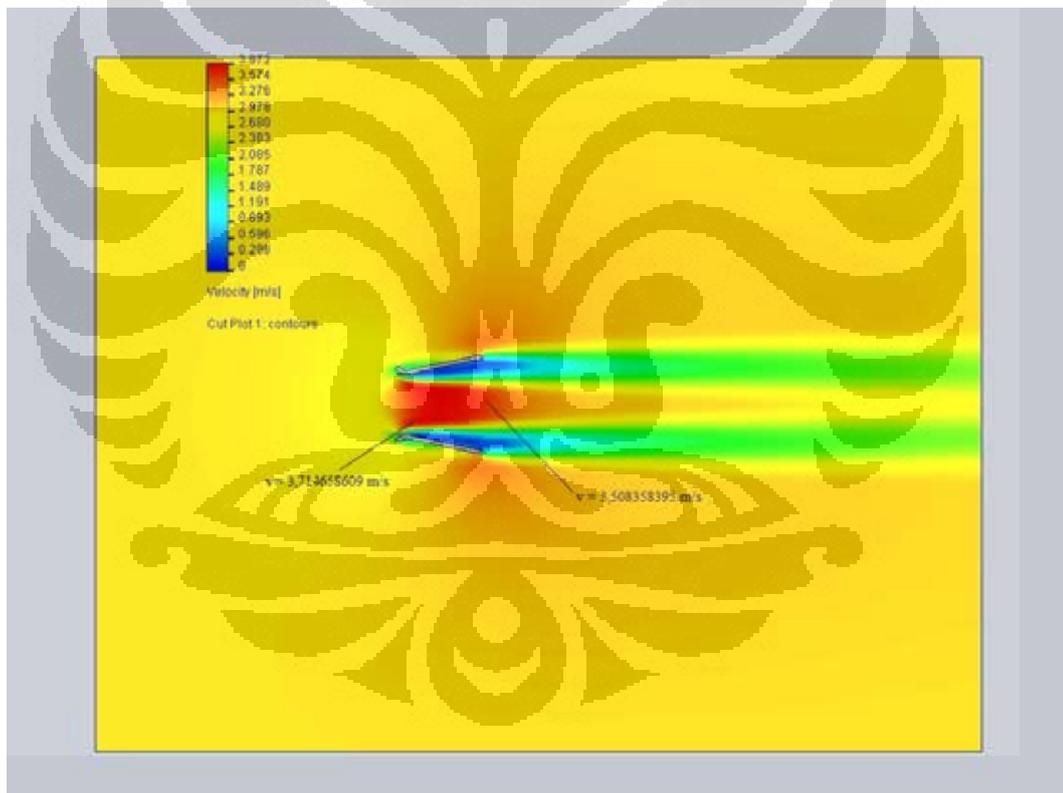
Dalam pengolahan data hasil simulasi, terdapat beberapa parameter yang perlu diperhatikan :

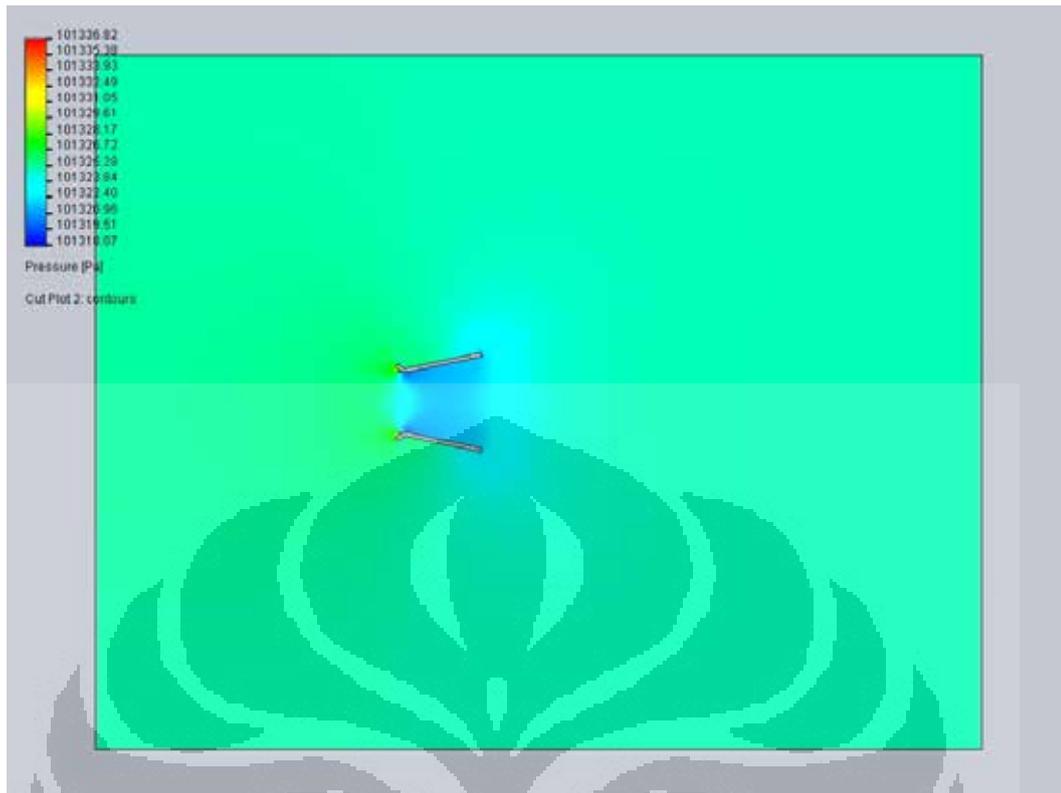
- X = posisi tertentu di sepanjang centerline (0 pada sisi masuk selubung dan 1 pada sisi keluar selubung)
- L = panjang diffuser
- U/U_o = rasio kecepatan pada titik tertentu dengan kecepatan free stream



