

SKRIPSI
ANALISIS PENGARUH KEMIRINGAN SUDU TERHADAP
KINERJA KINCIR ANGIN TIPE *ARCHIMEDES SPIRAL* PADA *WIND*
TUNNEL

Disusun dan diajukan oleh

ADAM SYUKUR

D21115320



DEPARTEMEN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR

2021

SKRIPSI
ANALISIS PENGARUH KEMIRINGAN SUDU TERHADAP
KINERJA KINCIR ANGIN TIPE *ARCHIMEDES SPIRAL* PADA *WIND*
TUNNEL

Disusun dan diajukan oleh

ADAM SYUKUR

D211 15 320

**Merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik
Mesin pada Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

DEPARTEMEN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

MAKASSAR

2021

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

ANALISIS PENGARUH KEMIRINGAN SUDU TERHADAP KINERJA KINCIR ANGIN TIPE *ARCHIMEDES SPIRAL* PADA *WIND TUNNEL*

Disusun dan diajukan oleh

ADAM SYUKUR

D211 15 320

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Sarjana Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 30 Maret 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat
kelulusan

Menyetujui

Pembimbing Utama,

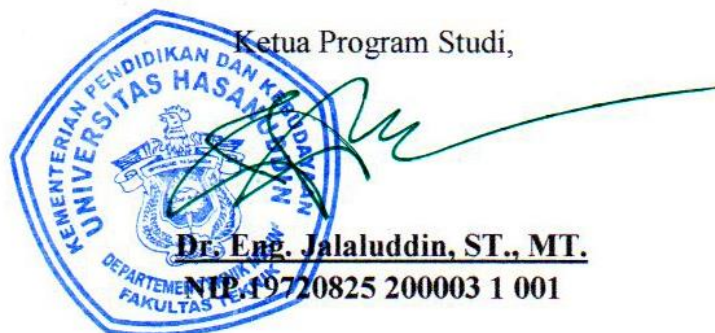
Dr. Ir. Zuryati Djafar, MT.
19680301 199702 2 001

Pembimbing Pendamping,



Prof. Dr-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MSME.
NIP. 19600302 198609 1 001

Ketua Program Studi,



Dr. Eng. Jalaluddin, ST., MT.
NIP. 19720825 200003 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Adam Syukur
NIM : D211 15 320
Program Studi : Departemen Teknik Mesin
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul

*Analisis Pengaruh Kemiringan Sudu Terhadap Kinerja Kincir Angin Tipe
Archimedes Spiral Pada Wind Tunnel*

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa skripsi yang saya tulisan ini benar- benar merupakan karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 30 Maret 2021

Yang menyatakan,



Adam Syukur

DAFTAR RIWAYAT HIDUP

DATA DIRI

Nama : Adam Syukur
Tempat Tanggal Lahir : Tokesan, 04 Maret 1996
Jenis Kelamin : Laki- Laki
Agama : Kristen
Golongan Darah : O
Alamat : Jl. Dirgantara No. 62
Telepon/ Nomor HP : 085397773126
Email : adamsyukur845@gmail.com

RIWAYAT PENDIDIKAN

- SDN 277 INSPRES (2003-2009)
- SMP KRISTEN SANGALLA' (2009-2012)
- SMAN 1 MAKALE (2012-2015)
- UNIVERSITAS HASANUDDIN (2015-2021)

RIWAYAT ORGANISASI

- KMKO MESIN

Abstrak

Energi angin dapat dikonversi ke dalam bentuk energi lain seperti mekanik dengan menggunakan kincir angin. Kincir angin merupakan suatu alat yang mampu mengubah energi angin menjadi energi mekanik. Kincir angin tipe Archimedes spiral merupakan konsep baru dari jenis HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine) yang dirancang menggunakan prinsip model Archimedes spiral. Kincir angin poros horizontal ini dapat ditingkatkan efisiensinya dengan mengubah kemiringan sudutnya.

Objek penelitian dalam tugas ini adalah pengujian performa kincir angin tipe Archimedes spiral dengan variasi kemiringan sudut (45° , 60° , dan 75°) dan pembebanan (75, 100, 125 gram). Pengujian dilakukan didalam wind tunnel dengan memberikan variasi kecepatan angin (3,4,5,6,7, dan 8 m/s).

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Semakin besar kemiringan sudut maka daya yang dihasilkan semakin meningkat sampai pada kemiringan sudut tertentu (60°) maka efisiensi menurun dan daya maksimal diperoleh pada kemiringan sudut 60° , kecepatan angin 7 m/s, dan beban 100 gram yaitu 0,901 watt. Efisiensi terbaik kincir angin tipe *Archimedes spiral* didapat pada kemiringan sudut 60° , kecepatan angin 3m/s, dan beban 100 gram yaitu 70,077%.

