



SKRIPSI – ME141501

**PEMODELAN TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL
(VAWT) TIPE H-ROTOR UNTUK PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA ANGIN DIPULAU TABUHAN**

Hanif Kurniawan

NRP 4212 100 089

Dosen Pembimbing

Taufik Fajar Nugroho, ST., M.Sc

Ir. Hari Prastowo, M.Sc.

JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2016

“Halaman ini sengaja dikosongkan”



FINAL PROJECT – ME141501

**MODELLING OF VERTICAL AXIS WIND TURBINE
(VAWT) H-ROTOR TYPE FOR WIND POWER AT
TABUHAN ISLAND**

Hanif Kurniawan
NRP 4212 100 089

Advisor
Taufik Fajar Nugroho, ST., M.Sc
Ir. Hari Prastowo, M.Sc.

DEPARTEMENT OF MARINE ENGINEERING
Faculty of Marine Technology
Institut Teknologi Sepuluh nopember
Surabaya
2016

“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMODELAN TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL (VAWT)
TIPE H-ROTOR UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
ANGIN DI PULAU TABUHAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

pada

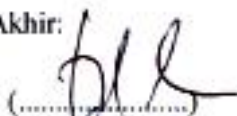
Bidang Studi *Marine Machinery and System (MMS)*
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Hanif Kurniawan
NRP. 4212100089

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir:

Taufik Fajar Nugroho, S.T., M.Sc.



(.....)

Ir. Hari Prastowo, M.Sc.



(.....)

SURABAYA
JULI 2016

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

LEMBAR PENGESAHAN

**PEMODELAN TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL (VAWT)
TIPE H-ROTOR UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA
ANGIN DI PULAU TABUHAN**

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

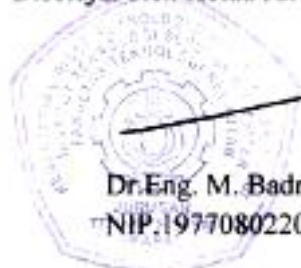
pada

Bidang Studi *Marine Machinery and System (MMS)*
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan
Fakultas Teknologi Kelautan
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

Hanif Kurniawan
NRP. 4212100089

Disetujui oleh Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan:




Dr. Eng. M. Badrus Zaman, S.T., M.Sc.
NIP. 197708022008011007

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

**PEMODELAN TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL
(VAWT) TIPE H-ROTOR UNTUK PEMBANGKIT
LISTRIK TENAGA ANGIN DI PULAU TABUHAN**

Nama Mahasiswa : HANIF KURNIAWAN
NRP : 4212100089
Jurusan : TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Dosen Pembimbing I : Taufik Fajar Kusumo, S.T., M.Sc.
Dosen Pembimbing II : Ir. Hari Prastowo, M.Sc.,

ABSTRAK

Angin merupakan sumber energi yang tak ada habisnya yang dalam pemanfaatannya masih perlu dikembangkan sebagai solusi alternatif energi untuk masyarakat. Berbagai bentuk dan jenis konversi energi angin telah banyak diteliti, namun dalam pemanfaatan di masyarakat masih belum banyak diaplikasikan dan dikembangkan. Seperti halnya di Kabupaten Banyuwangi khususnya Pulau Tabuhan belum ada sistem pembangkit listrik dari pemanfaatan sumber angin yang ada. Berdasarkan penelitian yang ada sebelumnya, diketahui banyak jenis turbin angin yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi yang dihasilkan salah satunya adalah vertical axis (VAWT). Tujuan dari skripsi ini adalah mengetahui desain turbin angin VAWT yang sesuai untuk pembangkit listrik di pulau tabuhan dan mengetahui pengaruh variasi panjang chord, jumlah blade dan sudut pitch terhadap torsi yang dihasilkan oleh turbin angin dengan perhitungan matematis. Analisa yang dilakukan untuk melihat efek peningkatan panjang chord, jumlah blade dan variasi sudut pitch. Hasil dari perhitungan tersebut adalah torsi terbesar terdapat pada turbin

dengan panjang chord 8 meter untuk jumlah blade 3 buah dan sudut pitch 9^0 yaitu sebesar 21.69 Nm.

Kata kunci: VAWT, chord, sudut pitch, blade

MODELLING OF VERTICAL AXIS WIND TURBINE (VAWT) H-ROTOR TYPE FOR WIND POWER AT TABUHAN ISLAND

Name : HANIF KURNIAWAN
NRP : 4212100089
Department : TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
Advisor I : Taufik Fajar Kusumo, S.T., M.Sc.
Advisor II : Ir. Hari Prastowo, M.Sc.,

ABSTRACT

Wind energy is a source of endless deep utilization is still need to be developed as an alternative solution to the energy community. Various forms and types of wind energy conversion has been widely studied, but in use in the community is still not widely applied and developed. As in Banyuwangi particularly the island of wasp has been no power generation systems from existing wind resource utilization. Based on existing research, known to many types of wind Trubin used to improve the efficiency of the resulting one of which is a vertical axis (VAWT). The purpose of this thesis was to determine the VAWT wind turbine design that is suitable for power generation on the island wasp and determine the effect of variation chord length, number of blades and the pitch angle of the torque generated by wind turbines by mathematical calculation. The analysis was conducted to see the effect of increasing the chord length, the number and variety of blade pitch angle. The results of these calculations is the biggest torque found in the turbine chord length 8 meter for the amount of 3 pieces and blade pitch angle of 90 in the amount of 21.69 Nm.

Keywords: VAWT, chord, pitch angle, blade

DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan.....	v
Abstrak.....	ix
Kata Pengantar.....	ix
Daftar Isi	xv
Daftar Gambar	xvii
Daftar Tabel.....	xviii
Bab I	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah dan Batasan	3
1.3 Tujuan Skripsi	3
1.4 Manfaat	4
1.5 Sistematika Laporan	4
Bab II.....	7
2.1 Energi Alternatif.....	7
2.2 Fluida.....	8
2.3 Angin.....	8
2.3.1 Karakteristik Angin	9
2.3.2 Pemanfaatan Energi Angin	11
2.4 Definisi Turbin Angin	12
2.5 Jenis-jenis Turbin Angin	13
2.6 Prinsip konversi energi angin.....	19
2.7 Teori momentum element Betz	19
2.8 Power coefficient.....	23
2.9 Bilangan Reynolds.....	24
2.10 Tip speed rasio	25
Bab III	27
3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah	27
3.2 Studi literatur.....	28

3.3 Pengumpulan Data	29
3.4 Perhitungan Awal Desain VAWT	29
3.5 Perhitungan Gaya VAWT dengan Variasi.....	30
3.6 Penentuan Variable Optimal.....	30
3.7 Analisa Data dan Pembahasan.....	30
3.8 Analisa Keekonomian	30
3.9 Penarikan Kesimpulan dan Saran	30
Bab IV.....	33
4.1 Analisa Awal	33
4.2 Perhitungan Awal.....	34
4.3 Perhitungan Gaya pada VAWT.....	36
4.4 Data Hasil Perhitungan Variasi	37
4.5 Grafik Hasil Perhitungan	44
4.6 Analisa Hasil Perhitungan	46
4.7 Kajian Ekonomis	47
4.7.1 <i>Capital Expenditure (CAPEX)</i>	48
4.7.2 <i>Operational Expenditure</i>	49
4.7.3 <i>Payback Periode</i>	50
4.7.4 <i>Revenue</i>	52
Bab V	55
5.1 Kesimpulan	55
5.2 Saran.....	55
Daftar Pustaka.....	57
Lampiran	63

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Jenis turbin angin.....	13
Gambar 2.2	Jenis turbin angin vawt	15
Gambar 2.3	Gaya-gaya pada setiap sudu.....	16
Gambar 2.4	Prinsip rotor savounius.....	18
Gambar 2.5	Kondisi aliran udara	21
Gambar 2.6	Koefisien daya.....	23
Gambar 2.7	Nilai koefisien daya dan tsr	25
Gambar 4.1	Grafik Perubahan Torsi Terhadap Sudut Pitch.....	44
Gambar 4.2	Grafik Perubahan Torsi Terhadap Panjang Chord.....	45

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Data Potensi Energi Alternatif di Indonesia...7
Tabel 4.1	Data kecepatan angin harian tahun 2015 pulau Tabuhan33
Tabel 4.2	Panjang chord 1,5 m, blade 3 buah 48
Tabel 4.3	Panjang chord 1,5 m, blade 4 buah 39
Tabel 4.4	Panjang chord 2 m, blade 3 buah 40
Tabel 4.5	Panjang chord 2 m, blade 4 buah 41
Tabel 4.6	Sudut pitch 9⁰, blade 4 buah.....42
Tabel 4.7	Sudut pitch 9⁰, blade 3 buah.....43
Tabel 4.8	Material desain VAWT..... 48
Tabel 4.9	Item Alat Destilasi 49
Tabel 4.10	Rincian biaya Operasional pertahun..... 50
Tabel 4.11	Total investasi 51
Tabel 4.12	Minimum harga tiket 52
Tabel 4.13	Perhitungan Kajian Ekonomis..... 53

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sepanjang sejarah manusia kemajuan-kemajuan besar dalam kebudayaan selalu diikuti oleh meningkatnya konsumsi energi. Peningkatan ini berhubungan langsung dengan tingkat kehidupan penduduk serta kemajuan industrilisasi. Sejak revolusi industri, penggunaan bahan bakar meningkat secara tajam, oleh karena itu diperlukan sumber energi yang memenuhi semua kebutuhan. Salah satu sumber energi yang banyak digunakan adalah energi fosil. 2 Sayangnya energi ini termasuk energi yang tidak dapat di perbaharui dan jika energi fosil ini habis maka di perlukan sumber-sumber energi baru (Daryanto, 2007).

Untuk mengatasi ketergangguan terhadap energi fosil, maka perlu dilakukan konversi, konservasi, dan pengembangan sumber-sumber energi terbarukan. Pengembangan ini harus memperhatikan tiga “E”, yakni energi, ekonomi, dan ekologi. Jadi, pengembangan sumber energi haus dapat memproduksi energi dalam jumlah yang besar, dengan biaya yang rendah serta mempunyai dampak minimum terhadap lingkungan. Salah satu pemanfaatan energi terbarukan yang saat ini yang memiliki potensi besar untuk di kembangkan adalah energi angin.

Angin sebagai sumber energi yang jumlahnya melimpah merupakan sumber energi yang terbarukan dan tidak menimbulkan polusi udara karena tidak menghasilkan gas buang yang dapat menyebabkan efek rumah kaca. Energi angin merupakan sumber daya alam yang dapat diperoleh secara cuma-cuma yang jumlahnya melimpahdan

ketersediaannya terus menerus sepanjang tahun. Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki sekitar 17.500 pulau dengan panjang garis pantai lebih dari 81.290 km dan berada di daerah tropis yang dilewati angin muson pada tiap musim. Indonesia memiliki potensi energi angin yang sangat besar yaitu sekitar 9,3 GW dan total kapasitas yang baru terpasang saat ini sekitar 0,5 MW.

Potensi energi angin di Indonesia umumnya berkecepatan lebih dari 5 meter per detik (m/detik). Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (Lapan) pada 120 lokasi menunjukkan, beberapa wilayah memiliki kecepatan angin di atas 5 m/detik, masing-masing Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Sulawesi Selatan dan Pantai Jawa. Adapun kecepatan angin 4 m/detik hingga 5 m/detik tergolong bersekalanya menengah dengan potensi skala menengah dengan potensi kapasitas 10-100 KW.

Salah satu pemanfaatan energi angin adalah dengan menggunakan turbin angin. Turbin angin mampu mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik dengan bantuan generator. Turbin angin yang sudah banyak digunakan adalah turbin angin sumbu horisontal, dimana dalam penggunaannya memerlukan aliran angin yang berkecepatan tinggi dan arah aliran yang searah dengan turbin. Namun angin di wilayah Indonesia mempunyai kecepatan rendah dan arah aliran yang selalu berubah-ubah. Pada turbin angin sumbu horisontal pemanfaatannya harus diarahkan sesuai dengan arah angin yang paling tinggi kecepatannya (Karwono, 2008). Berbeda dengan turbin angin sumbu horisontal, turbin angin sumbu vertikal dapat memanfaatkan

angin dari segala arah sehingga tidak perlu mengarahkan turbin pada arah angin yang paling tinggi kecepatannya.

1.2 Perumusan dan Pembatasan Masalah

Studi ini akan dilakukan untuk memperoleh data analisa aliran fluida pada turbin angin sumbu vertical. Sehingga terdapat beberapa pembahasan yang akan dilakukan untuk mencapai hal tersebut.

Permasalahan yang akan dijawab penyelesaiannya adalah:

1. Bagaimana desain dan dimensi turbin angin tipe VAWT yang optimal dengan kecepatan angin di Pulau Tabuhan Banyuwangi?
2. Bagaimana pengaruh panjang chord, sudut pitch dan jumlah blade pada desain turbin angin tipe VAWT?
3. Bagaimana kelayakan dalam pembuatan turbin angin VAWT di Pulau Tabuhan ditinjau dari segi ekonomis?