Gambar 4.2. Konsep dan geometri selubung tanpa flanged

Hasil Simulasi





Gambar 4.3 cut plot distribusi kecepatan dan tekanan pada centerline

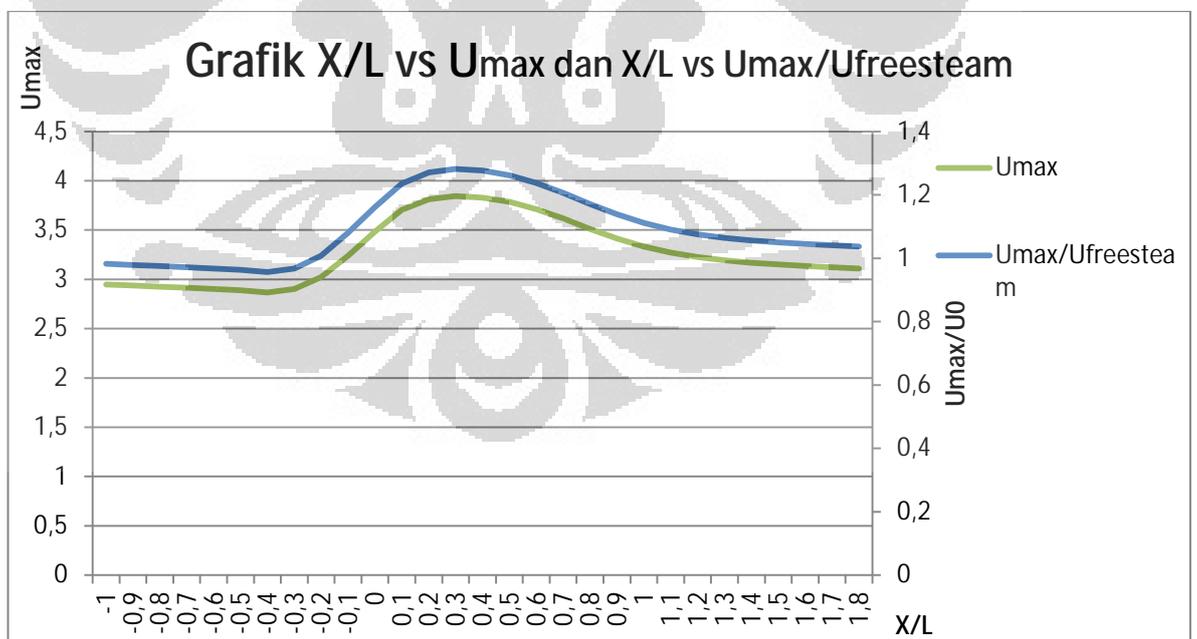
Dari hasil simulasi yang didapatkan, maka dibuat plot grafik kecepatan di titik tertentu di sepanjang centerline diffuser. Data-data yang diolah berupa parameter-parameter X/L , U_{max}/U , dan kecepatan. Dimana X/L merupakan rasio posisi titik tertentu dengan panjang diffuser (0 terletak di sisi masuk selubung dan 1 terletak di sisi keluar diffuser) dan U_{max}/U adalah rasio kecepatan di titik tertentu dengan kecepatan free stream.

Tabel 4.1 Distribusi kecepatan di sepanjang centerline selubung

X/L		U_{max}		$U_{max}/U_{freestream}$
-1	0	2,94703131	-1	0,982343771
-0,9	0,1	2,93672723	-0,9	0,978909076
-0,8	0,2	2,92642314	-0,8	0,97547438
-0,7	0,3	2,9147637	-0,7	0,971587901
-0,6	0,4	2,90251289	-0,6	0,967504296
-0,5	0,5	2,88921965	-0,5	0,963073218
-0,4	0,6	2,86818828	-0,4	0,95606276
-0,3	0,7	2,90237565	-0,3	0,967458548
-0,2	0,8	3,02226455	-0,2	1,007421516
-0,1	0,9	3,23970297	-0,1	1,079900991

0	1	3,48557281	0	1,161857604
0,1	1,1	3,70666846	0,1	1,235556153
0,2	1,2	3,813226	0,2	1,271075332
0,3	1,3	3,84446951	0,3	1,281489837
0,4	1,4	3,82870259	0,4	1,276234195
0,5	1,5	3,78514078	0,5	1,261713593
0,6	1,6	3,71285694	0,6	1,237618981
0,7	1,7	3,61722956	0,7	1,205743188
0,8	1,8	3,51236271	0,8	1,170787569
0,9	1,9	3,41475362	0,9	1,138251205
1	2	3,33377631	1	1,111258771
1,1	2,1	3,27217693	1,1	1,090725642
1,2	2,2	3,22630777	1,2	1,075435925
1,3	2,3	3,19297317	1,3	1,064324391
1,4	2,4	3,16889756	1,4	1,056299186
1,5	2,5	3,15050868	1,5	1,05016956
1,6	2,6	3,13612506	1,6	1,04537502
1,7	2,7	3,1225779	1,7	1,0408593
1,8	2,8	3,11069339	1,8	1,036897796

Dari tabel diatas dapat di peroleh sebuah grafik



Gambar 4.4 Grafik Distribusi kecepatan pada centerline

Dari grafik yang dihasilkan, maka dapat dilihat bahwa kecepatan di sisi masuk selubung meningkat secara drastis, yaitu pada rasio X/L -0,2 sampai 0,0. Kecepatan tertinggi berada pada X/L 0,3 dengan nilai kecepatan 3,84446951 m/s. Kecepatan yang dihasilkan mencapai 1,3 kali kecepatan free stream. Peningkatan kecepatan ini akan berpengaruh secara signifikan terhadap daya keluaran turbin angin yang dihasilkan, karena daya keluaran turbin angin nilainya berbanding lurus dengan nilai pangkat tiga kecepatan angin yang melalui rotor.

4.1.2 Selubung dengan penambahan Flanged

Untuk mendapatkan data selubung yang dimodelkan dalam CFD, maka harus diketahui diameter selubung (D) dan panjang selubung (L) terlebih dahulu. Berikut geometri dari diffuser tanpa flanged[34].