Kata Kunci: Kincir angin Archimedes Spiral, Kemiringan sudut, Efisiensi

Abstract

Wind energy can be converted into other forms of energy such as mechanics by using windmills. Windmills are a device capable of converting wind energy into mechanical energy. The Archimedes spiral windmill is a new concept of the HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine) type which is designed using by principle of the Archimedes spiral. The efficiency of this Horizontal Axis Windmill can be increased by changing the angle of the blade.

The object of research in this task is to test the performance of the Archimedes spiral windmill with variations of blade tilt (45°, 60°, and 75°) and load (75, 100, 125 grams). The test was carried out in a wind tunnel by providing variations in wind speed (3,4,5,6,7, and 8 m / s).

The results showed that the maximum power was obtained at a blade slope of 60°, wind speed of 7 m / s, a load of 100 gram of 0.901 watt. The best efficiency of the Archimedes spiral type windmill is obtained at a blade slope of 60°, wind speed of 3 m / s, and load of 100 gram is 70.077%.

Keywords: Archimedes Spiral Wind Mill, blade tilt, Efficiency

KATA PENGANTAR

Syukur Alhamdulillah kita panjatkan kehadiran Allah SWT, karena atas kehendak-Nya tugas akhir ini dapat saya selesaikan dengan baik. Tugas akhir ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Meskipun banyak hambatan dan tantangan yang saya alami selama penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dan kerjasama berbagai pihak, akhirnya saya dapat mengatasi hambatan dan tantangan tersebut. Untuk semua itu, pada kesempatan itu kami dengan tulus mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Kedua orang tua dan saudara-saudara saya tercinta, serta seluruh keluarga atas segala doa restu, cinta kasih, bantuan, nasehat dan motivasinya. Semoga Allah SWT membalasnya.
2. Bapak Prof. Dr.-Ing. Ir. Wahyu H. Piarah., MSME dan Ibu Dr.Ir. Zuryati Djafar., MT selaku Pembimbing I dan II yang telah meluangkan waktu memberikan bimbingan, petunjuk, dan saran selama kami menyelesaikan tugas akhir ini serta pengalaman hidup yang telah Bapak bagi ke saya disela-sela penyelesaian tugas akhir ini, Maaf kalau selama ini terkadang membuat Bapak marah-marah. Kami sadar itu hanya untuk kebaikan saya.
3. Bapak Prof. Dr. Ir. Luther Sule., MT dan Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT. selaku tim penguji yang telah meluangkan waktu memberikan bimbingan, petunjuk, dan saran selama kami menyelesaikan tugas akhir ini.
4. Bapak Dr. Eng. Ir. Jalaluddin, ST., MT. sebagai Ketua Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin beserta seluruh staf Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas segala bantuan dan kemudahan yang diberikan.
5. Seluruh asisten-asisten laboratorium di Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Unhas baik yang masih bertugas maupun yang sudah tidak bertugas lagi.
6. Seluruh pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu yang telah membantu dan mendukung kami dalam menyelesaikan tugas akhir ini.

Penulis telah berusaha semaksimal mungkin agar tugas akhir ini dapat terselesaikan dengan baik, namun keterbatasan kemampuan saya sehingga tugas akhir ini tampil dengan segala kekurangannya. Tiada apapun di dunia ini yang sempurna. Oleh karena itu, saya senantiasa membuka diri terhadap saran dan kritik yang bertujuan untuk penyempurnaan tugas akhir ini. Dan akhirnya semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi ilmu pengetahuan.

Makassar, 30 Maret 2021

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR).....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iv
DAFTAR RIWAYAT HIDUP.....	v
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian.....	4
1.4. Batasan Masalah.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	5
1.6. Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1. Energi Angin	7
2.2. Daya Angin.....	8
2.2.1. Kecepatan Angin.....	8
2.2.2. Profil Geseran Angin (<i>Wind Shear Profile</i>).....	10
2.3. Turbin Angin	11
2.4. Archimedes Spiral Wind Turbine.....	14
2.5. Persamaan yang digunakan	17
2.5.1. Daya ideal angin (P_{input}).....	17
2.5.2. Torsi (T).....	17
2.5.3. Daya Turbin (P_{out}).....	18
2.5.4. Efisiensi Turbin (η).....	18
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	19
3.1. Waktu dan Tempat Penelitian	19

3.2. Metode Penelitian.....	19
3.3. Jadwal Penelitian.....	20
3.4. Peralatan Pengujian.....	20
3.5. Model Uji.....	25
3.6. Prosedur Penelitian.....	25
3.7. Diagram Alir Penelitian.....	27
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	28
4.1. PERHITUNGAN.....	28
4.1.1. Kerapatan Udara.....	28
4.1.2. Daya Ideal Angin (P_{input}).....	28
4.1.3. Torsi (T).....	29
4.1.4. Daya Kincir (P_{output}).....	30
4.1.5. Kinerja Kincir (η).....	30
4.2. PEMBAHASAN.....	31
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	38
5.1. Kesimpulan.....	38
5.2. Saran.....	38
DAFTAR PUSTAKA.....	39
LAMPIRAN.....	40