Adapun batasan masalah yang ada pada pengerjaan tugas akhir ini antara lain:

1. Kebutuhan listrik untuk destilasi
2. Kincir angin yang digunakan adalah kincir angin sumbu vertical tipe *h-rotor*
3. Daya listrik yang ingin dicapai sebesar 2000 Watt
4. Variasi yang dianalisa pada sudut pitch, jumlah blade, dan panjang chord
5. Tanpa mempertimbangkan momen dari turbin angin

1.3 Tujuan Skripsi

Tujuan analisa ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui desain dan dimensi turbin angin tipe VAWT yang optimal dengan kecepatan angin di Pulau Tabuhan Banyuwangi

2. Dapat mengetahui pengaruh panjang chord, sudut pitch dan jumlah blade pada turbin angin tipe h-rotor menggunakan pendekatan numerik
3. Dapat mengetahui kelayakan pembuatan turbin di Pulau Tabuhan ditinjau dari segi ekonomis

1.4 Manfaat

Kegunaan dan manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Memberi pengetahuan tentang teknologi turbin angin khususnya turbin angin sumbu vertikal tipe h-rotor
2. Dengan adanya penelitian dalam perencanaan penggunaan pembangkit listrik tenaga angin di Pulau Tabuan, Banyuwangi bisa menjadi salah satu aplikasi pemanfaatan energi terbarukan.
3. Dalam pembuatan skala besar mampu menghasilkan energy listrik yang besar

1.5 Sistematika Laporan Skripsi

Adapun sistematika laporan skripsi ini berisi:

BAB I PENDAHULUAN

Pendahuluan, menjelaskan tentang latar belakang masalah, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan, dan manfaat penelitian, serta sistematika penulisan

BAB II DASAR TEORI

Berisi mengenai dasar teori perkembangan turbin angin, berbagai bentuk blade turbin angin, rumus perhitungan desain turbin angin.

BAB III METODOLOGI

Pada bab ini akan dibahas mengenai metode yang akan digunakan dalam mengerjakan tugas akhir, perancangan

model hingga uji coba software, sehingga permasalahan yang diangkat dalam tugas akhir ini dapat diselesaikan.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Menjelaskan data hasil perhitungan dan pengujian serta analisis hasil dari perhitungan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

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 baru dan terbarukan atau bisa disebut energi alternatif. Tetapi seperti yang kita ketahui, khususnya di Indonesia pemanfaatan potensi energi terbarukan sampai saat ini masih belum optimal. Seperti terlihat pada tabel 2.1 yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan 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	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	Nuklir	24,112 ton untuk 11 tahun	3.000 MW	30 MW
---	--------	---------------------------------	-------------	-------

Dari tabel 2.1 diatas, 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 Fluida

Dalam konsep mekanika fluida semua bahan nampak dalam dua keadaan, yaitu sebagai zat padat dan cair. Kebanyakan bahan bisa disebut entah sebagai zat padat, zat cair, atau gas. Walau sebagian diantaranya mempunyai sifat-sifat yang memungkinkan diperolehnya sebutan ganda. Sebuah zat padat umumnya mempunyai bentuk yang tertentu, sedangkan zat cair dan gas mempunyai bentuk yang ditetapkan oleh wadahnya sendiri. Perbedaan dasar antara zat cair dan gas adalah bahwa gas akan menyebar dan mengisi seluruh wadah yang ditempatinya. Definisi yang lebih tepat untuk membedakan zat padat dengan fluida adalah dari karakteristik deformasi karakter tersebut. Zat padat dianggap sebagai bahan yang menunjukkan reaksi deformasi yang terbatas ketikamenerima suatu gaya gesr. Fluida dapat didefinisikan sebagai suatu zat yang terus-menerus berubah bentuk.

2.3 Angin

Angin adalah gerakan udara yang terjadi diatas permukaan bumi. Angin terjadi karena adanya perbedaan

tekanan udara, ketinggian dan temperatur. Semakin besar perbedaan tekanan udara maka kecepatan angin akan meningkat. Selain itu kecepatan angin pada siang hari akan lebih besar daripada malam hari karena pada waktu siang hari udara relatif lebih tinggi dibanding dengan malam hari. Di daerah khatulistiwa, udara menjadi panas mengembang dan menjadi ringan, naik ke atas bergerak ke daerah yang lebih dingin, udaranya menjadi dingin dan turun kebawah. Dengan demikian terjadi suatu perputaran udara, berupa perpindahan dari kutub utara ke khatulistiwa menyusuri permukaan bumi, dan sebaliknya suatu perpindahan udara dari garis khatulistiwa kembali ke kutub utara melalui lapisan udara yang lebih tinggi.

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 anginpun dijadikan sebagai sumber energi sebagai pembangkit listrik atau biasa dikenal dengan PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu). Secara umum pemanfaatan tenaga angin di Indonesia memang kurang mendapat perhatian. Padahal kapasitas pembangkit listrik tenaga angin di dunia telah berkembang pesat dengan laju pertumbuhan kumulatif sampai dengan tahun 2004 melebihi 20 persen pertahun. Dari kapasitas terpasang 5 GW pada tahun 1995 menjadi hampir 48 GW pada akhir tahun 2004 tersebar dalam 74.400 turbin angin disekitar 60 negara.

2.3.1 Karakteristik Angin

Adanya perbedaan kecepatan udara disebabkan

variasi temperatur menimbulkan gerakan udara dari satu ketinggian ke ketinggian yang lain, sedang arahnya dipengaruhi oleh kecepatan bumi pada porosnya. Hal ini yang mengakibatkan perbedaan kecepatan angin di sekitar 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 pasat timur laut di belahan bumi utara dan angin pasat tenggara di belahan bumi selatan. Ini berarti arah angin biasanya menuju equator. Angin pasat banyak membawa uap air karena berhembus dilaut lepas. Akan tetapi pada beberapa wilayah dipermukaan bumi angin pasat tersebut mengalami perubahan arah akibat pengaruh lingkungan setempat. Di Indonesia yang secara geografis terletak diantara dua benua dan dua samudra serta letak matahari yang berubah setiap enam bulan berada di utara dan enam bulan berikutnya berada di selatan, maka angin pasat tersebut mengalami perubahan menjadi angin musson barat dan angin musson timur. Kecepatan angin juga dipengaruhi oleh beberapa faktor setempat, misalnya bukit-bukit, pohon-pohon dan variasi temperatur setempat.

Beberapa karakteristik angin di Indonesia antara lain:

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

Jika kita ingin memanfaatkan energi angin harus

diperhatikan :

- Didaerah mana kincir angin tersebut ditempatkan
- Berapa kisaran jumlah angin dalam setahun pada daerah tersebut
- Bagaimana pola distribusi kecepatan angin didaerah tersebut

Untuk mengetahui laju rata-rata angin suatu daerah diperlukan data kecepatan angin dari BMKG.

2.3.2 Pemanfaatan energi Angin

Angin sebagai sumber energi dalam penggunaannya mempunyai manfaat antara lain:

- Energi angin tidak akan habis dan dapat didapatkan di berbagai tempat
- Tidak menimbulkan emisi dan ramah lingkungan
- Biaya konversi lebih murah dibanding energi fosil
- Cocok untuk daerah/pulau yang tidak terjangkau oleh pembangkit listrik

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

2.4 Definisi Turbin Angin

Turbin angin adalah alat untuk mengubah energi angin menjadi energi listrik. Secara garis besar turbin angin digolongkan ke dalam dua macam tipe, yaitu *horizontal axis wind turbine(hawt)* dan *vertical axis wind turbine(vawt)*. Kincir angin poros vertikal mempunyai sumbu vertikal dengan sudu paralel dengan sumbunya. Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, selanjutnya putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik.

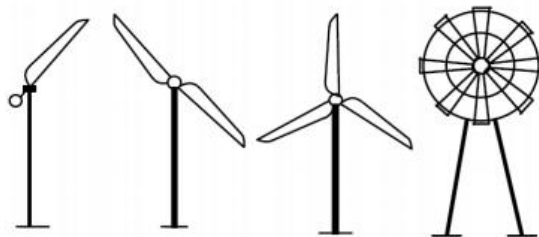
Berdasarkan arah sumbu geraknya, turbin angin terbagi menjadi dua, yaitu: turbin angin sumbu horisontal dan vertikal. Sedangkan berdasarkan prinsip gaya aerodinamik yang terjadi, turbin angin dibagi menjadi dua, yaitu jenis: lift dan drag. Pengelompokan berdasarkan prinsip aerodinamik pada rotor yang dimaksud adalah apakah turbin angin menangkap energi angin dengan hanya memanfaatkan gaya drag dari aliran udara yang melalui rotor atau memanfaatkan gaya lift yang dihasilkan dari aliran udara yang melalui bentuk aerodinamis sudu. Dapat dikatakan terdapat turbin angin yang menggunakan rotor jenis drag dan turbin angin yang memanfaatkan rotor jenis lift. Dua kelompok ini memiliki perbedaan yang jelas pada kecepatan putar rotornya. Rotor turbin angin jenis drag berputar dengan kecepatan putar rendah sehingga disebut juga turbin angin putaran rendah. Rotor turbin angin jenis lift pada umumnya berputar pada kecepatan putar tinggi bila dibandingkan dengan jenis drag sehingga disebut juga sebagai turbin angin putaran tinggi.

2.5 Jenis-Jenis Turbin Angin

Berdasarkan letak porosnya, turbin angin dibagi menjadi dua jenis yaitu:

1. Turbin angin sumbu horisontal

Turbin angin sumbu horisontal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya paralel terhadap permukaan tanah. Turbin angin sumbu horisontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di puncak menara dan diarahkan menuju dari arah datangnya angin untuk dapat memanfaatkan energi angin. Rotor turbin angin kecil diarahkan menuju dari arah datangnya angin dengan pengaturan baling-baling angin sederhana sedangkan turbin angin besar umumnya menggunakan sensor angin dan motor yang mengubah rotor turbin mengarah pada angin berkecepatan paling tinggi. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin angin sumbu horisontal mengalami gaya lift dan gaya drag, namun gaya lift jauh 9 lebih besar dari gaya drag sehingga rotor turbin ini lebih dikenal dengan rotor turbin tipe lift.



Gambar 2.1 Jenis turbin angin berdasarkan jumlah sudu (Mathew, 2006)

Pada gambar 2.1 menunjukkan bahwa turbin horisontal dibagi berdasarkan jumlah sudu, yaitu:

1. Turbin angin satu sudu (single blade)
 2. Turbin angin dua sudu (double blade)
 3. Turbin angin tiga sudu (three blade)
 4. Turbin angin banyak sudu (multi blade)
2. Turbin angin sumbu vertikal

Turbin angin sumbu vertikal merupakan turbin angin yang sumbu rotasi rotornya tegak lurus terhadap permukaan tanah. Jika dilihat dari efisiensi turbin, turbin angin sumbu horisontal lebih efektif dalam mengekstrak energi angin dibanding dengan turbin angin sumbu vertikal.

Turbin angin sumbu vertikal memiliki keunggulan, yaitu:

1. Turbin angin sumbu vertikal tidak harus diubah posisinya jika arah angin berubah, tidak seperti turbin angin horisontal yang memerlukan mekanisme tambahan untuk menyesuaikan rotor turbin dengan arah angin.
2. Tidak membutuhkan struktur menara yang besar.
3. Konstruksi turbin sederhana.
4. Turbin angin sumbu vertikal dapat didirikan dekat dengan permukaan tanah, sehingga memungkinkan menempatkan komponen mekanik dan komponen elektronik yang mendukung beroperasinya turbin.

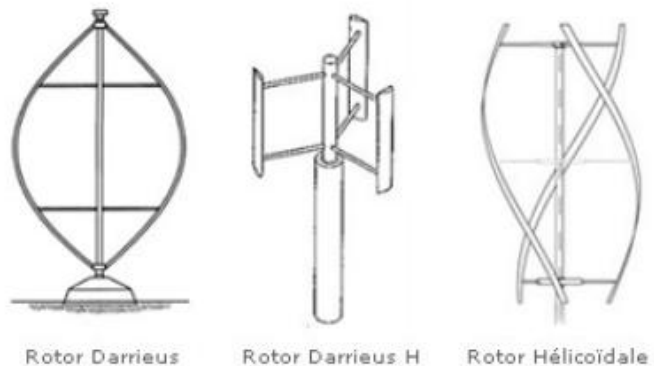
Jika dilihat dari prinsip aerodinamik rotor yang digunakan, turbin angin sumbu vertikal dibagi menjadi dua bagian yaitu:

1. Turbin angin darrieus

Turbin angin darrieus pada umumnya dikenal sebagai turbin eggbeater. Turbin angin darrieus pertama kali ditemukan oleh Georges Darrieus

pada tahun 1931. Turbin angin darrieus sampai saat ini telah mengalami banyak penelitian hingga muncul bermacam-macam bentuk dari turbin angin darrieus seperti pada gambar 2.2. Turbin angin darrieus merupakan turbin angin yang menggunakan prinsip aerodinamik dengan memanfaatkan gaya lift pada penampang sudu rotornya dalam mengekstrak energi angin.

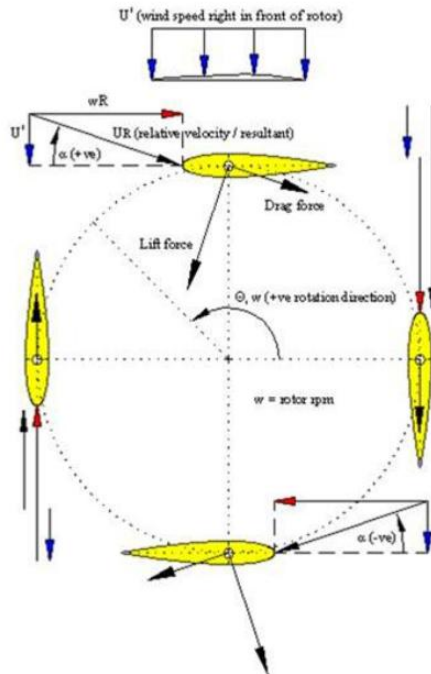
Turbin angin darrieus memiliki torsi rotor yang rendah tetapi putarannya lebih tinggi dibanding dengan turbin angin savonius sehingga lebih diutamakan untuk menghasilkan energi listrik. Namun turbin ini membutuhkan energi awal untuk mulai berputar. Rotor turbin angin darrieus pada umumnya memiliki variasi sudu yaitu dua atau tiga sudu. Modifikasi rotor turbin angin darrieus disebut dengan turbin angin H.