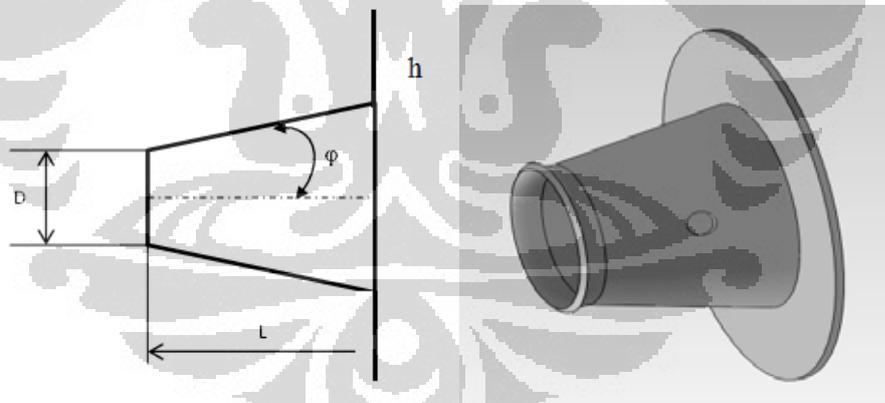
$$L = 625 \text{ mm}$$

$$D = 500 \text{ mm}$$

$$V = 3 \text{ m/s}$$

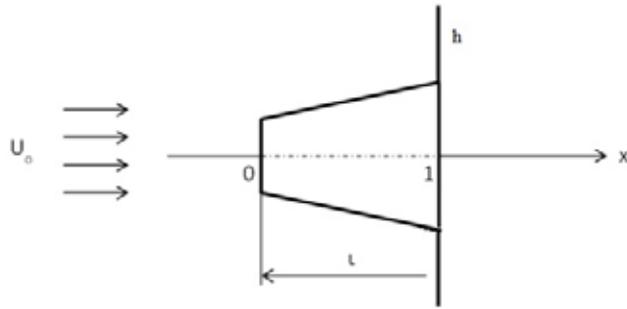
$$\phi = 12^\circ$$

$$h = 312,5 \text{ mm}$$



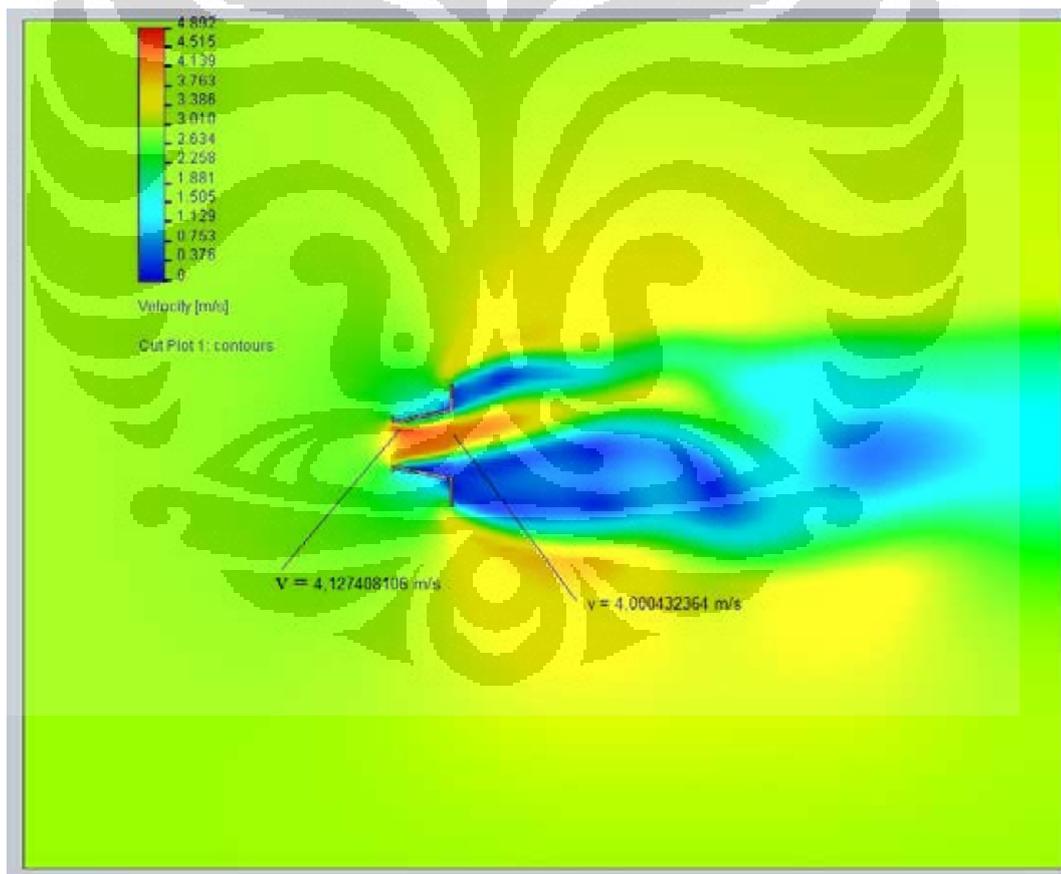
Gambar 4.5. Selubung dengan penambahan flanged

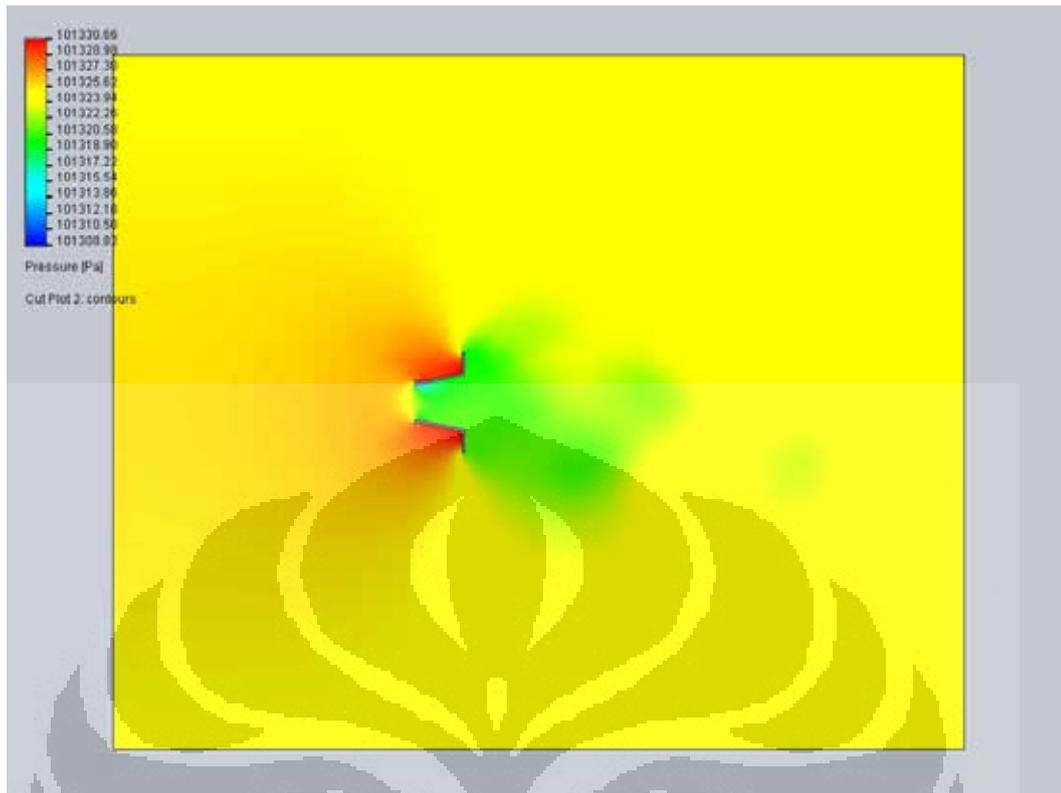
Nilai h diberikan sebesar 312,5 karena sesuai dengan percobaan yang dilakukan Yuhji Ohya, nilai rasio h/D yang mampu meningkatkan kecepatan paling tinggi ada pada rasio 0,625.