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Hubungan kecepatan angin terhadap ketinggian tertentu.....	9
Gambar 2. Profil geseran fluida.....	10
Gambar 3. Daya dihasilkan kincir pada kecepatan angin tertentu.....	11

Gambar 4. Daya dan torsi sebagai fungsi putaran pada berbagai kecepatan Angin.....	13
Gambar 5. Archimedes Wind Turbine	15
Gambar 6. Parameter Archimedes Spiral Wind Turbine	16
Gambar 7. Gambar wind tunnel	20
Gambar 8. gambar arduino uno.....	21
Gambar 9. gambar hall effect sensor.....	21
Gambar 10. gambar kabel jumper.....	22
Gambar 11. gambar breadboard.....	22
Gambar 12. Gambar timbangan digital.....	23
Gambar 13. Gambar tali nylon.....	23
Gambar 14. Gambar bola besi.....	24
Gambar 15. Gambar alat pengukur rpm.....	24
Gambar 16. Gambar model uji.....	25
Gambar 17. Mekanisme pembebanan pada kincir	29
Gambar 18. P output vs. v angin (pada beban 100 gram).....	31
Gambar 19. P out vs. putaran (n) pada kecepatan angin 3 m/s	32
Gambar 20. efisiensi vs. v angin (beban 100 gram).....	33
Gambar 21. Efisiensi vs. putaran (pada v angin = 3 m/s)	33
Gambar 22. η kincir vs.kemiringan sudu (beban 100 gram)	34
Gambar 23. η kincir vs. beban (pada kecepatan angin 3 m/s).....	35

Gambar 24. η P input vs. P output (pada pemebanan 100 gram)	35
Gambar 25. Kemiringan sudu vs. Luas permukaan sudu	36
Gambar 26. n vs. P output (beban 100 gram)	36

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Kebutuhan energi di dunia terus meningkat, hal ini terjadi karena disebabkan oleh penambahan penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pola konsumsi energi itu sendiri yang senantiasa meningkat. Salah satu sumber pemasok listrik, PLTA bersama pembangkit listrik tenaga uap (PLTU) dan pembangkit listrik tenaga gas (PLTG) memegang peran penting terhadap ketersediaan listrik terutama di Jawa, Madura, dan Bali (Hipi M.A. dan Ikhsan I., 2011). Kebutuhan energi di Indonesia dari tahun ke tahun semakin meningkat. Hal ini terjadi dikarenakan, bertambahnya jumlah penduduk, pertumbuhan ekonomi dan pemakaian energi yang terus bertambah. Dari data konsumsi energi di Indonesia hingga 2050 seperti pada, laju pertumbuhan kebutuhan energi final sebesar 5,3% per tahun. Untuk itu, kebutuhan energi meningkat dari 795 juta SBM pada tahun 2016 menjadi 4.569 juta pada tahun 2050. Pada tahun 2050, pangsa kebutuhan energi final terbesar adalah bahan bakar minyak (BBM) yakni sebesar 40,1% diikuti oleh listrik (21,3%), gas (17,7%), batubara (11,0%), dan sisanya LPG, bahan bakar nabati (BBN) dan biomassa masing-masing di bawah 4% (Tuapetel J.V dkk, 2019).

Berkurangnya produksi energi fosil terutama minyak bumi serta komitmen global dalam pengurangan emisi gas rumah kaca, mendorong Pemerintah untuk meningkatkan peran energi baru dan terbarukan secara terus menerus sebagai bagian dalam menjaga ketahanan dan kemandirian energi. Sesuai PP No. 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional, target bauran energi baru dan terbarukan pada tahun 2025 paling sedikit 23% dan 31% pada tahun 2050. Indonesia mempunyai potensi energi baru terbarukan (EBT) yang cukup besar untuk mencapai target bauran energi primer tersebut. Total potensi energi terbarukan ekuivalen 442 GW digunakan untuk pembangkit listrik, sedangkan BBM dan Biogas sebesar

200 ribu Bph digunakan untuk keperluan bahan bakar pada sektor transportasi, rumah tangga, komersial dan industri. Pemanfaatan EBT untuk pembangkit listrik tahun 2018 sebesar 8,8 GW atau 14% dari total kapasitas pembangkit listrik (fosil dan non fosil) yaitu sebesar 64,5 GW (Susanto, 2019).

Pada tahun 2016, penggunaan batubara masih mendominasi sebagai bahan bakar pembangkit, yaitu 62% atau sekitar 75 juta ton (315 juta SBM). Untuk bahan bakar fosil lain, seperti gas dan minyak, masing-masing adalah 17% (87 juta SBM) dan 5% (25 juta SBM). Adapun sisanya sebesar 16% (77 juta SBM) diisi oleh bakar yang berasal dari energi baru terbarukan, seperti panas bumi, air, matahari, serta biomassa (Tuapetel J.V dkk, 2019). Energi baru dan terbarukan (EBT) merupakan pengganti dari energi yang berbahan konvensional. Energi terbarukan adalah energi yang tidak dikhawatirkan jumlahnya karena energi ini berasal dari alam yang berkelanjutan. Energi angin merupakan salah satu EBT yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi dengan menggunakan kincir angin atau turbin angin. Energi mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin dapat dimanfaatkan secara langsung atau dikonversi menjadi energi listrik (Tuapetel J.V dkk, 2019).