Gambar 2.2 Jenis-jenis turbin angin sumbu vertikal darrieus

(sumber: <http://www.ecosources.info>)

Prinsip kerja dari rotor darrieus dapat disederhanakan. Pertama, asumsikan arah angin datang dari depan rotor. Ketika pergerakan rotor lebih cepat menyamai dengan kecepatan angin yang tak terganggu yaitu rasio kecepatan sudu dengan kecepatan angin bebas, $tsr > 3$. Gambar 2.3 menunjukkan garis vektor percepatan dari bentuk airfoil baling-baling pada posisi angular yang berbeda-beda (Arsad & Muhammad, 2009)



Gambar 2.3 Gaya-gaya pada setiap sudu (Arsad & Muhammad, 2009)

Dengan:

1. Panah biru: kecepatan angin relatif.

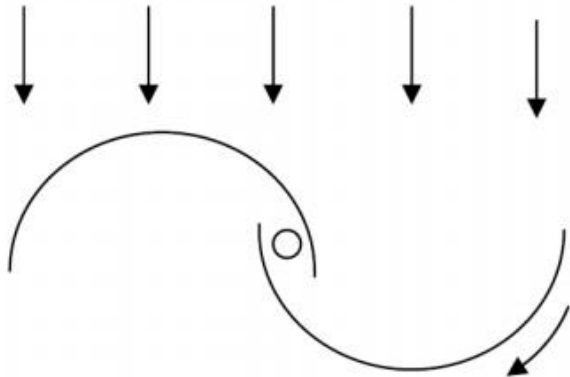
2. Panah merah: kecepatan relatif ke baling-baling.
3. Panah hitam: resultan kecepatan udara relatif ke baling-baling.
4. Panah hijau: gaya angkat (lift force).
5. Panah abu-abu: gaya seret (drag force).

Dengan nilai t_{sr} yang tinggi, sudu akan "memotong" melalui angin dengan sudut serang (angle of attack) yang kecil. Resultan gaya angkat (lift) akan membantu perputaran rotor, sedangkan gaya seret (drag) akan melawan perputaran dari rotor itu. Ketika gaya angkat nol pada sisi kiri (0°) dan sisi kanan (180°) dengan sudu simetris bergerak paralel menuju arah angin, torsi berubah menjadi negatif disekitar posisi ini. Mendekati posisi depan (90°) dan posisi dibelakang (270°), komponen dari gaya angkat (lift) lebih besar dibandingkan gaya seret (drag) sehingga menghasilkan torsi. Torsi total per satu putaran akan bernilai positif jika sudu diposisikan pada tempat yang tepat sehingga rotor akan berputar pada arah yang benar (Arsad & Muhammad, 2009)

2. Turbin angin savonius

Turbin angin savonius pertama kali diperkenalkan oleh insinyur Finlandia Sigurd J. Savonius pada tahun 1922. Turbin angin sumbu vertikal yang terdiri dari dua sudu berbentuk setengah silinder (atau elips) yang dirangkai sehingga membentuk 'S', satu sisi setengah silinder berbentuk cembung dan sisi lain berbentuk cekung yang dilalui angin seperti pada gambar 2.4. Berdasarkan prinsip aerodinamis, rotor turbin ini

memanfaatkan gaya hambat (drag) saat mengekstrak energi angin dari aliran angin yang melalui sudu turbin. Koefisien hambat permukaan cekung lebih besar daripada permukaan cembung. Oleh sebab itu, sisi permukaan cekung setengah silinder yang dilalui angin akan memberikan gaya hambat yang lebih besar daripada sisi lain sehingga rotor berputar. Setiap turbin angin yang memanfaatkan potensi angin dengan gaya hambat memiliki efisiensi yang terbatas karena kecepatan sudu tidak dapat melebihi kecepatan angin yang melaluinya.



Gambar 2.4 Prinsip rotor savonius (Mathew, 2006)

Dengan memanfaatkan gaya hambat, turbin angin savonius memiliki putaran dan daya yang rendah dibandingkan dengan turbin angin darrieus. Meskipun demikian turbin savonius tidak memerlukan energi awal memulai rotor untuk berputar yang merupakan keunggulan turbin ini dibanding turbin darrieus.

2.6 Prinsip konversi energi angin

Energi kinetik dalam benda bergerak dirumuskan dengan persamaan

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

Dimana, m : massa udara yang bergerak (kg)

V : kecepatan angin (m/s)

Energi kinetik yang terkandung dalam angin inilah yang ditangkap oleh turbin angin untuk memutar rotor. Untuk menganalisis seberapa besar energi angin yang dapat diserap oleh turbin angin, digunakan teori momentum elementer betz (Mathew, 2006)

2.7 Teori momentum element betz

Teori momentum elementer Betz sederhana berdasarkan pemodelan aliran dua dimensi angin yang mengenai rotor menjelaskan prinsip konversi energi angin pada turbin angin. Kecepatan aliran udara berkurang dan garis aliran membelok ketika melalui rotor dipandang pada satu bidang. Berkurangnya kecepatan aliran udara disebabkan sebagian energi kinetik angin diserap oleh rotor turbin angin. Pada kenyataannya, putaran rotor menghasilkan perubahan kecepatan angin pada arah tangensial yang akibatnya mengurangi jumlah total energi yang dapat diambil dari angin.

Walaupun teori elementer Betz telah mengalami penyederhanaan, namun teori ini cukup baik untuk menjelaskan bagaimana energi angin dapat dikonversi menjadi bentuk energi lainnya. Dengan menganggap bahwa kecepatan udara yang melalui penampang A adalah sebesar

v , maka aliran volume udara yang melalui penampang rotor pada setiap satuan waktu adalah

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

Dimana: V : laju volume udara (m^3/s)

v : kecepatan angin (m/s)

A : luas area sapuan rotor (m^2)

Dengan demikian laju aliran massa dapat dirumuskan dengan persamaan:

$$\dot{m} = \rho vA \quad (2.3)$$

Dimana, ρ : massa jenis udara (kg/m^3)

Persamaan yang menyatakan energi kinetik yang melalui penampang A pada setiap satuan waktu dapat dinyatakan sebagai daya yang melalui penampang A adalah:

$$P = \frac{1}{2} \rho v^3 A \quad (2.4)$$

Dimana P : daya mekanik (Watt)

Energi kinetik dapat diambil dari angin dengan mengurangi kecepatannya. Artinya kecepatan udara di belakang rotor akan lebih rendah daripada kecepatan udara di depan rotor. Gambar 2.5 menunjukkan kondisi aliran udara akibat ekstraksi energi mekanik aliran bebas dimana kecepatan angin setelah mengalami ekstraksi (V_2) lebih rendah daripada kecepatan angin sebelum mengalami ekstraksi (V_1). Energi mekanik yang diambil dari angin setiap satuan waktu didasarkan pada perubahan kecepatannya dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$P = \frac{1}{2} \rho A_1 v_1^3 - \frac{1}{2} \rho A_2 v_2^3 = \frac{1}{2} \rho (A_1 v_1^3 - A_2 v_2^3) \quad (2.5)$$

dimana:

P : daya yang diekstraksi (Watt)

ρ : massa jenis udara (kg/m^3)

A_1 : luas penampang aliran udara sebelum melalui rotor (m^2)

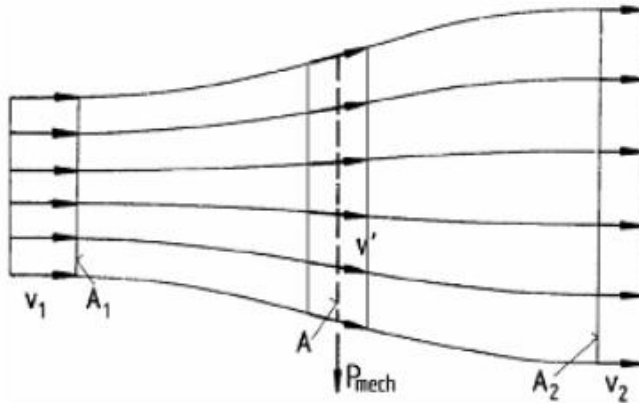
A_2 : luas penampang aliran udara setelah melauai rotor (m^2)

v_1 : kecepatan aliran udara sebelum melewati rotor (m/s)

v_2 : kecepatan aliran udara setelah melewati rotor (m/s)

Dengan asumsi massa jenis tidak mengalami perubahan maka sesuai hukum kontinuitas sebagai berikut:

$$\rho A_1 v_1 = \rho A_2 v_2 \quad (2.6)$$



Gambar 2.5 Kondisi aliran udara akibat ekstraksi energi mekanik aliran bebas (erich Hau, 2005)

Maka:

$$P = \frac{1}{2} \dot{m} (v_1^2 - v_2^2) \quad (2.7)$$

Dari persamaan tersebut dapat disimpulkan bahwa daya terbesar yang diambil dari angin adalah jika v_2 bernilai nol, yaitu angin berhenti setelah melalui rotor. Namun hal ini tidak dapat terjadi karena tidak memenuhi hukum kontinuitas. Energi angin yang diubah akan semakin besar jika v_2 semakin kecil, atau dengan kata lain rasio v_1/v_2 harus semakin besar.

Persamaan lainnya yang diperlukan untuk mencari besarnya daya yang dapat diambil adalah persamaan momentum

$$F = \dot{m}(v_1 - v_2) \quad (2.8)$$

Dimana:

F : gaya (N)

m: laju aliran massa udara (kg/s)

Sesuai dengan hukum ke-2 Newton bahwa gaya aksi akan sama dengan gaya reaksi, gaya yang diberikan udara kepada rotor akan sama dengan gaya hambat oleh rotor yang menekan udara ke arah yang berlawanan dengan arah gerak udara. Daya yang diperlukan untuk menghambat aliran udara adalah:

$$P = F\dot{v} = \dot{m}(v_1 - v_2)\dot{v} \quad (2.9)$$

Dimana, \dot{v} = kecepatan aliran udara pada rotor (m/s)

Kedua persamaan diatas digabungkan menunjukkan hubungan

$$\frac{1}{2}\dot{m}(v_1^2 - v_2^2) = \dot{m}(v_1 - v_2)\dot{v} \quad (2.10)$$

Sehingga

$$\dot{v} = \frac{1}{2}(v_1 + v_2) \quad (2.11)$$

Maka kecepatan aliran udara ketika melalui rotor adalah

$$\dot{v} = \frac{(v_1 + v_2)}{2} \quad (2.12)$$

Laju aliran massa adalah

$$\dot{m} = \rho A \dot{v} = \frac{1}{2}\rho A(v_1 + v_2) \quad (2.13)$$

Sehingga daya mekanik output dapat ditulis

$$P = \frac{1}{4}\rho A(v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2) \quad (2.14)$$

Supaya dapat dijadikan referensi untuk daya output tersebut, maka dapat dibandingkan dengan daya aliran bebas

yang mengalir dengan luas sapuan yang sama tanpa ada ekstraksi. Dirumuskan sebagai berikut

$$P = \frac{1}{2} \rho v_1^3 A \quad (2.15)$$

2.8 Power coefficient

Perbandingan antara daya keluaran rotor terhadap daya total yang melalui penampang rotor disebut koefisien daya c_p . Dirumuskan dengan

$$C_p = \frac{P}{P_0} = \frac{\frac{1}{4} \rho A (v_1^2 - v_2^2)(v_1 + v_2)}{\frac{1}{2} \rho v_1^3 A} \quad (2.16)$$

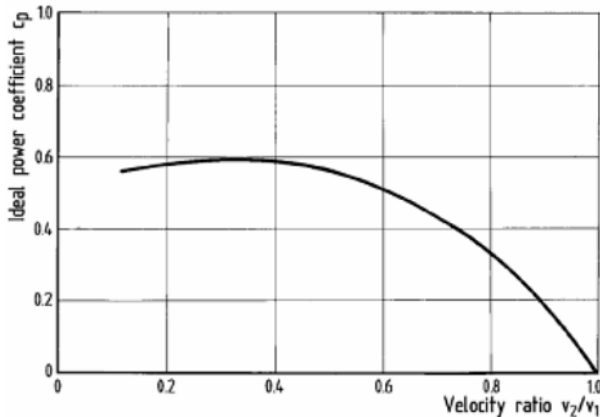
Dimana:

C_p : koefisien power

P : Daya mekanik yang dihasilkan rotor (watt)

P_0 : daya mekanik total yang terkandung dalam angin yang melalui A (watt)

Dengan memasukkan nilai v_2/v_1 , maka c_p dapat disajikan dalam bentuk gambar sebagai berikut.



Gambar 2.6 Koefisien daya terhadap rasio kecepatan aliran udara (Erich Hau, 2005)

Dengan demikian c_p akan bernilai maksimum jika $v_2/v_1 = 1/3$, ini disebut dengan Betz's limit, dimana nilai koefisien daya tidak akan melebihi nilai ideal yaitu sebesar 0.593 seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.6.