Gambar 4.6. Konsep dan geometri selubung dengan penambahan flanged

Hasil Simulasi





Gambar 4.7 cut plot distribusi kecepatan dan tekanan pada centerline

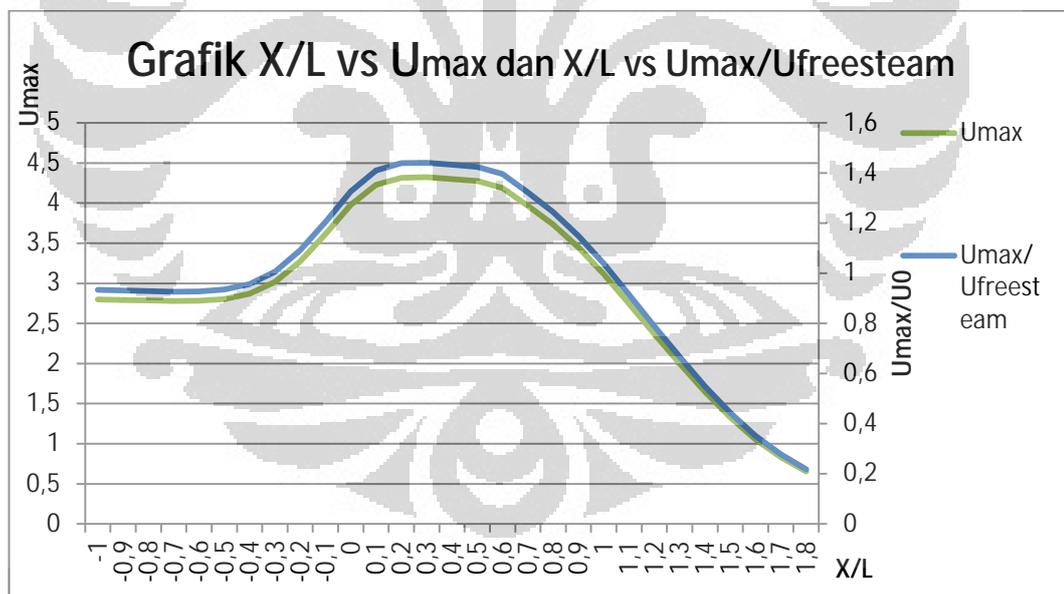
Dari hasil simulasi yang didapatkan, maka dibuat plot grafik kecepatan di titik tertentu di sepanjang centerline diffuser. Data-data yang diolah berupa parameter-parameter X/L , U_{max}/U , dan kecepatan. Dimana X/L merupakan rasio posisi titik tertentu dengan panjang diffuser (0 terletak di sisi masuk selubung dan 1 terletak di sisi keluar diffuser) dan U_{max}/U adalah rasio kecepatan di titik tertentu dengan kecepatan free stream.

Tabel 4.2 Distribusi kecepatan di sepanjang centerline selubung

X/L		U_{max}		$U_{max}/U_{freestream}$
-1	0	2,80004876	-1	0,933349587
-0,9	0,1	2,79310414	-0,9	0,931034714
-0,8	0,2	2,78615952	-0,8	0,92871984
-0,7	0,3	2,7792149	-0,7	0,926404966
-0,6	0,4	2,7817051	-0,6	0,927235033
-0,5	0,5	2,8049246	-0,5	0,934974867
-0,4	0,6	2,87103325	-0,4	0,957011082
-0,3	0,7	3,01896798	-0,3	1,00632266
-0,2	0,8	3,27461365	-0,2	1,091537883
-0,1	0,9	3,61604998	-0,1	1,205349993
0	1	3,97881103	0	1,326270345

0,1	1,1	4,22875177	0,1	1,409583923
0,2	1,2	4,31704114	0,2	1,439013713
0,3	1,3	4,32231659	0,3	1,440772198
0,4	1,4	4,29823913	0,4	1,432746375
0,5	1,5	4,27416166	0,5	1,424720552
0,6	1,6	4,18907415	0,6	1,39635805
0,7	1,7	3,96568276	0,7	1,321894252
0,8	1,8	3,73409849	0,8	1,244699496
0,9	1,9	3,44883328	0,9	1,149611095
1	2	3,1142669	1	1,038088968
1,1	2,1	2,74551821	1,1	0,915172738
1,2	2,2	2,36794636	1,2	0,789315455
1,3	2,3	1,99840446	1,3	0,666134819
1,4	2,4	1,6485907	1,4	0,549530233
1,5	2,5	1,33115391	1,5	0,443717971
1,6	2,6	1,05763482	1,6	0,35254494
1,7	2,7	0,8338086	1,7	0,2779362
1,8	2,8	0,65475947	1,8	0,218253156

Dari tabel diatas dapat di peroleh sebuah grafik



Gambar 4.8 Grafik Distribusi kecepatan pada centerline

Dari grafik yang dihasilkan, maka dapat dilihat bahwa kecepatan di sisi masuk selubung meningkat secara drastis, yaitu pada rasio X/L -0,2 sampai 0,0. Kecepatan tertinggi berada pada X/L 0,3 dengan nilai kecepatan 4,32231659 m/s. Kecepatan yang dihasilkan mencapai 1,44 kali kecepatan free stream. Peningkatan

kecepatan ini akan berpengaruh secara signifikan terhadap daya keluaran turbin angin yang dihasilkan, karena daya keluaran turbin angin nilainya berbanding lurus dengan nilai pangkat tiga kecepatan angin yang melalui rotor.