Energi angin muncul sebagai sumber energi alternatif sekaligus sumber energi terbarukan. Indonesia sebagai Negara kepulauan memiliki wilayah pesisir yang potensial untuk pengembangan listrik tenaga angin (PLTB). Karena sifatnya yang terbarukan (renewable) sudah jelas akan memberikan keuntungan karena angin tidak akan habis digunakan tidak seperti pada penggunaan bahan bakar fosil. Tenaga angin juga merupakan sumber energi yang ramah lingkungan, dimana penggunaannya tidak mengakibatkan emisi gas buang atau polusi yang berarti ke lingkungan (Effendi A. dkk, 2019).

Pada penelitian sebelumnya kincir angin tipe *Archimedes Spiral* dibuat skema dengan diameter kincir 1,5 m, kemiringan sudu 60° , dan jumlah

sudunya 3. Dengan analisis 3D CFD di hasilkan koefisien daya (C_p) adalah 0,25 (Kyung Chun Kim, dkk, 2014).

Pada penelitian sebelumnya model kincir angin tipe *Archimedes Spiral* dibuat dengan diameter 1,5 mm, jumlah sudu 3, dan ketebalan sudu 3 mm. Kemudian di lakukan pengujian pada wind tunnel dengan variasi kecepatan angin 3m/s sampai 11 m/s. Didapatkan hasil bahwa efisiensi terbaik kincir angin tipe *Archimedes Spiral* terjadi pada kecepatan angin antara 3 m/s – 6 m/s dengan efisiensi tertinggi 85% (Ho seong, JI, dkk, 2016).

Tahun 2019 penelitian yang lain melakukan simulasi kemudian divalidasi hasil eksperimen dengan spesifikasi model yang di uji mempunyai diameter rotor 1,5 m, panjang rotor 1,2 m, dan dirancang dengan perkiraan *rate power* 500 Watt pada kecepatan angin 12 m/s. Hasil CFD simulasi menunjukkan efisiensi mekanik 29,3 % dan menghasilkan daya 500 Watt pada kecepatan angin 12,73 m/s. Kemudian di validasi dengan pengujian langsung dan di peroleh eror maksimum pengukuran daya antara simulasi dengan hasil ekperimen adalah 7,8 % ketika kecepatan angin 8,5 m/s (Han D. dkk, 2019).

Oleh karena hasil penelitian sebelumnya baik yang bersifat simulasi maupun yang dilakukan secara eksperimen belum mempertimbangkan kemiringan sudu. Maka, pada penelitian ini akan dilaksanakan secara ekperimental dengan membuat model kincir angin tipe *Archimedes spiral* dengan variasi kemiringan sudu sebagai tugas akhir dengan judul: **ANALISIS PENGARUH KEMIRINGAN SUDU TERHADAP KINERJA KINCIR ANGIN TIPE ARCHIMEDES SPIRAL PADA WIND TUNNEL.**

1.2. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini, yaitu:

1. Bagaimana besar daya output kincir angin tipe *Archimedes spiral*?
2. Bagaimana efisiensi terbaik dari kincir angin tipe *Archimedes spiral*?
3. Bagaimana korelasi antara putaran dan daya kincir angin tipe *Archimedes spiral*?

1.3. Tujuan Penelitian

Ada pun tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini, yaitu:

1. Menentukan daya output kincir angin tipe *Archimedes spiral*
2. Menentukan efisiensi kincir angin tipe *Archimedes spiral*
3. Menentukan korelasi antara putaran dan daya kincir angin tipe *Archimedes spiral*?

Perhitungan di atas dilakukan untuk berbagai variasi kemiringan sudu (45° , 60° , dan 75°), variasi kecepatan angin (3,4,5,6,7, 8 m/s) dan, variasi beban 75, 100, 125 gram.

1.4. Batasan Masalah

Dengan melihat bahwa luasnya permasalahan yang perlu dikaji dan data-data pegujian yang dibutuhkan maka dalam penelitian ini, dibatasi dalam beberapa hal diantaranya adalah:

1. Sudu yang digunakan adalah tipe *Archimedes spiral*
2. Tidak memperhitungkan kekuatan konstruksi
3. Kecepatan angin dalam wind tunnel dianggap uniform seperti keadaan kecepatan angin di alam bebas.