2.9 Bilangan Reynolds

Bilangan Reynolds menyatakan perbandingan gaya-gaya inersia terhadap gaya-gaya kekentalan (viskositas). Bilangan Reynolds merupakan bilangan tak berdimensi. Dilihat dari kecepatan aliran, dikategorikan laminar bila aliran tersebut mempunyai bilangan Re kurang dari 2300. Untuk aliran transisi berada pada pada bilangan Re 2300 dan 4000 biasa juga disebut sebagai bilangan Reynolds kritis, sedangkan aliran turbulen mempunyai bilangan Re lebih dari 4000. (Tipler, 1998) Bilangan Reynolds untuk pipa-pipa bundar yang mengalir penuh adalah:

$$Re = \frac{v D \rho}{\mu} = \frac{v D}{\nu} \quad (2.17)$$

Dimana:

Re : bilangan Reynolds

v : kecepatan aliran (m/s)

D : diameter pipa (m)

ρ : kerapatan massa fluida (kg/m^3)

μ : kekentalan mutlak (Pa.s)

ν : μ/ρ : kekentalan kinematik fluida (m^2/s)

Untuk saluran tidak bundar, diameter pipa diganti dengan diameter hidraulik (D_h) (Olson, 1993)

$$D_h = \frac{4A}{P} \quad (2.18)$$

Dimana:

D_h : diameter hidraulik

A : luas potongan aliran melintang (m^2)

P : perimeter (keliling lingkaran) (m)

2.10 Tip speed ratio

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin nominal yang tertentu, tip speed ratio akan berpengaruh pada kecepatan putar rotor. Tip speed ratio dengan persamaan:

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v} \quad (2.19)$$

Dimana:

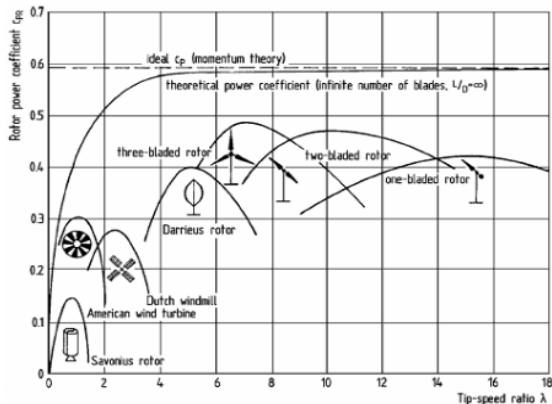
λ : tip speed ratio

D : diameter rotor (m)

n : putaran rotor (rpm)

v : kecepatan angin (m/s)

Gambar 2.7 berikut menunjukkan variasi nilai tip speed ratio dan koefisien daya c_p untuk berbagai macam turbin angin.



Gambar 2.7 nilai koefisien daya dan tip speed ratio untuk berbagai turbin angin (Hau, 2009)

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB III

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah numerik, yaitu dengan mencari referensi dari berbagai macam tipe turbin angin dan sudut yang akan dimodelkan. Selanjutnya adalah menggunakan data dari BMKG untuk mendapat kecepatan angin rata-rata di Pulau Tabuhan. Berdasarkan data yang diperoleh itu, selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan desain turbin yang cocok untuk pulau Tabuhan dengan kecepatan angin yang relatif rendah. Metodologi penulisan skripsi ini mencakup semua kegiatan yang akan dilaksanakan untuk memecahkan masalah atau melakukan proses analisa terhadap permasalahan skripsi. Untuk lebih jelasnya akan dijabarkan sebagai berikut :

3.1 Identifikasi dan Perumusan Masalah

Awal tahapan dalam pengerjaan skripsi ini adalah dengan mengidentifikasi permasalahan yang ada. Perlu juga perumusan masalah yang nantinya akan diselesaikan selama pengerjaan skripsi ini. Permasalahan dapat diketahui melalui observasi, menggali informasi yang ada saat ini ataupun melalui data statistik yang ada dan kecenderungannya di waktu yang akan datang. Pada tahap ini pula, diketahui tujuan dari penulisan tugas akhir. Pada tugas akhir ini, permasalahan yang akan dibahas mengenai desain turbin angin yang cocok digunakan untuk pembangkit listrik di Pulau Tabuhan.

Selain itu, juga terdapat batasan masalah. Hal ini dimaksudkan agar topik bahasan lebih mendetail dan tidak

terlalu meluas. Juga akan memudahkan penulis dalam melakukan analisa masalah

3.2 Studi Literatur

Langkah selanjutnya adalah mencari studi literatur. Pada tahap ini, segala hal yang berkaitan dengan permasalahan dicari tahu dan dipelajari, sehingga dapat memberi gambaran apa yang harus dilakukan untuk memecahkan permasalahan tersebut. Kegiatan ini meliputi pengumpulan bahan pustaka yang menunjang untuk analisa ini, yaitu mengenai desain turbin angin vertikal tipe h-rotor untuk pembangkit listrik. Studi literatur didapatkan dari berbagai sumber yaitu:

- Buku
- Artikel
- Paper
- Internet
- Penelitian-penelitian sebelumnya oleh:
 - Arif Afifudin, Mochamad, 2010. *Studi Experimental Performansi Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) dengan Variasi Desain Turbin*, Thesis. Jurusan Teknik Fisika-Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
 - Castillo, Javier, 2011. *Smale-Scale Vertical Axis Wind Turbine Design*, Thesis. Department Aeronautical Engineering-Tampere University of Applied Science

Sedangkan tempat pencarian berbagai referensi dan literatur dilakukan di beberapa tempat, antara lain :

- Perpustakaan Pusat ITS
- Ruang Baca FTK

- Laboratorium Mesin Fluida dan Sistem Jurusan Teknik Sistem Perkapalan FTK

Berbagai referensi dan literatur guna mendukung dalam pengerjaan skripsi ini. Utamanya berkaitan dengan *wind turbine*, mekanika fluida, dan berbagai literatur yang saling mendukung.

3.3 Pengumpulan Data

Setelah melakukan studi literatur maka akan dapat mengetahui langkah atau cara memecahkan masalah untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Tahap selanjutnya adalah pengumpulan data dimana pada tahap ini, data-data pendukung tentang permasalahan yang sesuai dengan metode yang digunakan, dikumpulkan untuk dilakukan analisa lebih lanjut. Pengumpulan data yang akan penulis lakukan adalah dengan studi lapangan di Pulau Tabuhan dan dasar-dasar teori yang relevan guna merancang *wind turbine vertical axis type h-rotor*. Data yang diperlukan antara lain :

- Kecepatan angin rata-rata di Pulau tabuhan. Data angin ini berfungsi sebagai input dalam perhitungan pemodelan. Proses pengambilan data pada penelitian ini berupa pengambilan data angin dari BMKG yang mencantumkan data kecepatan angin harian selama setahun di Pulau Tabuhan.
- Berbagai variasi yang akan dilakukan dalam perhitungan, dalam penelitian kali ini dipilih variasi panjang chord, jumlah blade, dan sudut pitch

3.4 Perhitungan Awal Desain VAWT

Setelah didapatkan kecepatan angin rata-rata, maka akan dilakukan perhitungan dimensi utama dari desain turbin. Dimensi utama ini meliputi diameter turbin, tinggi turbin,

swept area, efisiensi turbin, dan panjang chord minimum dari blade turbin.

3.5 Perhitungan Gaya VAWT dengan Variasi

Selanjutnya dilakukan perhitungan gaya pada turbin sesuai dengan variasi yang telah ditetapkan yaitu, variasi jumlah blade, variasi sudut *pitch*, dan variasi panjang chord. Dari perhitungan ini didapatkan torsi, power turbin, dan power listrik yang dihasilkan nanti pada generator.

3.6 Penentuan Variable paling Optimal

Dari hasil perhitungan yang telah ditentukan maka akan didapatkan desain turbin yang paling optimal dengan variasi jumlah blade, sudut *pitch*, dan panjang chord. Satu bentuk ini yang nanti akan digunakan sebagai pembangkit listrik di Pulau Tabuhan

3.7 Analisa Data dan Pembahasan

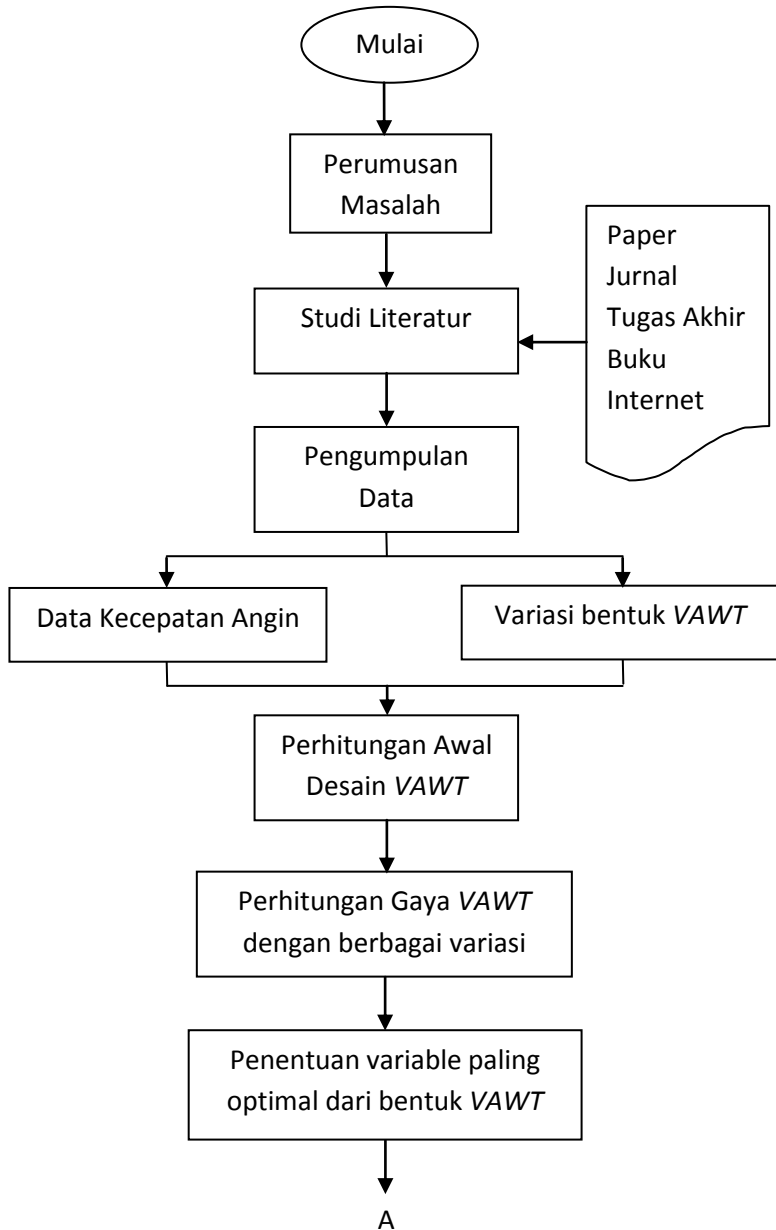
Pada tahap ini, dilakukan analisis terhadap turbin angin dengan parameter dan variasi yang ditentukan dan perhitungan matematis. Tujuannya untuk mengetahui model yang manakah yang sesuai untuk ditempatkan di pulau Tabuhan.. Dari analisa dan pembahasan digunakan sebagai acuan desain perancangan turbin angin berdasarkan hasil kinerja.

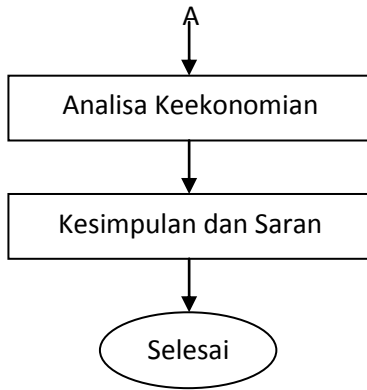
3.6 Analisa Keekonomian

Model turbin yang sudah didapatkan dengan proses perhitungan selanjutnya dianalisa kelayakannya dengan menggunakan parameter NPV, IRR, dan *Pay Back Period*

3.7 Penarikan Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahapan akhir dimana dilakukan penarikan kesimpulan mengenai keseluruhan proses yang telah dilakukan. Selain itu, juga memberikan saran terkait dengan penelitian selanjutnya.





BAB IV

Analisa dan Pembahasan

4.1 Analisa Awal

Pengambilan data angin di Pulau Tabuhan melalui data dari BMKG, didapatkan data angin harian di tahun 2015.

Tabel 4.1. Data kecepatan angin tahun 2015 pulau Tabuhan

Tanggal	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nop	Des
1	2,7	1,6	3,4	3,0	0,6	2,7	3,1	5,2	4,8	3,0	2,2	1,7
2	3,0	3,8	3,2	1,8	1,6	2,2	2,5	4,3	3,5	4,6	1,6	1,1
3	3,2	1,4	2,1	2,9	2,2	2,3	3,4	3,6	4,5	5,1	1,4	2,0
4	3,8	1,4	2,4	2,9	3,6	2,9	3,2	2,4	2,7	2,9	1,4	4,8
5	2,7	1,6	2,1	3,0	2,4	2,4	1,7	2,6	3,2	2,1	1,0	2,2
6	2,5	1,0	2,5	5,0	2,9	2,7	2,8	2,5	3,3	1,5	1,6	2,2
7	2,7	1,5	2,1	3,2	1,9	4,1	3,6	1,1	2,9	1,6	1,4	1,3
8	2,6	2,9	2,1	1,7	1,9	2,0	4,6	3,0	3,4	2,5	1,6	2,0
9	3,4	3,4	3,2	1,3	1,5	2,5	5,0	2,3	2,3	3,2	1,6	2,3
10	3,1	2,3	4,0	1,6	1,8	2,5	2,5	2,5	2,7	3,0	2,0	1,7
11	1,7	2,5	3,7	1,7	2,8	2,6	3,7	2,2	2,3	2,6	1,2	1,6
12	1,6	1,5	2,3	1,7	1,9	2,6	8,0	2,4	1,8	1,7	1,4	0,5
13	3,6	1,6	2,1	1,2	1,4	3,3	6,4	3,6	4,2	1,3	1,5	1,4
14	5,2	2,9	2,1	1,2	2,8	2,5	5,8	5,4	4,1	1,9	2,5	2,6
15	6,4	1,8	1,0	3,1	2,4	2,5	4,9	4,7	2,0	2,1	2,8	4,1
16	2,0	0,7	0,7	1,8	2,0	3,0	4,1	3,4	3,0	1,3	2,0	3,9
17	1,8	1,9	0,6	1,7	1,2	1,6	3,3	1,5	2,9	2,2	2,5	4,4
18	1,0	2,7	1,3	1,1	1,9	2,7	2,3	2,3	2,3	1,9	1,8	5,8
19	2,3	2,2	1,4	1,0	1,0	3,7	2,8	1,9	2,3	1,6	2,8	6,8
20	2,6	2,3	1,6	1,1	1,0	3,3	3,1	2,1	2,6	1,5	3,0	7,0
21	2,3	2,2	1,3	1,5	1,9	4,2	2,3	2,4	2,9	3,8	2,4	1,7
22	2,6	2,5	1,9	2,0	2,7	3,5	2,8	2,8	2,6	2,3	2,1	2,5
23	2,0	3,4	1,6	1,3	1,9	4,2	1,8	1,9	2,6	2,6	2,3	2,4
24	1,9	1,4	2,1	1,1	2,3	4,2	1,5	2,3	1,4	2,5	1,9	2,1
25	0,9	1,7	1,8	2,9	2,5	2,0	2,2	2,2	2,3	1,7	0,8	3,1
26	2,3	2,5	0,8	3,3	1,5	1,9	2,4	2,5	2,2	2,4	1,4	1,7
27	3,4	1,3	0,6	4,5	1,5	1,9	2,2	3,0	2,8	3,4	1,1	1,5
28	5,3	0,9	1,3	3,3	3,1	1,2	3,2	1,7	1,9	2,9	2,0	2,0
29	3,1		1,7	2,1	4,1	3,5	2,5	2,1	2,7	2,1	1,1	2,7
30	1,3		1,8		3,8	3,8	1,6	4,6	1,9	1,9	1,8	1,4
31	1,5		3,1		1,3		3,3	4,3		1,7		0,7

Kemudian dilakukan pengelompokan data kecepatan dan dipilih kecepatan angin paling sering muncul di Pulau Tabuhan. Dan didapatkan kecepatan angin rata-rata Pulau Tabuhan sebesar 1 m/s.