4.2 Ekperimental

Model yang disimulasikan kemudian dibuat model uji dengan perbandingan bilangan Reynolds-nya.

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu} \quad (4.1)$$

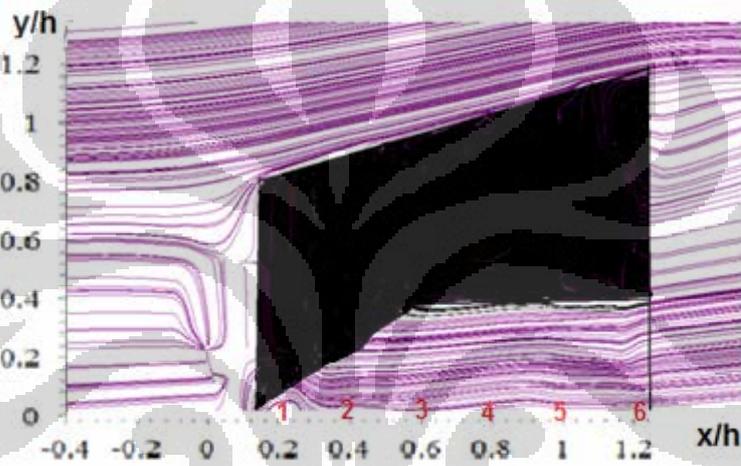
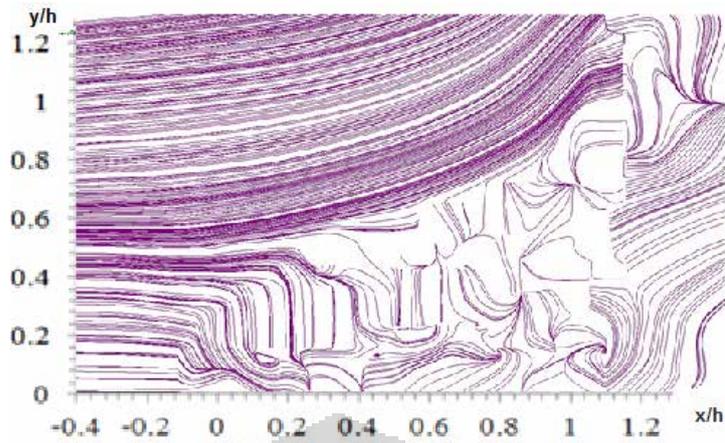
$$\frac{Re \text{ (komputasi)}}{Re \text{ (model uji)}} = \frac{v_k \cdot D_k}{v_m \cdot D_m} \quad (4.2)$$

Sehingga didapat dimensi model uji sebagai berikut:

Tabel 4.3 Perbandingan model komputasi dan model uji

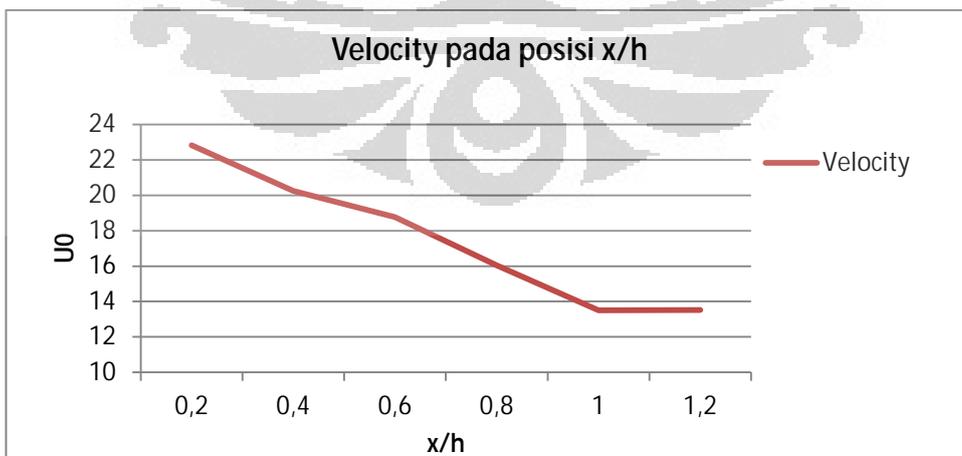
	Model Komputasi		Model Uji	
	Tanpa Flanged	Dengan Flanged	Tanpa Flanged	Dengan Flanged
Velocity	3 m/s		16 m/s	
Diameter	500 mm		45 mm	
Panjang	625 mm		56,25 mm	
Kemiringan	12		12	
Tinggi flanged	-	312,5 mm	-	28.125 mm

Teknik PIV dilakukan pada pendekatan eksperimental dinamika zona aliran resirkulasi. Jumlah data (*image*) yang diambil adalah sebanyak 200 buah untuk setiap model uji (tanpa dan dengan flanged). Hasil pengolahan *image streamline* yang diperoleh ditampilkan dalaam bentuk rata-rata.



Gambar 4.9 *Streamline* rata-rata selubung pada bidang simetrik vertikal $z = 0$

Nilai kecepatan pada posisi x/h pada selubung tanpa flanged



Gambar 4.10 Grafik kecepatan pada posisi x/h

Dari grafik di atas terlihat kecepatan tertinggi tepat berada dimasukakan selubung (inlet), disitulah tempat meletakkan rotor turbin angin. Kecepatan terukur sebesar 22,8379 m/s, ini berarti dalam percobaan kenaikan sebesar 1,37 kali dari kecepatan freesteam.