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Bagi Mahasiswa
 - a. Sebagai persyaratan untuk menyelesaikan program sarjana S1 di Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan Sebagai lanjutan penelitian mahasiswa mengenai pemanfaatan energi angin.
 - b. Mengetahui berapa besar kemiringan sudu kincir angin tipe *Archimedes spiral* yang optimal untuk dapat diaplikasikan sebagai pembangkit energi listrik.
2. Bagi Akademik
 - a. Merupakan pustaka tambahan untuk menunjang proses perkuliahan.
 - b. Sebagai referensi dasar untuk dilakukannya penelitian lebih mendalam pada jenjang lebih tinggi.
3. Bagi Masyarakat/industri
 - a. Memberikan solusi terhadap masalah penyediaan energi yang murah dan tidak mencemari lingkungan.
 - b. Sebagai kontribusi positif bagi dunia industri dalam mengurangi penggunaan biaya produksi.

1.6. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika yang digunakan dalam penulisan ini, yaitu sebagai berikut :

BAB I : PENDAHULUAN

Dimaksudkan untuk mengarahkan penulis. Berisi latar belakang penulisan dan penelitian, rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB II : TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini berisikan tentang dasar-dasar teori yang didasarkan dari hasil studi literatur dan jurnal. Pada bab ini akan dijelaskan secara singkat beberapa hal yang terkait dalam penelitian ini.

BAB III : METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini berisi tentang diagram alir penelitian, prosedur pelaksanaan, peralatan yang digunakan, model uji, dan proses-proses lain yang terkait dengan penelitian sampai dengan pengujian.

BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang data-data yang diperoleh selama penelitian dan pembahasan mengenai hasil penelitian kinerja kincir angin tipe *archimedes* spiral.

BAB V : PENUTUP

Berisi tentang kesimpulan yang merupakan jawaban dari tujuan dalam penelitian yang telah dilakukan dan saran yang mungkin dapat bermanfaat untuk penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Energi Angin

Angin adalah udara yang bergerak karena adanya perbedaan tekanan di permukaan bumi ini. Angin akan bergerak dari suatu daerah yang memiliki tekanan tinggi ke daerah yang memiliki tekanan yang lebih rendah. Angin yang bertiup di permukaan bumi ini terjadi akibat adanya perbedaan penerimaan radiasi surya, sehingga mengakibatkan perbedaan suhu udara. Adanya perbedaan suhu tersebut menyebabkan perbedaan tekanan, akhirnya menimbulkan gerakan udara (Habibie M. N., dkk, 2011).

Pandangan lain tentang angin adalah aliran udara yang terdiri dari banyak gas di atmosfer bumi. Rotasi bumi, pemanasan yang tidak merata pada atmosfer serta kondisi permukaan bumi yang tidak rata, merupakan faktor utama yang menyebabkan angin. Energi pada angin oleh manusia dimanfaatkan untuk berbagai keperluan seperti pompa air, sumber pembangkit listrik, dll (Saputra M. Dan Pribadyo, 2015).

Energi angin dapat dikonversi ke dalam bentuk energi lain seperti listrik atau mekanik dengan menggunakan kincir angin atau turbin angin. Oleh karena itu, kincir angin atau turbin angin sering disebut sebagai Sistem Konversi Energi Angin atau di singkat SKEA (Zaidun, R. dan Yamin, M., 2010).

Proses pemanfaatan energi angin dilakukan melalui dua tahapan konversi energi, pertama aliran angin akan menggerakkan rotor (balingbaling) yang menyebabkan rotor berputar selaras dengan angin yang bertiup, kemudian putaran dari rotor dihubungkan dengan generator, dari generator inilah dihasilkan arus listrik (Habibie M. N., dkk, 2011).

2.2. Daya Angin

Daya yang dimiliki oleh angin dapat diperoleh dari persamaan:

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

Dimana:

P = Energi angin (Watt)

ρ = Kerapatan udara (Kg/m^3)

A = Area penangkapan angin (m^2)

v = Kecepatan angin (m/s)

(Himran S., 2019)

Persamaan di atas merupakan sebuah persamaan untuk kecepatan angin pada turbin yang ideal, dimana dianggap energi angin dapat diekstrak seluruhnya menjadi energi listrik. Namun kenyataannya tidak seperti itu. Jadi terdapat faktor efisiensi dari mekanik turbin angin dan efisiensi dari generator sendiri. Sehingga daya yang dapat diekstrak menjadi energi angin dapat diketahui dari persamaan berikut (Himran S., 2019):

$$W_{wt} = \eta_{wt} \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots(2)$$

Dimana:

η_{wt} = efisiensi kincir angin (%)

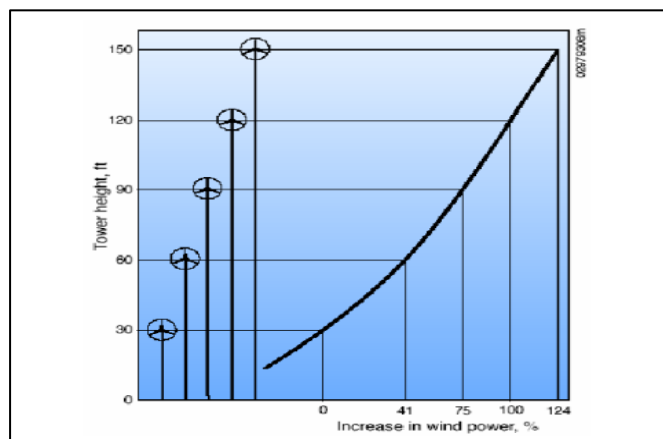
(Himran S., 2019)