4.2 Perhitungan Awal

Jika dilihat dari spesifikasi alat destilasi yang dibutuhkan untuk memperoleh air sebanyak 1000 liter setiap hari dibutuhkan energy listrik sebesar 2000 W.

Kemudian dilakukan perhitungan awal berdasarkan data yang didapatkan. Minimum daya yang dapat diperoleh dari energy angin adalah:

$$P_{mw} = 800 \text{ W}$$

Kecepatan angin untuk mengekstraksi daya tersebut:

$$V_{mw} \text{ (m/s)} = 2 \text{ m/s}$$

Untuk stabilitas, rasio diameter terhadap tinggi blade $D/H = 1.2$, $D = 1.2H$

$$A_{swept} = \pi \times D \times H = 1.2 \times \pi \times H^2$$

$$P_{mw} = 0.5 \times \rho_{udara} \times A_{swept} \times v^3$$

$$800 = 0.5 \times 1.225 \times 1.2 \times \pi \times H^2 \times 2^3$$

$$800 = 18.4632 \times H^2$$

Sehingga dapat dihitung,

$$H = (800/18.4632)^{0.5}$$

$$H = 6.58251 \text{ m}$$

Sehingga diameter (D) dari VAWT dapat dihitung yaitu:

$$D = 1.2 H$$

$$D = 7.899 \text{ m}$$

Maka dapat ditentukan bahwa tinggi blade, $H = 6.5 \text{ m}$ dan diameter dari VAWT, $D = 7.899 \text{ m}$. Sehingga $D/H = 7.9/6.5 = 1.23$. kemudian besarnya luasan daerah yang tersapu oleh blade dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$A_{\text{swept}} = \pi \times D \times H$$

$$A_{\text{swept}} = 22/7 \times 7.9 \times 6.5$$

$$A_{\text{swept}} = 163.28 \text{ m}^2$$

Dari data kecepatan angin, dapat diketahui bahwa kecepatan angin rata-rata dipulau Tabuhan adalah 1 m/s. maka daya yang diekstraksi sebenarnya pada kecepatan angin, $v = 1 \text{ m/s}$ sesuai dengan rumus 2.1 adalah:

$$P_w = 0.5 \times \rho_{\text{udara}} \times A_{\text{swept}} \times v^3$$

$$P_w = 0.5 \times 1.225 \times 163.28 \times 1$$

$$P_w = 100 \text{ W}$$

Kemudian tips speed rasio untuk H rotor, $\lambda = 1.6$, maka efisiensi wind turbine dapat diketahui dengan rumus:

$$\eta_{\omega\tau} = 0.055 \lambda + 0.399$$

$$\eta_{\omega\tau} = 0.055 (1.6) + 0.399$$

$$\eta_{\omega\tau} = 0.487$$

$$\eta_{\omega\tau} = 48.7 \%$$

Sehingga didapatkan efisiensi wind turbine $\eta_{\omega\tau} = 48.7\%$. Kemudian daya pada poros turbin, P_τ dapat diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_\tau = P_w \times \eta_{\omega\tau}$$

$$P_\tau = 100 \times 48.7 \%$$

$$P_\tau = 48.7 \text{ W}$$

Efisiensi generator, $\eta_{\text{generator}} = 0.8$. Maka daya listrik yang dihasilkan generator sesuai dengan rumus:

$$P_{\text{elektris}} = P_\tau \times \eta_{\text{generator}}$$

$$P_{\text{elektris}} = 48.7 \times 0.8$$

$$P_{\text{elektris}} = 38.96 \text{ W}$$

Kemudian dapat dilakukan perhitungan chord. Besarnya nilai solidity minimum untuk VAWT adalah 0.4, maka

panjang chord minimum untuk jumlah blade 3 buah dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$\sigma = NB \times C / D$$

$$0.4 = 3 \times C / 7.89$$

$$C = 1.067 \text{ m}$$

Kemudian kecepatan rotasi turbin dapat diketahui dengan rumus:

$$\omega = (\lambda \times v/R) \times (60/\pi)$$

$$\omega = (1.6 \times 1/4) \times (60/3.14)$$

$$\omega = 7.6433 \text{ rpm}$$

4.3 Perhitungan Gaya pada VAWT

Setelah dihasilkan data pada perhitungan awal. Kita harus menghitung Reynolds Number pada blade. Reynolds Number didapat dengan menggunakan rumus:

$$Re = (W \times TSR \times \rho_{\text{udara}} \times C) / \nu_{\text{udara}}$$

$$Re = (1 \times 1.6 \times 1.204 \times 1.5) / (1.81 \times 10^{-5})$$

$$Re = 1.596464088 \times 10^5$$

$$Re = 159646.408$$

Dari perhitungan Reynolds Number diatas kita bisa mendapatkan koefisien lift dan koefisien drag melihat pada tabel dengan cara melakukan perhitungan iterasi didapat:

$$Cl = 0.55$$

$$Cd = 0.01392$$

Sehingga gaya lift, gaya drag, dan koefisien tangensial dapat dihitung dengan persamaan:

$$Fl = \frac{1}{2} Cl \rho A_{\text{blade}} v^2$$

$$Fl = \frac{1}{2} \times 0.55 \times 1.225 \times 20.0853 \times 1^2$$

$$Fl = 6.75713 \text{ N}$$

$$F_d = \frac{1}{2} C_d \rho A_{\text{blade}} v^2$$

$$F_d = \frac{1}{2} \times 0.01392 \times 1.225 \times 20.0853 \times 1^2$$

$$F_d = 0.171017 \text{ N}$$

$$C_t = C_l \sin \alpha - C_d \cos \alpha$$

$$C_t = 0.55 \sin 5^\circ - 0.01392 \cos 5^\circ$$

$$C_t = 0.030219$$

Torsi yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q = 0.5 \times \rho \times C \times R \times H \times C_t \times v^2$$

$$Q = 0.5 \times 1.225 \times 1.5 \times 4 \times 6.5 \times 0.030219 \times 1^2$$

$$Q = 0.72186 \text{ Nm}$$

Untuk jumlah blade 3 buah torsi rata-rata yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q_{\text{av}} = (N/2\pi)Q$$

$$Q_{\text{av}} = (3/6.28)0.72186$$

$$Q_{\text{av}} = 0.344838 \text{ Nm}$$

4.4 Data Hasil Perhitungan Variasi

Berbagai variasi yang dilakukan di dalam perhitungan penelitian ini berupa variasi panjang chord, variasi sudut pitch pada blade, dan variasi jumlah blade seperti yang sudah dilakukan pada subbab sebelumnya. Data yang diperoleh dari hasil perhitungan berupa data numeric yakni berupa gaya lift, gaya drag, torsi pada masing-masing blade, power turbin, dan power elektris. Perhitungan numeric disini bertujuan untuk mendapatkan desain dari turbin angin yang paling optimal dipasangkan di Pulau Tabuhan. Hasil perhitungan dari berbagai variasi tersebut dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.2. Panjang chord 1,5 meter dengan jumlah blade 3 buah

No.	Sudut Pitch($^{\circ}$)	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi(Nm)	Torsi rata-rata(Nm)	$P_r(W)$	$P_e(W)$
1	1	0,110	0,010	-0,008	1,351	0,128	-0,202	-0,097	-0,739	-0,591
2	2	0,220	0,011	-0,003	2,703	0,130	-0,074	-0,035	-0,271	-0,217
3	3	0,330	0,011	0,006	4,054	0,140	0,141	0,067	0,513	0,410
4	4	0,440	0,012	0,018	5,406	0,152	0,437	0,209	1,595	1,276
5	5	0,550	0,014	0,034	6,757	0,172	0,810	0,387	2,956	2,365
6	6	0,660	0,015	0,054	8,107	0,187	1,286	0,614	4,694	3,755
7	7	0,746	0,017	0,074	9,163	0,209	1,767	0,844	6,448	5,159
8	8	0,827	0,019	0,097	10,158	0,227	2,310	1,103	8,430	6,744
9	9	0,852	0,020	0,113	10,464	0,251	2,701	1,290	9,857	7,885
10	10	0,132	0,019	0,004	1,623	0,232	0,102	0,049	0,371	0,297
11	11	0,195	0,076	-0,038	2,390	0,935	-0,898	-0,429	-3,277	-2,622
12	12	0,153	0,014	0,018	1,882	0,171	0,436	0,208	1,591	1,273
13	13	0,203	0,152	-0,102	2,493	1,867	-2,448	-1,169	-8,933	-7,146
14	14	0,255	0,171	-0,104	3,127	2,101	-2,492	-1,191	-9,097	-7,277
15	15	0,308	0,190	-0,104	3,785	2,334	-2,481	-1,185	-9,055	-7,244

Tabel 4.3. Panjang chord 1,5 meter dengan jumlah blade 4 buah

No.	Sudut Pitch($^{\circ}$)	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi(Nm)	Torsi rata-rata(Nm)	$P_T(W)$	$P_e(W)$
1	1	0,110	0,010	-0,008	1,351	0,128	-0,202	-0,129	-0,985	-0,788
2	2	0,220	0,011	-0,003	2,703	0,130	-0,074	-0,047	-0,361	-0,289
3	3	0,330	0,011	0,006	4,054	0,140	0,141	0,089	0,684	0,547
4	4	0,440	0,012	0,018	5,406	0,152	0,437	0,278	2,127	1,702
5	5	0,550	0,014	0,034	6,757	0,172	0,810	0,516	3,941	3,153
6	6	0,660	0,015	0,054	8,107	0,187	1,286	0,819	6,259	5,007
7	7	0,746	0,017	0,074	9,163	0,209	1,767	1,125	8,598	6,878
8	8	0,827	0,019	0,097	10,158	0,227	2,310	1,471	11,239	8,992
9	9	0,852	0,020	0,113	10,464	0,251	2,701	1,720	13,142	10,514
10	10	0,132	0,019	0,004	1,623	0,232	0,102	0,065	0,495	0,396
11	11	0,195	0,076	-0,038	2,390	0,935	-0,898	-0,572	-4,369	-3,496
12	12	0,153	0,014	0,018	1,882	0,171	0,436	0,278	2,122	1,698
13	13	0,203	0,152	-0,102	2,493	1,867	-2,448	-1,559	-11,910	-9,528
14	14	0,255	0,171	-0,104	3,127	2,101	-2,492	-1,588	-12,129	-9,703
15	15	0,308	0,190	-0,104	3,785	2,334	-2,481	-1,580	-12,073	-9,658

Tabel 4.4. Panjang chord 2 meter dengan jumlah blade 3 buah

No.	Sudut Pitch($^{\circ}$)	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi(Nm)	Torsi rata-rata(Nm)	$P_T(W)$	$P_e(W)$
1	1	0,110	0,010	-0,008	1,351	0,119	-0,248	-0,118	-0,904	-0,723
2	2	0,220	0,010	-0,003	2,703	0,124	-0,083	-0,040	-0,303	-0,243
3	3	0,330	0,011	0,007	4,054	0,131	0,210	0,100	0,765	0,612
4	4	0,440	0,012	0,019	5,406	0,144	0,605	0,289	2,208	1,767
5	5	0,550	0,013	0,035	6,757	0,162	1,105	0,528	4,034	3,227
6	6	0,550	0,014	0,043	6,757	0,177	1,374	0,657	5,016	4,013
7	7	0,752	0,016	0,076	9,243	0,197	2,413	1,153	8,805	7,044
8	8	0,834	0,018	0,099	10,251	0,216	3,142	1,501	11,466	9,173
9	9	0,875	0,019	0,118	10,744	0,237	3,749	1,791	13,683	10,946
10	10	0,357	0,019	0,043	4,382	0,229	1,383	0,660	5,046	4,037
11	11	0,385	0,061	0,013	4,728	0,753	0,422	0,202	1,540	1,232
12	12	0,240	0,016	0,035	2,953	0,190	1,109	0,530	4,047	3,238
13	13	0,222	0,118	-0,065	2,730	1,445	-2,058	-0,983	-7,510	-6,008
14	14	0,264	0,154	-0,085	3,240	1,890	-2,721	-1,300	-9,930	-7,944
15	15	0,314	0,190	-0,102	3,859	2,334	-3,259	-1,557	-11,893	-9,514