4.3 Perhitungan Daya

Untuk mendapatkan besarnya daya yang dihasilkan oleh turbin angin dengan selubung pada daerah pemukiman digunakan data sekunder yaitu spesifikasi turbin angin. Spesifikasi turbin angin yang digunakan yaitu Turbin angin LAGG 1 kW. Berikut adalah spesifikasi dari turbin angin LAGG 1 kW:

- * Rated power : 1 kW
- * Swept Area : 7,07 m²
- * Cut in speed : 2,5 m/s
- * Rated wind speed : 8,35 m/s
- * Rotor diameter : 3 m
- * Cp : 0,4

Berdasarkan spesifikasi tersebut bahwa dengan kecepatan angin 8,35 m/s dapat menghasilkan daya sebesar 1 kW dengan diameter rotor 3 m.

Dikarenakan diameter rotor pada turbin angin LAGG 1 kW sebesar 3 m, sedangkan diameter diffuser yang akan digunakan yaitu 0,8 m maka diasumsikan turbin angin tersebut dibuat pada skala yang lebih kecil dengan diameter rotor yaitu 0,78 m. Sehingga spesifikasinya menjadi:

- * Rotor diameter : 0,78 m
- * Cp : 0,4
- * Swept area : 0,48 m²

Dengan rated wind speed sebesar 8,35 m/s, turbin angin yang telah diperkecil tersebut mampu menghasilkan daya sebesar:

$$P = \frac{1}{2} C_p \cdot \rho \cdot A \cdot U^3$$

$$P = \frac{1}{2} 0,4 \cdot \rho \cdot 0,48 \cdot (8,35)^3 = 70 \text{ W}$$

Jika turbin angin tersebut ditambahkan diffuser, maka daya yang dihasilkan yaitu:

$$U \text{ free stream} : 8,35 \text{ m/s}$$

$$U \text{ di inlet diffuser} : 14,55 \text{ m/s}$$

$$P = \frac{1}{2} C_p \cdot \rho \cdot A \cdot U^3$$

$$P = \frac{1}{2} 0,4 \cdot \rho \cdot 0,48 \cdot (14,55)^3 = 371 \text{ W}$$

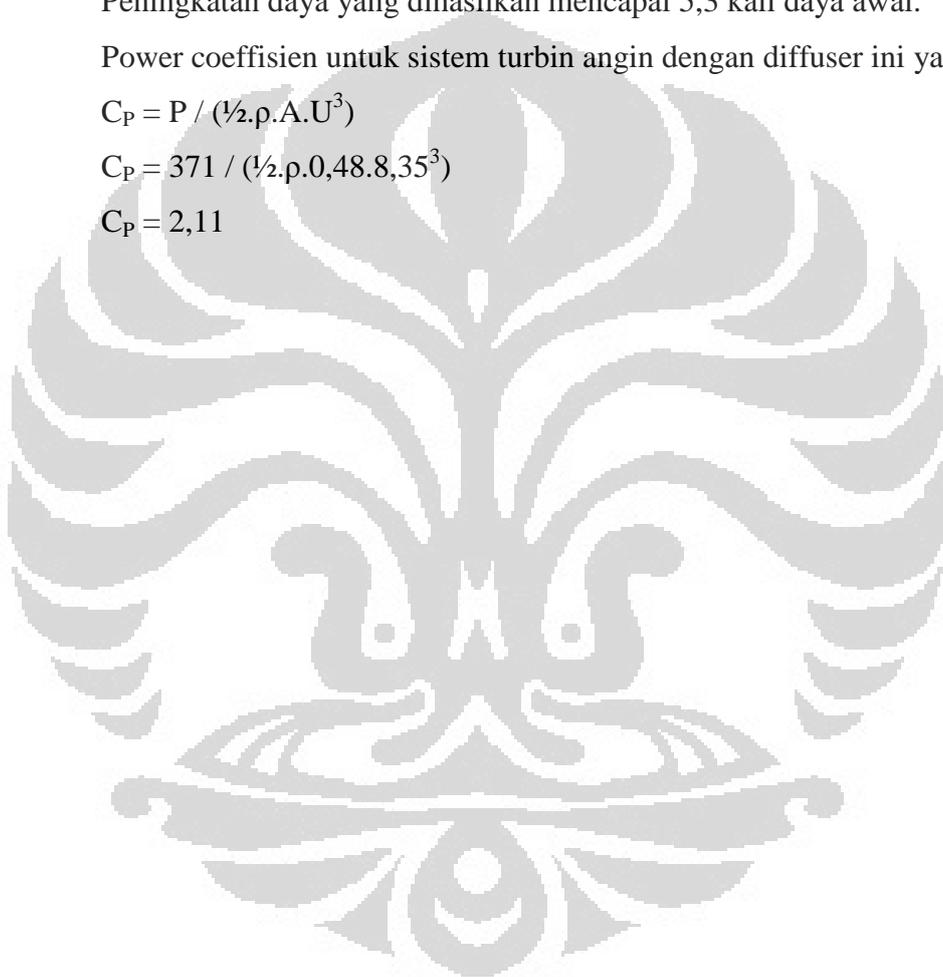
Peningkatan daya yang dihasilkan mencapai 5,3 kali daya awal.

Power coefficient untuk sistem turbin angin dengan diffuser ini yaitu

$$C_p = P / (\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot U^3)$$

$$C_p = 371 / (\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot 0,48 \cdot 8,35^3)$$

$$C_p = 2,11$$



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari hasil simulasi dan validasi pengujian dengan model uji yang diujikan pada PIV (Particle Image Velocimetry) didapat beberapa kesimpulan, yaitu:

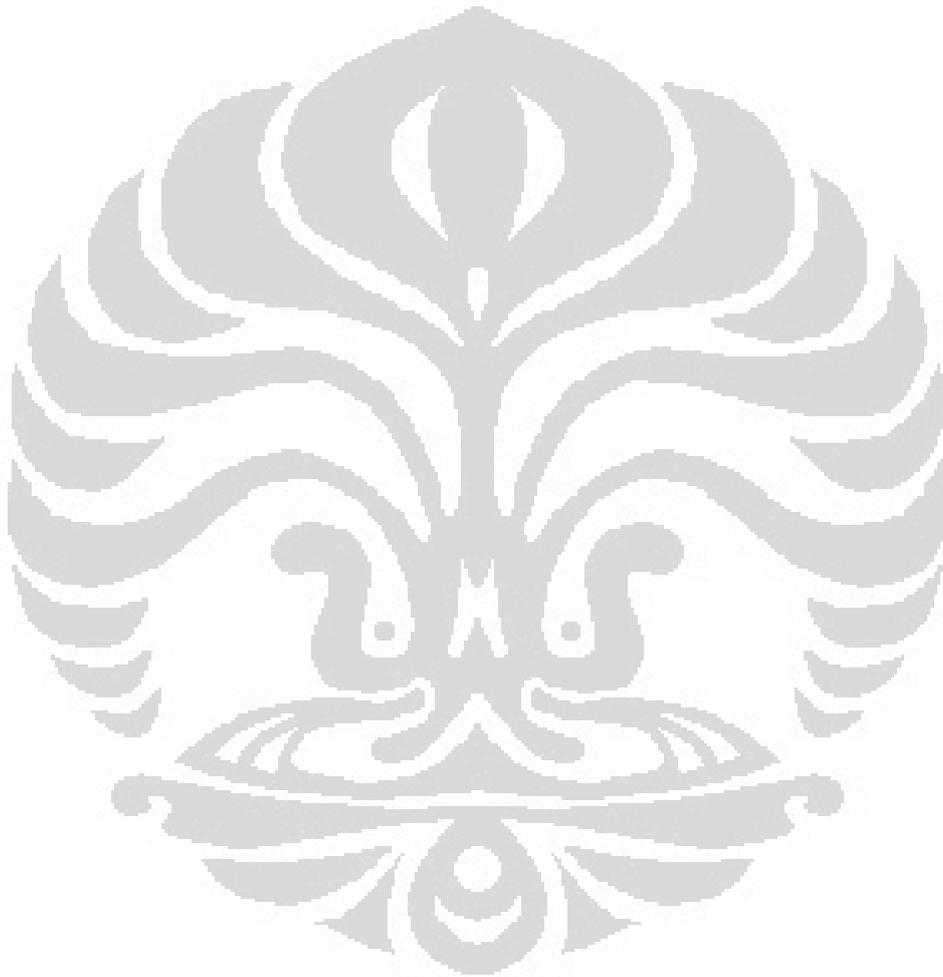
- a. Penggunaan diffuser pada turbin angin dapat meningkatkan kenaikan kecepatan dan daya keluaran turbin angin.
- b. Peningkatan kecepatan itu dipengaruhi oleh beberapa variable berupa diameter diffuser, panjang diffuser, sudut kemiringan diffuser dan berupa panjang flaged.
- c. Dari hasil simulasi dan uji eksperimen didapat geometri diffuser yang mampu meningkatkan kecepatan terbesar adalah pada model dengan adanya penambahan flanged.
- d. Model dengan penambahan flanged mampu menaikkan kecepatan sebesar 1,4 kali dari kecepatan freesteam (pada model simulasi).
- e. Model tanpa penambahan flanged mampu menaikkan kecepatan sebesar 1,3 kali dari kecepatan freesteam (pada model uji percobaan).

5.2 Saran

Ada beberapa saran yang dapat diberikan, baik itu untuk peneliti maupun untuk penelitian selanjutnya. Sehingga diharapkan penelitian selanjutnya mendapat hasil yang lebih baik dibanding penelitian ini. Saran itu yaitu:

- a. Pada penelitian ini, tidak memperhatikan pengaruh turbin angin terhadap diffuser (asumsi tidak ada turbin angin), sehingga diharapkan penelitian selanjutnya bisa memperkiraan efek yang ditimbulkan dengan adanya turbin angin itu seperti apa, baik itu dari segi velocity maupun dari segi turbulensi angin itu sendiri.

- b. Penggunaan PIV atau Particle Image Velocity masih terbatas. Kemampuan user dalam menggunakannya masih terbatas. Sehingga diharapkan peneliti selanjutnya bisa dan ahli dalam menggunakan PIV .
- c. Penelitian ini lebih difokuskan pada Diffuser penggunaan di Horizontal axis Wind turbine, kedepannya bisa dilakukan penelitian pada tipe Vertical axis Wind turbine.