2.2.1. Kecepatan Angin

Hal yang biasanya dijadikan patokan untuk mengetahui potensi angin adalah kecepatannya. Biasanya yang menjadi masalah adalah kestabilan kecepatan angin. Sebagaimana diketahui, kecepatan angin akan berfluktuasi terhadap waktu dan tempat. Misalnya di Indonesia, kecepatan angin pada siang hari bisa lebih kencang dibandingkan malam hari. Pada beberapa lokasi bahkan pada malam hari tidak terjadi gerakan udara yang signifikan. Untuk situasi seperti ini, perhitungan kecepatan rata-rata dapat

dilakukan dengan catatan pengukuran kecepatan angin dilakukan secara kontinyu (Hipi M.A. dan Ikhsan I., 2011).

Untuk udara yang bergerak terlalu dekat dengan permukaan tanah, kecepatan angin yang diperoleh akan kecil sehingga daya yang dihasilkan sangat sedikit. Semakin tinggi akan semakin baik. Pada keadaan ideal, untuk memperoleh kecepatan angin di kisaran 5-7 m/s, umumnya diperlukan ketinggian 5-12 m (Hipi M.A. dan Ikhsan I., 2011).



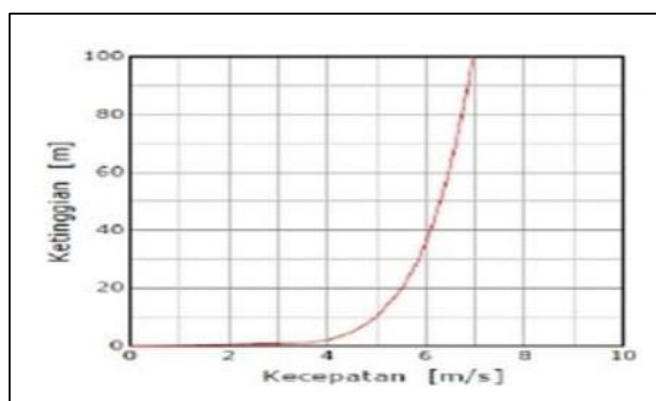
Gambar 1. Hubungan kecepatan angin terhadap ketinggian tertentu
Sumber : gadjamada.edu, 2007

Faktor lain yang perlu diperhatikan untuk turbin angin konvensional adalah desain baling-baling. Untuk baling-baling yang besar (misalnya dengan diameter 20m), kecepatan angin pada ujung baling-baling bagian atas kira-kira 1,2 kali dari kecepatan angin ujung baling-baling bagian bawah. Artinya, ujung baling-baling pada saat di atas akan terkena gaya dorong yang lebih besar daripada pada saat dibawah. Hal ini perlu diperhatikan pada saat mendesain kekuatan baling-baling dan tiang (menara) khususnya pada turbin angin yang besar. Jika kecepatan angin di baling-baling atas dan bawah berbeda secara signifikan, maka yang perlu diperhitungkan selanjutnya adalah pada kecepatan angin berapa turbin angin dapat menghasilkan daya optimal (Himran S., 2019).

Kecepatan angin juga dipengaruhi oleh kontur dari permukaan. Di daerah perkotaan dengan banyak rumah, apartemen dan perkantoran bertingkat, kecepatan angin akan rendah. Sementara kecepatan angin pada daerah lapang lebih tinggi. Kepadatan (porositas) di permukaan bumi akan menyebabkan angin mudah bergerak atau tidak. Faktor porositas ini juga penting untuk diperhatikan ketika mendesain turbin angin (Himran S., 2019).

2.2.2. Profil Geseran Angin (*Wind Shear Profile*)

Angin seperti fluida yang lain pada umumnya mempunyai profil geseran atau profil kecepatan ketika mengalir melewati benda padat, misalnya permukaan bumi. Pada tepat di permukaan bumi, kecepatan relatif angin terhadap permukaan bumi sama dengan nol. Kemudian kecepatan ini menjadi semakin tinggi sebanding ketinggian dari permukaan bumi. Ada dua jenis profil geseran angin yang biasa digunakan untuk menghitung energi, yaitu profil geseran angin eksponensial (*exponential wind shear profile*) dan profil geseran angin kekasaran permukaan (*surface roughness wind shear stress*) (Himran S., 2019).



Gambar 2. Profil geseran fluida
Sumber: *permaculturewest.org, 2010*

Gambar 2. menunjukkan profil geseran fluida eksponensial yang diungkapkan

dengan rumus (Himran S., 2019) berikut:

$$v = v_{ref} \left(\frac{h}{h_{ref}} \right)^\alpha \dots\dots\dots (3)$$

Di mana, v adalah kecepatan pada ketinggian h , v_{ref} dan h_{ref} masing-masing adalah kecepatan dan ketinggian di mana pengukuran dilakukan. Profil ini tergantung pada kekasaran permukaan. Untuk fluida secara umum α mempunyai nilai 1/7. Profil angin pada daerah yang memiliki banyak pepohonan seperti perkebunan atau hutan, nilai α dapat mencapai 0.3, sedangkan untuk laut atau daerah-daerah yang terbuka, α mempunyai nilai 0.1 (Himran S., 2019).