Tabel 4.5. Panjang chord 2 meter dengan jumlah blade 4 buah

No.	Sudut Pitch($^{\circ}$)	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi(Nm)	Torsi rata-rata(Nm)	P _r (W)	P _e (W)
1	1	0,110	0,010	-0,008	1,351	0,119	-0,248	-0,158	-1,205	-0,964
2	2	0,220	0,010	-0,003	2,703	0,124	-0,083	-0,053	-0,405	-0,324
3	3	0,330	0,011	0,007	4,054	0,131	0,210	0,133	1,020	0,816
4	4	0,440	0,012	0,019	5,406	0,144	0,605	0,385	2,944	2,356
5	5	0,550	0,013	0,035	6,757	0,162	1,105	0,704	5,379	4,303
6	6	0,550	0,014	0,043	6,757	0,177	1,374	0,875	6,688	5,351
7	7	0,752	0,016	0,076	9,243	0,197	2,413	1,537	11,740	9,392
8	8	0,834	0,018	0,099	10,251	0,216	3,142	2,001	15,288	12,230
9	9	0,875	0,019	0,118	10,744	0,237	3,749	2,388	18,244	14,595
10	10	0,357	0,019	0,043	4,382	0,229	1,383	0,881	6,728	5,382
11	11	0,385	0,061	0,013	4,728	0,753	0,422	0,269	2,053	1,643
12	12	0,240	0,016	0,035	2,953	0,190	1,109	0,706	5,397	4,317
13	13	0,222	0,118	-0,065	2,730	1,445	-2,058	-1,311	-10,013	-8,010
14	14	0,264	0,154	-0,085	3,240	1,890	-2,721	-1,733	-13,240	-10,592
15	15	0,314	0,190	-0,102	3,859	2,334	-3,259	-2,076	-15,857	-12,686

Tabel 4.6. Sudut pitch 9° dengan jumlah blade 4 buah

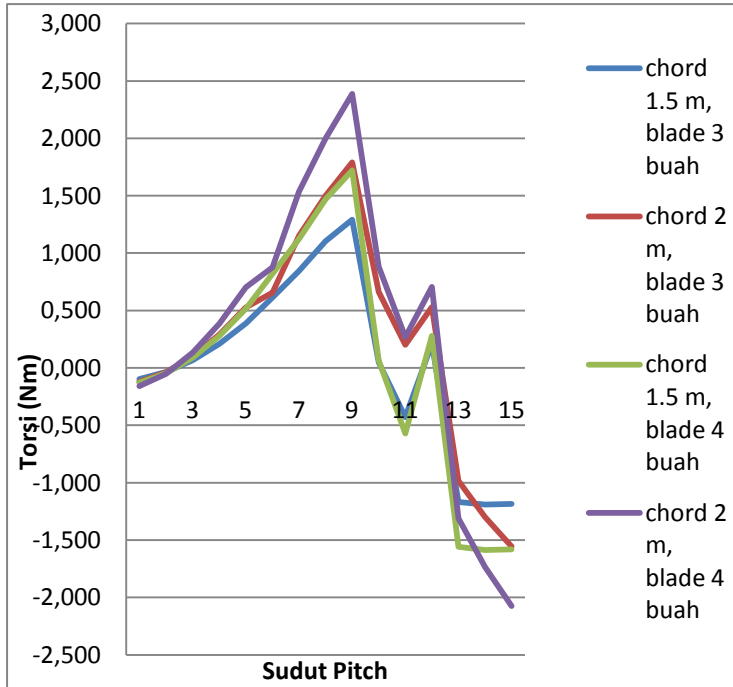
Chord(m)	Sudut Pitch($^{\circ}$)	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi	Torsi rata-rata(Nm)	Pt(W)	Pe(W)
1,5	9	0,852	0,020	0,113	10,464	0,251	2,701	1,720	13,142	10,514
2	9	0,875	0,019	0,118	10,744	0,237	3,749	2,388	18,244	14,595
2,5	9	0,8964	0,0183	0,122	11,013	0,225	4,862	3,097	23,660	18,928
3	9	0,9184	0,0174	0,126	11,283	0,214	6,041	3,848	29,399	23,519
3,5	9	0,9403	0,0164	0,131	11,552	0,201	7,294	4,646	35,495	28,396
4	9	0,9623	0,0155	0,135	11,823	0,190	8,612	5,485	41,908	33,526
4,5	9	0,9842	0,0145	0,140	12,092	0,178	10,005	6,372	48,685	38,948
5	9	1,0062	0,0136	0,144	12,362	0,167	11,461	7,300	55,772	44,618
5,5	9	1,0281	0,0126	0,148	12,631	0,155	12,994	8,276	63,230	50,584
6	9	1,0501	0,0116	0,153	12,901	0,143	14,598	9,298	71,038	56,830

Tabel 4.7. Sudut pitch 9° dengan jumlah blade 3 buah

Chord(m)	Sudut Pitch($^{\circ}$)	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi	Torsi rata-rata(Nm)	Pt(W)	Pe(W)
1,5	9	0,8517	0,0204	0,113	10,464	0,251	2,701	1,290	9,857	7,885
2	9	0,8745	0,0193	0,118	10,744	0,237	3,749	1,791	13,683	10,946
2,5	9	0,8964	0,0183	0,122	11,013	0,225	4,862	2,323	17,745	14,196
3	9	0,9184	0,0174	0,126	11,283	0,214	6,041	2,886	22,049	17,639
3,5	9	0,9403	0,0164	0,131	11,552	0,201	7,294	3,484	26,621	21,297
4	9	0,9623	0,0155	0,135	11,823	0,190	8,612	4,114	31,431	25,145
4,5	9	0,9842	0,0145	0,140	12,092	0,178	10,005	4,779	36,514	29,211
5	9	1,0062	0,0136	0,144	12,362	0,167	11,461	5,475	41,829	33,463
5,5	9	1,0281	0,0126	0,148	12,631	0,155	12,994	6,207	47,423	37,938
6	9	1,0501	0,0116	0,153	12,901	0,143	14,598	6,974	53,278	42,623
6,5	9	1,0721	0,0107	0,157	13,172	0,131	16,263	7,769	59,354	47,483
7	9	1,0941	0,0097	0,162	13,442	0,119	18,007	8,602	65,721	52,577
7,5	9	1,1159	0,0088	0,166	13,710	0,108	19,807	9,462	72,289	57,831
8	9	1,1379	0,0078	0,170	13,980	0,096	21,692	10,362	79,168	63,334

4.5 Grafik Hasil Perhitungan

Berikut disajikan grafik perubahan besar torsi rata-rata VAWT terhadap perubahan sudut yang divariasikan

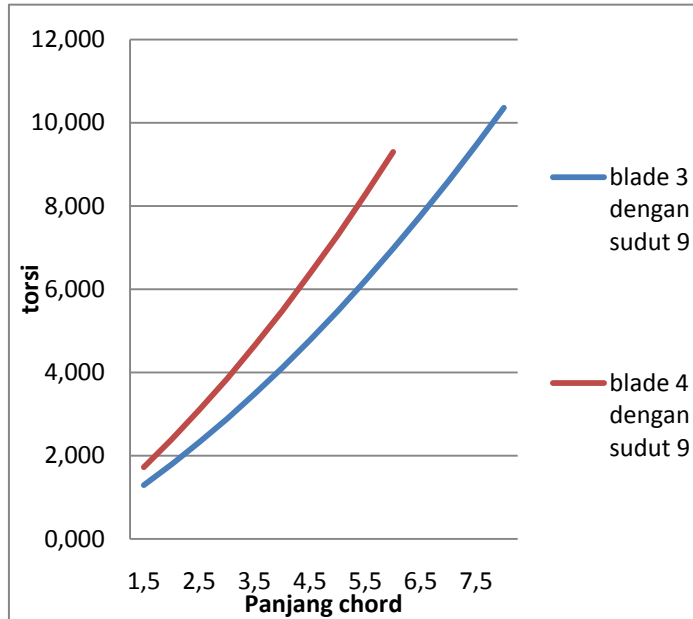


Gambar 4.1 Grafik perubahan Torsi terhadap sudut Pitch

Pada grafik bisa dilihat bahwa pada setiap variasi VAWT memiliki torsi maksimal pada sudut 9° . Torsi terbesar dihasilkan oleh turbin dengan panjang chord 2 meter, blade 4 buah dan pada sudut pitch 9° .

Jika melihat dari semua variasi panjang chord dan jumlah blade, pada sudut 13° semua torsi bernilai negatif, itu mengindikasikan bahwa pada sudut 13° hingga 15° variasi

VAWT tidak dapat digunakan, karena tidak mungkin dapat memutar turbin.



Gambar 4.2. Grafik perubahan Torsi terhadap Panjang Chord

Pada grafik yang dihasilkan di atas, dapat diketahui bahwa pada masing-masing turbin akan mengalami peningkatan torsi apabila diberikan peningkatan panjang chord. Karena keterbatasan panjang chord yakni, pada turbin dengan blade 4 buah, chord maksimal hanya sebesar 6 meter pada masing-masing chord. Dan pada turbin dengan blade 3 buah, panjang chord maksimal adalah 8 meter pada masing-masing chord. Torsi terbesar diberikan oleh turbin dengan jumlah blade sebanyak 3 buah dan dengan panjang chord 8 m yaitu sebesar 63.33 Nm.

4.6 Analisa Hasil Perhitungan

Dari data yang ditabulasikan dalam bentuk tabel pada subbab sebelumnya, dapat diketahui bahwa rata-rata daya yang dapat dihasilkan oleh satu turbin angin adalah 63.33 Watt. Sementara itu dengan kebutuhan listrik untuk menyuplai alat destilasi sebesar 2000 Watt. Maka jumlah kebutuhan turbin angin untuk pulau Tabuhan tersebut adalah:

$$\text{Kebutuhan daya} = 2000 \text{ Watt}$$

$$\text{Jumlah turbin angin} = \frac{\text{Kebutuhan daya}}{\text{Daya yang dihasilkan turbin}}$$

$$\text{Jumlah turbin angin} = \frac{2000}{63,33}$$

$$\text{Jumlah turbin angin} = 31.58$$

Untuk memenuhi suplai daya yang dibutuhkan oleh alat destilasi tersebut dibutuhkan turbin angin sejumlah 32 buah.

Dari tabel tabulasi data yang diperoleh dari perhitungan, dapat dilihat bahwa untuk panjang chord 1.5 m. Peningkatan sudut pitch menyebabkan peningkatan pada besaran koefisien lift dan koefisien drag hingga sudut pitch 9^0 . Sehingga terjadi peningkatan pada koefisien tangensial. Sehingga torsi, torsi rata-rata, power turbin dan power elektris yang dihasilkan turbin juga mengalami penurunan. Sedangkan setelah sudut pitch 9^0 , yakni dari sudut pitch 10^0 hingga 15^0 kembali terjadi penurunan koefisien lift dan koefisien drag.

Begitu juga untuk panjang chord 2 m. Peningkatan sudut pitch menyebabkan peningkatan pada besaran koefisien lift dan koefisien drag hingga sudut pitch 9^0 . Sehingga terjadi peningkatan pada koefisien tangensial. Sehingga torsi, torsi rata-rata, power turbin dan power elektris yang dihasilkan turbin juga mengalami penurunan. Sedangkan setelah sudut pitch 9^0 , yakni dari sudut pitch 10^0 hingga 15^0

kembali terjadi penurunan koefisien lift dan koefisien drag.

Selain itu juga dapat dilihat bahwa pada variasi panjang chord 1.5 m dengan jumlah blade 4 buah dan sudut pitch 9^0 torsi yang dihasilkan sebesar 1.720 Nm, power turbin yang dihasilkan sebesar 13.142 watt dan power elektrik yang dihasilkan sebesar 10.514 watt, lebih kecil dibandingkan torsi, power turbin, efisiensi dan power elektrik yang dihasilkan pada variasi panjang chord 2 m dengan jumlah blade 4 buah dan sudut pitch 9^0 yaitu torsi 2.388 Nm, power turbin yang dihasilkan sebesar 18,244 watt, dan power elektrik yang dihasilkan sebesar 14,595 watt

Dapat disimpulkan bahwa sudut pitch untuk menghasilkan torsi yang optimal didapatkan pada sudut pitch antara 9^0 . Peningkatan sudut pitch pada penelitian ini yaitu dari 10^0 hingga 15^0 menyebabkan penurunan yang besar pada koefisien tangensial sehingga mengakibatkan penurunan yang besar pada torsi rata-rata, power turbin, dan power elektrik yang dihasilkan oleh turbin.

Penambahan panjang chord pada penelitian ini yaitu dari variasi panjang chord dari 1.5 meter sampai 8 meter untuk jumlah blade 3 buah, dan panjang chord 1.5 meter sampai 6 meter untuk jumlah blade 4 buah menyebabkan peningkatan pada koefisien tangensial sehingga mengakibatkan kenaikan pada torsi rata-rata, power turbin, dan power elektrik yang dihasilkan oleh turbin

4.7 Kajian Ekonomis

Kajian ekonomis yang dilakukan pada penelitian kali ini hanya mencakup investasi awal dalam pembangunan turbin angin yang bertujuan untuk menyuplai alat destilasi.

Pendapatan akan didapat dari biaya transportasi pengunjung dari Banyuwangi ke Pulau Tabuhan.

Pengembangan dan pemanfaatan teknologi energi angin untuk listrik merupakan upaya peningkatan kontribusi energi terbarukan dalam membantu menyediakan energi listrik di daerah yang tidak terjangkau jaringan listrik PLN. Parameter yang digunakan dalam kajian ekonomis adalah *Internal Rate of Return* (IRR), *Paybacks Periods* (PP), dan *Net Present Value* (NPV).

4.7.1 *Capital Expenditure (CAPEX)*

Capital Expenditure adalah seluruh biaya investasi awal yang dikeluarkan untuk membangun turbin angin hingga penyediaan alat destilasi. Dalam melakukan perhitungan keuangan perlu ditetapkan asumsi-asumsi sebagai dasar perhitungan yang dapat diperoleh dari pengalaman, dan hasil survey harga dari berbagai sumber penyedia item-item yang dibutuhkan dalam pembangunan turbin.