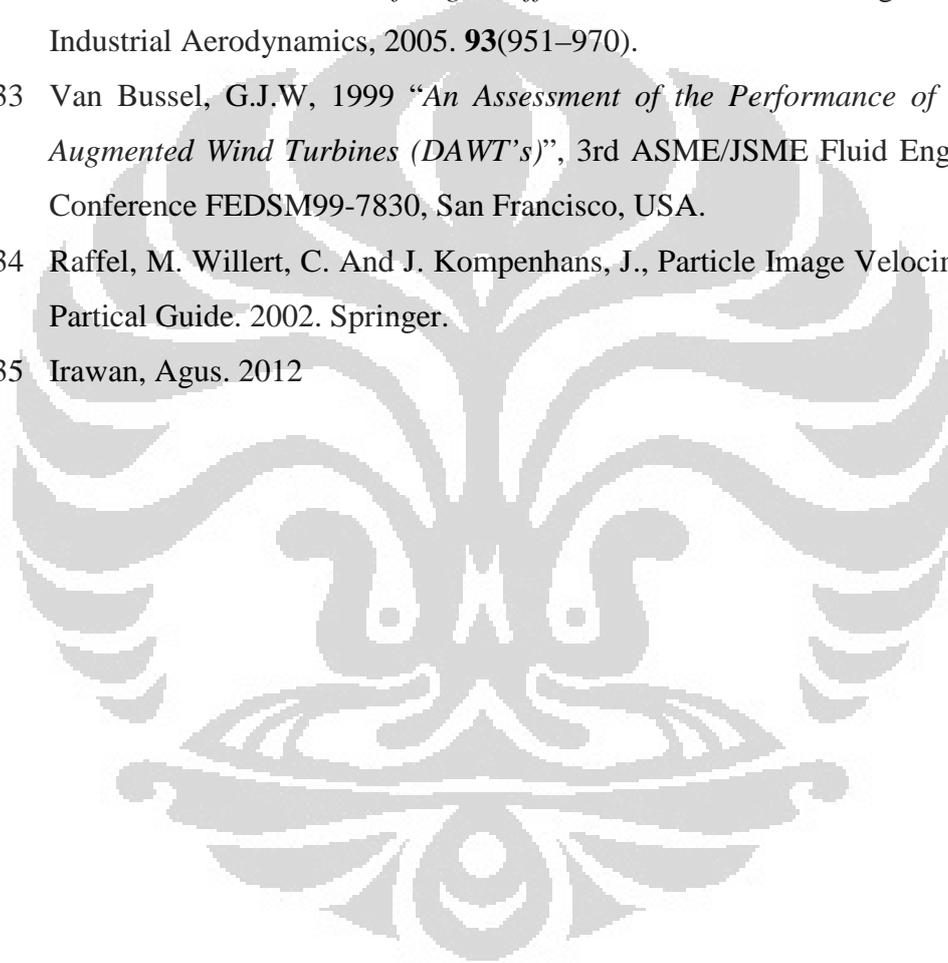


DAFTAR PUSTAKA

1. Y. Daryanto (2007), *Kajian Potensi angin Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*, BALAI PPTAGG – UPT-LAGG, Yogyakarta.
2. Jarass (1980), *Strom aus Wind - Integration einer regenerativen EnergieQuelle*, Springer-Verlag, Berlin.
3. BTM Consults ApS (2005), *International Wind Energy Development World Market Update 2004 Forecast 2005-2009*, Press Release March 31, 2005.
4. Kusdiana .2008. *Kondisi Riil Kebutuhan Energi di Indonesia dan Sumber Energi Alternatif Terbarukan*. Dirjen Listrik dan Pemanfaatan Energi DESDM, Bogor.
5. <http://konversi.wordpress.com/2008/11/06/permasalahan-yang-sering-terjadi-pada-sistem-wind-turbine-di-indonesia/> (di akses pada 20 April 2012, Pukul 20.00 WIB)
6. Internasional Energy Agency - IEA (2008), *World Energy Outlook 2008*
7. Wahyu, D., Purwanto, 2011. *Analisa Variasi Geometri Terhadap Kinerja Diffuser pada Diffuser Augmented Wind Turbine*. ITS, Surabaya
8. Ohya, Yuji Dkk (2008), *Development of a shrouded wind turbine with a flanged diffuser*, Kyushu University, Japan.
9. Wyrki, K., 1987: *Indonesian through flow and the associated pressure gradient*. *J. Geophys. Res.-Oceans*, 92 (C12), 12941-12946.
10. Diunduh pada tanggal 22 April 2012 (pkl. 20.00 WIB)
11. Diunduh pada tanggal 22 April 2012 (pkl. 20.20 WIB)
12. Diunduh pada tanggal 19 April 2012 (pkl 07.00 WIB)
13. De Renzo, D.J (1979)
14. Diunduh pada tanggal 19 April 2012 (pkl 07.10 WIB)
15. Burton, Tony at el. 2001. *Wind Energy Handbook*. John Wiley Sons, Ltd, Publications. New York.
16. JF. Manwell. *Wind Energy Explained – Theory, Design, and Application*. A John Wiley Sons, Ltd, Publications

17. Abe, K., Nishidab, M., Sakuraia, A., Ohyac, Y., Kiharaa, H., Wadad, E. and Satod, K., *Experimental and numerical investigations of flow fields behind a small wind turbine with a flanged diffuser*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2005. **93**(951–970).
18. Ayhan, Dursun; Saglam, Safak. 2012. *A technical review of building-mounted wind power systems and a sample simulation model*. Marmara University. Istanbul Turkey.
19. <http://pendercommunitytransition.ca/wp-content/uploads/Briefing-Wind Energy.pdf> diunduh tanggal 17-04-2012
20. Diunduh pada tanggal 12 Juni 2012 pukul 12.00 WIB
21. Kirke, B., *Developments in ducted water current turbines*. U. of South Australia, 2005.
22. Lilley, G.M.; Rainbird, W.J. *A Preliminary Report on the Design and Performance of Ducted Windmills*; Report No. 102; College of Aeronautics: Cranfield, UK, 1956.
23. Gilbert, B.L.; Oman, R.A.; Foreman, K.M. *Fluid dynamics of diffuser-augmented wind turbines*. *J. Energy* **1978**, *2*, 368–374.
24. Gilbert, B.L.; Foreman, K.M. *Experiments with a diffuser-augmented model wind turbine*. *Trans. ASME, J. Energy Resour. Technol.* **1983**, *105*, 46–53.
25. Igra, O. *Research and development for shrouded wind turbines*. *Energ. Conv. Manage.* **1981**, *21*, 13–48.
26. Phillips, D.G.; Richards, P.J.; Flay, R.G.J. *CFD modelling and the development of the diffuser augmented wind turbine*. In Proceedings of the Comp. Wind Engineer, Birmingham, UK, 2000, pp. 189–192.
27. Phillips, D.G.; Flay, R.G.J.; Nash, T.A. *Aerodynamic analysis and monitoring of the Vortec 7 diffuser augmented wind turbine*. *IPENZ Trans.* **1999**, *26*, 3–19.
28. Bet, F.; Grassmann, H. *Upgrading conventional wind turbines*. *Renew. Energy* **2003**, *28*, 71–78.
29. De Vries, O., 1979 “*Fluid Dynamic Aspects of Wind Energy Conversion*”, AGARDograph No. 243, AGARD-AG-243.

- 30 Hansen, M.O.L, Sørensen, N.N, Flay R.G.J. 1999 “*Effect of placing a Diffuser around a Wind Turbine*”, Proc. EWEC 1999 Conference, Nice, France
- 31 Hansen, M.O.L, Sørensen, N.N, Flay R.G.J. 2000 “*Effect of placing a Diffuser around a Wind Turbine*”, Wind Energy, volume 3, pp 207-213
- 32 Abe, K., Nishidab, M., Sakuraia, A., Ohyac, Y., Kiharaa, H., Wadad, E. and Satod, K., *Experimental and numerical investigations of flow fields behind a small wind turbine with a flanged diffuser*. Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 2005. **93**(951–970).
- 33 Van Bussel, G.J.W, 1999 “*An Assessment of the Performance of Diffuser Augmented Wind Turbines (DAWT’s)*”, 3rd ASME/JSME Fluid Engineering Conference FEDSM99-7830, San Francisco, USA.
- 34 Raffel, M. Willert, C. And J. Kompenhans, J., Particle Image Velocimetry: A Partical Guide. 2002. Springer.
- 35 Irawan, Agus. 2012



LAMPIRAN