2.3. Turbin Angin

Hal pertama yang diperhatikan dalam desain kincir angin yaitu TSR (*Tip Speed Ratio*) atau perbandingan kecepatan di *tip* (ujung) kincir angin dan kecepatan angin yang didapat oleh kincir. Menghitung TSR (λ) dapat menggunakan persamaan (Himran S., 2019):

$$\lambda = \frac{\omega \cdot R_{rotor}}{v} \dots\dots\dots (4)$$

dimana:

ω = Rotasi putaran kincir angin (Rad/s)

R_{rotor} = Radius rotor kincir angin (m)

v = kecepatan angin (m/s)

(Himran S., 2019)

TSR (λ) memengaruhi kecepatan putaran kincir angin (rpm). Hubungan TSR dengan kecepatan yaitu:

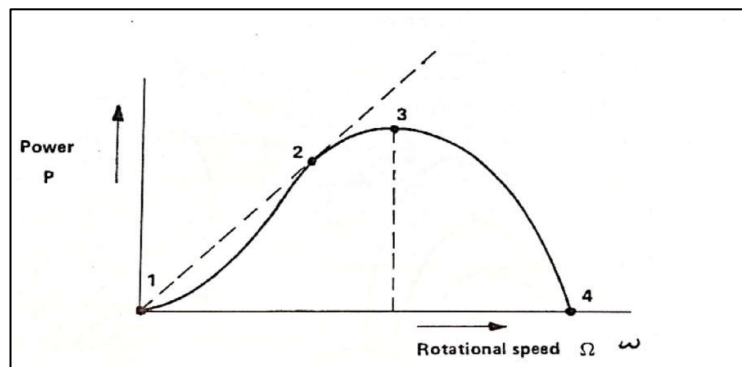
$$\text{Shaftspeed} = 60\lambda v / (\pi D) \text{ rpm} \dots\dots\dots (5)$$

Dimana:

D = Diameter rotor (m)

(Himran S., 2019)

Suatu rotor kincir dapat mengerkstraksi daya dari angin karena rotor tersebut menurunkan kecepatan angin tidak terlalu banyak maupun tidak terlalu rendah. Suatu rotor yang diam, tidak menghasilkan daya sama sekali demikian pula rotor tersebut berputar sangat cepat, udara diblok secara sempurna oleh rotor (rotor bersifat sebagai piringan pejal). Dalam hal ini tidak ada daya yang dihasilkan oleh kincir. Diantara kedua harga ekstrim ini terjadi putaran optimum dimana daya yang diekstraksi adalah maksimum (Himran S., 2019). Hal ini terlihat pada gambar 3.



Gambar 3. Daya dihasilkan kincir pada kecepatan angin tertentu.
 Sumber: Himran, Syukri (2019)

$$P = T \cdot \omega \dots\dots\dots (6)$$

Dimana:

T = torsi (Nm)

ω = kecepatan angular (rad/s)

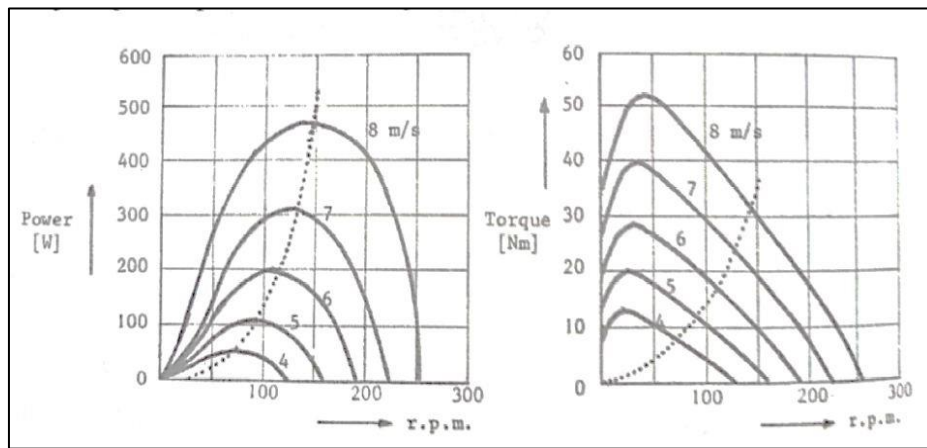
P = daya (Watt)

(Himran S., 2019)

Dari hubungan ini diperoleh gambar 3. Karena $T = P/\omega$ maka torsi adalah sama dengan garis melalui titik awal dan salah satu titik pada kurva P- ω . Tangens ini mempunyai harga terbesar bila garis menyinggung kurva

tersebut. Oleh karena itu, nilai torsi maksimum dicapai pada putaran lebih rendah dari putaran daya maksimum (Himran S., 2019).