Data untuk analisa ekonomi turbin angin sumbu vertikal didasarkan dari hasil perhitungan bada subbab sebelumnya yang memiliki spesifikasi teknis dan biaya sebagai berikut:

Kapasitas terpasang, 63.3 W, umur teknis 10 tahun

Tabel 4.8. Material desain VAWT

No.	<i>Item</i>	Jumlah	<i>Cost</i>
1	<i>Airfoils</i>	3	Rp 7.930.000
2	<i>Radial arms</i>	6	Rp 1.950.000
3	<i>Shaft</i>	1	Rp 1.950.000
4	<i>Connecting bracket</i>	1	Rp 390.000

5	<i>Base</i>	4	Rp 4.030.000
6	<i>Base steel connecting bracket</i>	2	Rp 520.000
7	<i>Blade assembly connection</i>	1	Rp 65.000
8	<i>Linear springs</i>	3	Rp 195.000
9	<i>Bearing</i>	3	Rp 3.900.000
		Total	Rp 20.930.000

Setelah didapatkan biaya total dalam pembangunan turbin angin, selanjutnya dilakukan perhitungan dalam biaya pembangunan sebagai berikut

Tabel 4.9. Item untuk alat destilasi

No.	Item	Jumlah	Cost
1	Turbin Angin	32	Rp 669.760.000
2	Inverter	1	Rp 36.000.000
3	Generator	1	Rp 8.500.000
4	Baterai	1	Rp 10.000.000
5	Kabel daya	1	Rp 1.600.000
6	Fondasi	1	Rp 8.000.000
7	Alat Destilasi	1	Rp 8.500.000
		Total	Rp 742.360.000

Berdasarkan tabel hasil perhitungan pada tabel 4.9 didapatkan biaya investasi awal paling minimum sebesar Rp742.360.000,00.

4.7.2 *Operational Expenditure*

Operational Expenditure (OPEX) adalah seluruh biaya yang dikeluarkan untuk mendukung pengoperasian turbin angin termasuk diantaranya

maintenance cost. Nilai *Maintenance cost* didapatkan dari 5% dari biaya investasi awal yang dikeluarkan untuk membangun turbin angin, dan terjadi kenaikan 2% untuk tiap tahunnya. Rincian biaya operasional dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Rincian biaya operasional pertahun

Tahun ke-1	Rp	37.118.000
Tahun ke-2	Rp	37.860.360
Tahun ke-3	Rp	38.617.567
Tahun ke-4	Rp	39.389.919
Tahun ke-5	Rp	40.177.717
Tahun ke-6	Rp	40.981.271
Tahun ke-7	Rp	41.800.897
Tahun ke-8	Rp	42.636.915
Tahun ke-9	Rp	43.489.653
Tahun ke-10	Rp	44.359.446
Total		Rp 406.431.744

4.7.3 *Payback Period*

Payback Period adalah jangka waktu kembalinya biaya investasi yang telah dilakukan baik itu biaya CAPEX maupun OPEX, melalui keuntungan yang diperoleh dari suatu proyek yang telah direncanakan.

Metode analisa *payback period* bertujuan untuk mengetahui seberapa lama investasi akan dapat dikembalikan saat terjadi kondisi dimana arus kas masuk sama dengan arus kas keluar. Dari hasil ini didapatkan harga *revenue* minimum untuk mencapai target *payback period* yang diinginkan.

Pada kajian ekonomis kali ini diharapkan *payback period* dapat terjadi di tahun ke 5 setelah investasi awal dengan total pengunjung harian di pulau Tabuhan sebanyak 50 orang.

Tabel 4.11. Total Investasi yang dikeluarkan selama asset berjalan

Tahun	CAPEX	Payment Bank	OPEX
0	Rp 742,360,000	0	0
1		Rp 120,815,671	Rp37,118,000
2		Rp 120,815,671	Rp37,860,360
3		Rp 120,815,671	Rp38,617,567
4		Rp 120,815,671	Rp39,389,919
5		Rp 120,815,671	Rp40,177,717
6		Rp 120,815,671	Rp40,981,271
7		Rp 120,815,671	Rp41,800,897
8		Rp 120,815,671	Rp42,636,915
9		Rp 120,815,671	Rp43,489,653
10		Rp 120,815,671	Rp44,359,446
	Total	Rp 120,815,6710	Rp406,431,745

Dari tabel diatas didapatkan biaya total investasi sebesar Rp.1.614.588.455,00. Kemudian dilakukan perhitungan maka didapatkan biaya minimum tiket masuk dapat dilihat pada tabel 4.12 dibawah.

Tabel 4.12. Perhitungan Minimum Harga Tiket
Masuk Pulau Tabuhan

Total Investasi	Rp	1,614,588,455
<i>Payback period</i>		5 tahun
Minimum harga tiket	Rp	17,694.12

4.7.4 *Revenue*

Revenue adalah pendapatan dari suatu bisnis yang dilakukan. Turbin angin yang didesain pada penelitian ini akan dilokasikan pada tempat wisata, sehingga pendapatan didapatkan dari harga tiket masuk para pengunjung pulau Tabuhan. Untuk mengetahui apakah diakhir periode, investasi yang telah dikeluarkan mendapatkan penghasilan optimum, dalam hal ini dapat menutupi biaya investasi awal, biaya operasional, dan masih memperoleh keuntungan meskipun harga tiket masuk tidak terlalu tinggi, perlu dilakukan perhitungan *revenue* dengan variasi harga tiket masuk ke pulau Tabuhan.

Setelah pada subbab sebelumnya didapatkan minimum harga tiket masuk di Pulau Tabuhan yaitu sebesar Rp.17.694,00, selanjutnya dilakukan perhitungan *revenue* pertahun untuk mendapatkan nilai dari *net present value*. Setelah *revenue* telah diketahui, maka langkah selanjutnya adalah mencari, *net present value*, *tax*, dan *earning after tax*. Selanjutnya hasil dari perhitungan ditunjukkan oleh tabel 4.13 dibawah

Tabel 4.13 Perhitungan Kajian Ekonomis

Tahun	CAPEX	Payment Bank	OPEX	Revenue	Earning before Tax
0	Rp 742,360,000	0	0	0	0
1		Rp 120,815,671	Rp 37,118,000	Rp 322,915,500	Rp 164,981,829
2		Rp 120,815,671	Rp 37,860,360	Rp 322,915,500	Rp 164,239,469
3		Rp 120,815,671	Rp 38,617,567	Rp 322,915,500	Rp 163,482,262
4		Rp 120,815,671	Rp 39,389,919	Rp 322,915,500	Rp 162,709,910
5		Rp 120,815,671	Rp 40,177,717	Rp 322,915,500	Rp 161,922,112
6		Rp 120,815,671	Rp 40,981,271	Rp 322,915,500	Rp 161,118,558
7		Rp 120,815,671	Rp 41,800,897	Rp 322,915,500	Rp 160,298,932
8		Rp 120,815,671	Rp 42,636,915	Rp 322,915,500	Rp 159,462,914
9		Rp 120,815,671	Rp 43,489,653	Rp 322,915,500	Rp 158,610,176
10		Rp 120,815,671	Rp 44,359,446	Rp 322,915,500	Rp 157,740,383

Tax	Earning after Tax	Cash Flow	Commulative Cash Flow
0	0	Rp (742,360,000)	Rp (742,360,000)
Rp 16,498,183	Rp 148,483,646	Rp 148,483,646	Rp (593,876,354)
Rp 16,423,947	Rp 147,815,522	Rp 147,815,522	Rp (446,060,832)
Rp 16,348,226	Rp 147,134,036	Rp 147,134,036	Rp (298,926,796)
Rp 16,270,991	Rp 146,438,919	Rp 146,438,919	Rp (152,487,877)
Rp 16,192,211	Rp 145,729,901	Rp 145,729,901	Rp (6,757,976)
Rp 16,111,856	Rp 145,006,702	Rp 145,006,702	Rp 138,248,726
Rp 16,029,893	Rp 144,269,039	Rp 144,269,039	Rp 282,517,765
Rp 15,946,291	Rp 143,516,623	Rp 143,516,623	Rp 426,034,387
Rp 15,861,018	Rp 142,749,158	Rp 142,749,158	Rp 568,783,546
Rp 15,774,038	Rp 141,966,345	Rp 141,966,345	Rp 710,749,891

Dari tabel 4.13 pada perhitungan kajian ekonomis biasa dilihat bahwa pada tahun ke 10 didapatkan net present value sebesar Rp. 710.749.891,00 sebagai keuntungan bersih dari perusahaan.

BAB V

Kesimpulan dan Saran

5.3 Kesimpulan

Dari analisa yang didapatkan dari perhitungan di bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa:

1. Untuk memenuhi suplay daya alat destilasi di Pulau Tabuhan dibutuhkan vertical axis wind turbin sebanyak 32 buah.
2. Torsi rata-rata terbesar yang dapat dihasilkan oleh turbin terdapat pada variasi jumlah blade 3 buah dengan panjang chord 8 meter dan sudut pitch dari blade sebesar 9^0 dengan nilai 10, 362 Nm.
3. Penambahan jumlah blade pada turbin menyebabkan peningkatan torsi rata-rata, power turbin, dan power elektrik yang dihasilkan oleh VAWT.
4. Penambahan panjang hord pada turbin menyebabkan peningkatan torsi rata-rata, power turbin, dan power elektrik yang dihasilkan oleh VAWT.
5. Sudut pitch yang paling optimal untuk desain turbin di pulau Tabuhan pada penelitian ini adalah sebesar 9^0 untuk semua variasi jumlah blade dan panjang chord.
6. Dengan *payback period* 5 tahun, maka didapatkan minimum harga tiket sebesar Rp.17.695,00 dengan *Net Present Value (NPV)* pada tahun ke10 sebesar Rp.710.749.891

6.2 Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah:

1. Perlu pembuatan langsung untuk model dan benda nyata dari turbin angin sumbu vertikal tipe h-rotor agar mendapatkan nilai yang lebih valid.

-
2. Pemilihan lokasi untuk penempatan turbin angin harus di daerah yang memiliki kecepatan angin yang cukup tinggi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsad, & Muhammad, A. (2009). Pembuatan Kode Desain dan Analisis Turbin Angin Sumbu Vertikal Darrieus Tipe H. *Jurnal Teknologi Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Bandung* .
- Andrew Tendai, Zhuga. (2011). Design of Alternative Energy System: A Self-Starting Vertical Axis Wind Turbine for Stand-Alone Application (charging batteries). *Thesis. Department of Mechatronic Engineering-School of Engineering Sciences and Technology-Chinhoyi University of Technology*.
- Arif Afifudin, Mochamad. (2010). Studi Experimental Performansi Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Dengan Variasi Desain Turbin. *Thesis. Jurusan Teknik Fisika-Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya*.
- Castillo, Javier. (2011). Small-Scale Vertical Axis Wind Turbine Design. *Thesis. Department Aeronautical Engineering-Tampere University of Applied Sciences*.
- DeCoste, Jon. (2005). Vertical Axis Wind Turbine, Design Project. *Department of Mechanical Engineering-Dalhousie University*
- Hau, Erich. (2009). Wind Turbine Fundamentals, Technologies, Application, Economics. *Munich, Germany*
- JF. Manwell. Wind Energy Explained – Theory, Design, and Application. *A John Wiley Sons, Ltd, Publications*
- Justin Carrigan, Travis. (2010). Aerodynamic Shape Optimization of A Vertical Axis Wind Turbine. *Disertation. Department Aerospace Engineering-The University of Texas*.

Miller, Steven D. (2008). Lift, Drag and Moment of NACA 0015 Airfoil. *Thesis. Department of Aerospace Engineering-The Ohio State University.*

Tipler, Paul. (1998). Modern Physics. *Basel University, Basel*

http://en.wikipedia.org/wiki/NACA_airfoil

https://id.wikipedia.org/wiki/Massa_jenis

LAMPIRAN

Tabel variasi panjang chord 1,5 meter dengan jumlah blade 3 buah

No.	Sudut Pitch	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi	Torsi rata-rata	P _T	P _{elektris}
1	1	0,110	0,010	-0,008	1,351	0,128	-0,202	-0,097	-0,739	-0,591
2	2	0,220	0,011	-0,003	2,703	0,130	-0,074	-0,035	-0,271	-0,217
3	3	0,330	0,011	0,006	4,054	0,140	0,141	0,067	0,513	0,410
4	4	0,440	0,012	0,018	5,406	0,152	0,437	0,209	1,595	1,276
5	5	0,550	0,014	0,034	6,757	0,172	0,810	0,387	2,956	2,365
6	6	0,660	0,015	0,054	8,107	0,187	1,286	0,614	4,694	3,755
7	7	0,746	0,017	0,074	9,163	0,209	1,767	0,844	6,448	5,159
8	8	0,827	0,019	0,097	10,158	0,227	2,310	1,103	8,430	6,744
9	9	0,852	0,020	0,113	10,464	0,251	2,701	1,290	9,857	7,885
10	10	0,132	0,019	0,004	1,623	0,232	0,102	0,049	0,371	0,297
11	11	0,195	0,076	-0,038	2,390	0,935	-0,898	-0,429	-3,277	-2,622
12	12	0,153	0,014	0,018	1,882	0,171	0,436	0,208	1,591	1,273
13	13	0,203	0,152	-0,102	2,493	1,867	-2,448	-1,169	-8,933	-7,146
14	14	0,255	0,171	-0,104	3,127	2,101	-2,492	-1,191	-9,097	-7,277
15	15	0,308	0,190	-0,104	3,785	2,334	-2,481	-1,185	-9,055	-7,244

Tabel variasi panjang chord 1,5 meter dengan jumlah blade 4 buah

No.	Sudut Pitch	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi	Torsi rata-rata	P _T	P _{elektris}
1	1	0,110	0,010	-0,008	1,351	0,128	-0,202	-0,129	-0,985	-0,788
2	2	0,220	0,011	-0,003	2,703	0,130	-0,074	-0,047	-0,361	-0,289
3	3	0,330	0,011	0,006	4,054	0,140	0,141	0,089	0,684	0,547
4	4	0,440	0,012	0,018	5,406	0,152	0,437	0,278	2,127	1,702
5	5	0,550	0,014	0,034	6,757	0,172	0,810	0,516	3,941	3,153
6	6	0,660	0,015	0,054	8,107	0,187	1,286	0,819	6,259	5,007
7	7	0,746	0,017	0,074	9,163	0,209	1,767	1,125	8,598	6,878
8	8	0,827	0,019	0,097	10,158	0,227	2,310	1,471	11,239	8,992
9	9	0,852	0,020	0,113	10,464	0,251	2,701	1,720	13,142	10,514
10	10	0,132	0,019	0,004	1,623	0,232	0,102	0,065	0,495	0,396
11	11	0,195	0,076	-0,038	2,390	0,935	-0,898	-0,572	-4,369	-3,496
12	12	0,153	0,014	0,018	1,882	0,171	0,436	0,278	2,122	1,698
13	13	0,203	0,152	-0,102	2,493	1,867	-2,448	-1,559	-11,910	-9,528
14	14	0,255	0,171	-0,104	3,127	2,101	-2,492	-1,588	-12,129	-9,703
15	15	0,308	0,190	-0,104	3,785	2,334	-2,481	-1,580	-12,073	-9,658

Tabel variasi panjang chord 2 meter dengan jumlah blade 3 buah

No.	Sudut Pitch	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi	Torsi rata-rata	P _T	P _{elektris}
1	1	0,110	0,010	-0,008	1,351	0,119	-0,248	-0,118	-0,904	-0,723
2	2	0,220	0,010	-0,003	2,703	0,124	-0,083	-0,040	-0,303	-0,243
3	3	0,330	0,011	0,007	4,054	0,131	0,210	0,100	0,765	0,612
4	4	0,440	0,012	0,019	5,406	0,144	0,605	0,289	2,208	1,767
5	5	0,550	0,013	0,035	6,757	0,162	1,105	0,528	4,034	3,227
6	6	0,550	0,014	0,043	6,757	0,177	1,374	0,657	5,016	4,013
7	7	0,752	0,016	0,076	9,243	0,197	2,413	1,153	8,805	7,044
8	8	0,834	0,018	0,099	10,251	0,216	3,142	1,501	11,466	9,173
9	9	0,875	0,019	0,118	10,744	0,237	3,749	1,791	13,683	10,946
10	10	0,357	0,019	0,043	4,382	0,229	1,383	0,660	5,046	4,037
11	11	0,385	0,061	0,013	4,728	0,753	0,422	0,202	1,540	1,232
12	12	0,240	0,016	0,035	2,953	0,190	1,109	0,530	4,047	3,238
13	13	0,222	0,118	-0,065	2,730	1,445	-2,058	-0,983	-7,510	-6,008
14	14	0,264	0,154	-0,085	3,240	1,890	-2,721	-1,300	-9,930	-7,944
15	15	0,314	0,190	-0,102	3,859	2,334	-3,259	-1,557	-11,893	-9,514

Tabel 4.5 Panjang chord 2 meter dengan jumlah blade 4 buah

No.	Sudut Pitch	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi	Torsi rata-rata	P _T	P _{elektris}
1	1	0,110	0,010	-0,008	1,351	0,119	-0,248	-0,158	-1,205	-0,964
2	2	0,220	0,010	-0,003	2,703	0,124	-0,083	-0,053	-0,405	-0,324
3	3	0,330	0,011	0,007	4,054	0,131	0,210	0,133	1,020	0,816
4	4	0,440	0,012	0,019	5,406	0,144	0,605	0,385	2,944	2,356
5	5	0,550	0,013	0,035	6,757	0,162	1,105	0,704	5,379	4,303
6	6	0,550	0,014	0,043	6,757	0,177	1,374	0,875	6,688	5,351
7	7	0,752	0,016	0,076	9,243	0,197	2,413	1,537	11,740	9,392
8	8	0,834	0,018	0,099	10,251	0,216	3,142	2,001	15,288	12,230
9	9	0,875	0,019	0,118	10,744	0,237	3,749	2,388	18,244	14,595
10	10	0,357	0,019	0,043	4,382	0,229	1,383	0,881	6,728	5,382
11	11	0,385	0,061	0,013	4,728	0,753	0,422	0,269	2,053	1,643
12	12	0,240	0,016	0,035	2,953	0,190	1,109	0,706	5,397	4,317
13	13	0,222	0,118	-0,065	2,730	1,445	-2,058	-1,311	-10,013	-8,010
14	14	0,264	0,154	-0,085	3,240	1,890	-2,721	-1,733	-13,240	-10,592
15	15	0,314	0,190	-0,102	3,859	2,334	-3,259	-2,076	-15,857	-12,686

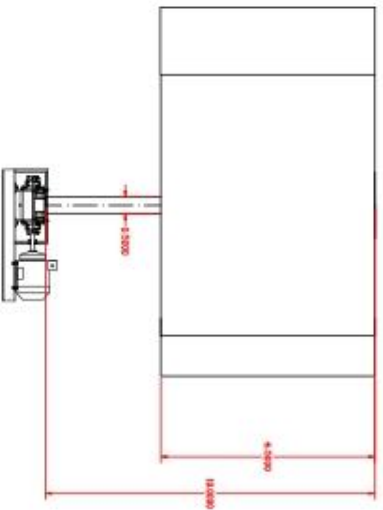
Sudut pitch 9^0 dengan jumlah blade 4 buah

chord	Sudut Pitch	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi	Torsi rata-rata	Pt	Pe
1,5	9	0,852	0,020	0,113	10,464	0,251	2,701	1,720	13,142	10,514
2	9	0,875	0,019	0,118	10,744	0,237	3,749	2,388	18,244	14,595
2,5	9	0,8964	0,0183	0,122	11,013	0,225	4,862	3,097	23,660	18,928
3	9	0,9184	0,0174	0,126	11,283	0,214	6,041	3,848	29,399	23,519
3,5	9	0,9403	0,0164	0,131	11,552	0,201	7,294	4,646	35,495	28,396
4	9	0,9623	0,0155	0,135	11,823	0,190	8,612	5,485	41,908	33,526
4,5	9	0,9842	0,0145	0,140	12,092	0,178	10,005	6,372	48,685	38,948
5	9	1,0062	0,0136	0,144	12,362	0,167	11,461	7,300	55,772	44,618
5,5	9	1,0281	0,0126	0,148	12,631	0,155	12,994	8,276	63,230	50,584
6	9	1,0501	0,0116	0,153	12,901	0,143	14,598	9,298	71,038	56,830

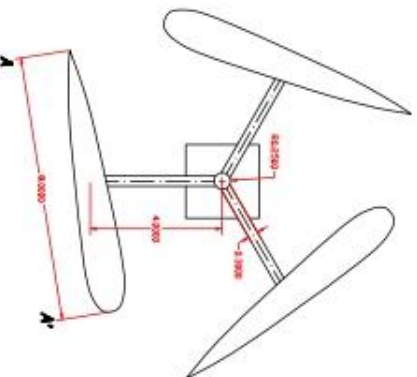
Tabel 4.7 Sudut pitch 9^0 dengan jumlah blade 3 buah

chord	Sudut Pitch	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi	Torsi rata-rata	Pt	Pe
1,5	9	0,8517	0,0204	0,113	10,464	0,251	2,701	1,290	9,857	7,885
2	9	0,8745	0,0193	0,118	10,744	0,237	3,749	1,791	13,683	10,946
2,5	9	0,8964	0,0183	0,122	11,013	0,225	4,862	2,323	17,745	14,196
3	9	0,9184	0,0174	0,126	11,283	0,214	6,041	2,886	22,049	17,639
3,5	9	0,9403	0,0164	0,131	11,552	0,201	7,294	3,484	26,621	21,297
4	9	0,9623	0,0155	0,135	11,823	0,190	8,612	4,114	31,431	25,145
4,5	9	0,9842	0,0145	0,140	12,092	0,178	10,005	4,779	36,514	29,211
5	9	1,0062	0,0136	0,144	12,362	0,167	11,461	5,475	41,829	33,463
5,5	9	1,0281	0,0126	0,148	12,631	0,155	12,994	6,207	47,423	37,938
6	9	1,0501	0,0116	0,153	12,901	0,143	14,598	6,974	53,278	42,623
6,5	9	1,0721	0,0107	0,157	13,172	0,131	16,263	7,769	59,354	47,483
7	9	1,0941	0,0097	0,162	13,442	0,119	18,007	8,602	65,721	52,577
7,5	9	1,1159	0,0088	0,166	13,710	0,108	19,807	9,462	72,289	57,831
8	9	1,1379	0,0078	0,170	13,980	0,096	21,692	10,362	79,168	63,334

SIDE VIEW



TOP VIEW



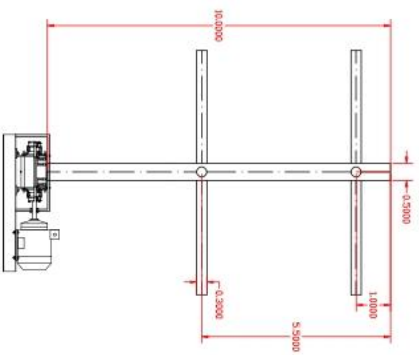
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
 FAKULTAS TEKNOLOGI KILATNYA
 JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

WIND DESIGN

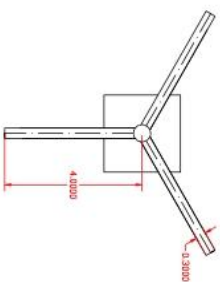
3 BLADE

No.	1	2	3	4	5
Nama	1.143				
Matr.	1430000000				
Des.	1430000000				
Dis.	1430000000				

SIDE VIEW



TOP VIEW



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKALUAN
PROFILE SHAFT VAWT

JUJUR 1.1.19

NO. 11011900000000000000

TEKNIK PERKALUAN

TEKNIK PERKALUAN

TEKNIK PERKALUAN

TOP VIEW

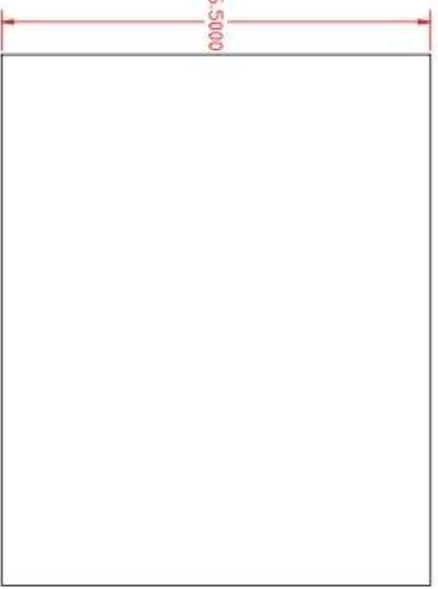


8.0000

A

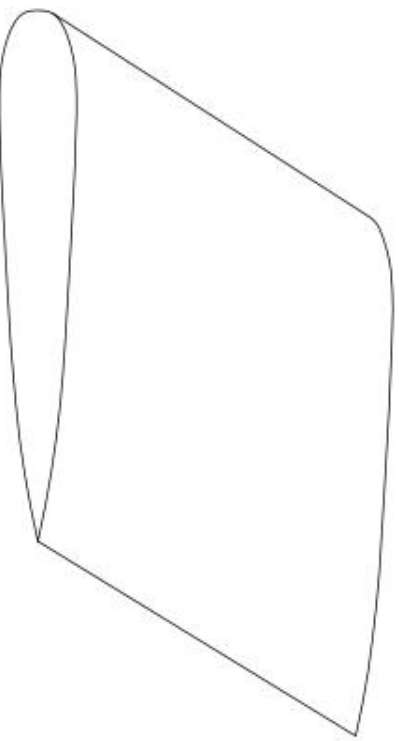
A'

SIDE VIEW



6.5000

3D DESIGN



INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN
JURUSAN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN
PROFILE 1 BLADE

NO. : 110	TEKNIK PERKAPALAN	TEKNIK PERKAPALAN	PERKAPALAN
NO. : 110	TEKNIK PERKAPALAN	TEKNIK PERKAPALAN	PERKAPALAN
NO. : 110	TEKNIK PERKAPALAN	TEKNIK PERKAPALAN	PERKAPALAN



BIODATA PENULIS

Hanif Kurniawan, lahir di Banyuwangi pada tanggal 30 Mei 1994 merupakan anak kedua dari empat bersaudara. Lahir dari ayah yang bernama Mohammad Shodiq dan Ibu bernama Seniyati. Riwayat pendidikan penulis diawali dari SDN 4 Ketapang, Banyuwangi. Penulis melanjutkan pendidikan di SMPN 1 Giri Banyuwangi pada tahun 2006 hingga tahun 2009. Selanjutnya penulis melanjutkan pendidikan di SMAN 1 Glagah Banyuwangi pada tahun 2009 hingga tahun 2012. Lahir ditengah-tengah keluarga yang memiliki *background* didunia maritim membuat penulis memutuskan menempuh pendidikan perguruan tinggi di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya dari tahun 2012 dan tamat pada tahun 2016. Dalam kegiatan dalam bidang akademik, penulis terdaftar sebagai member dari lab *Marine Machinery and System (MMS) Laboratory*. Dalam kegiatan di bidang non-akademik, penulis aktif sebagai staff Department Kesejahteraan Mahasiswa di Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan (HIMASISKAL) FTK-ITS pada kepengurusan tahun 2013-2014 dan menjadi *Steering Committee* Himpunan Mahasiswa Teknik Sistem Perkapalan (HIMASISKAL) FTK-ITS pada tahun 2014-2015. Setelah kurang lebih 4 tahun mendapat binaan dan tempaan dari para dosen, senior, dan teman-teman seangkatan di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, penulis berjanji akan menjadi pribadi yang memiliki kemajuan kearah yang lebih positif, dan bisa berguna bagi keluarga, lingkungan, masyarakat dan negara.

Kontak Penulis: hanif30051994@gmail.com