Seperti diketahui ternyata energi kinetik yang dimiliki angin tidak seluruhnya dapat dikonversikan menjadi gaya mekanik (dengan adanya komponen gaya seret yang mengurangi komponen gaya angkat). Dengan demikian terjadi kerugian daya dan perbandingan antara daya yang dihasilkan dimiliki angin disebut koefisien daya (C_p) (Himran S., 2019).



Gambar 4. Daya dan torsi sebagai fungsi putaran pada berbagai kecepatan angin
 Sumber : Himran, Syukri, (2019)

Bila kecepatan angin bertambah maka daya dan torsi bertambah. Pada gambar 4 terlihat kurva daya dan torsi terhadap putaran pada berbagai kecepatan angin. Pada gambar 4.a kurva-kurva daya pada kecepatan angin bertambah secara linear. Untuk maksud penyederhanaan, daya, torsi dan putaran dikelompokkan dalam relasi berikut :

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho A V^3} \dots\dots\dots (7)$$

(Himran S., 2019)

Hal tersebut terjadi pula pada torsi, sehingga koefisien torsi:

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho A V^2 R} \dots\dots\dots (8)$$

(Himran S., 2019)

Jika didefinisikan bahwa tip speed ratio (λ) adalah perbandingan antara kecepatan linier rotor dengan kecepatan angin sebelum sudu atau ditulis secara matematik:

$$\gamma = \frac{\omega R}{v} \dots\dots\dots (9)$$

(Himran S., 2019)

Maka dengan hubungan persamaan diatas maka didapatkan persamaan :

$$CT = \frac{C_p}{\gamma} \dots\dots\dots (10)$$

(Himran S., 2019)

Secara empiris besarnya koefisien torsi star ($C_{T \text{ star}}$)

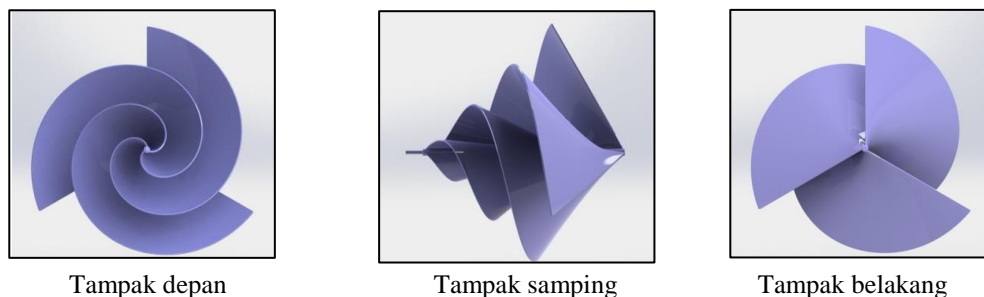
$$CT = C_{T \text{ star}} = \frac{0,5}{(\gamma \cdot d)^2} \dots\dots\dots (11)$$

(Himran S., 2019)

2.4. Archimedes Spiral Wind Turbine

Kincir angin tipe *Archimedes spiral* merupakan konsep baru dari jenis HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine) yang dirancang menggunakan prinsip *Archimedes spiral* seperti yang di tunjukkan pada gambar 5. Tidak seperti HAWT pada umumnya yang hanya memanfaatkan gaya *lift* untuk memperoleh energi angin, Kincir angin tipe *Archimedes spiral* memanfaatkan gaya *lift* dan gaya *drag*. Struktur yang berbeda ini menentukan karakteristik

aerodinamis khusus pada turbin angin skala kecil. Secara khusus, keunggulan dari struktur *Archimedes spiral* akan tampak lebih jelas pada beberapa keadaan, seperti di sekitar bangunan, karena turbin angin akan beroperasi pada kecepatan angin yang rendah. Arah angin di lingkungan perkotaan berubah-ubah tetapi turbin angin Archimedes mengikuti arah angin secara otomatis karena YAW dikendalikan secara pasif karena adanya gaya *drag*. Keuntungan lainnya termasuk kebisingan rendah karena kecepatan rotasi relatif rendah (Kim C.K. dkk, 2014).



Gambar 5. Archimedes Wind Turbine
Sumber: Yogesh P., 2018

Untuk mendesain sebuah Kincir angin tipe *Archimedes spiral* ada beberapa parameter yang harus di perhatikan. Persamaan aerodinamis untuk memprediksi torsi yang berkaitan dengan kecepatan angular telah diperkirakan menggunakan empat asumsi, yaitu:

- a. Aliran *Incompressible* dan *steady*,
- b. Fluida yang bergerak ke volume atur sejajar dengan sumbu rotasi,
- c. Kuantitas aliran massa di tiga keluaran selalu sama antara keluaran satu dengan yang lain,
- d. Kecepatan relatif keluaran harus konstan dan arah kecepatan sejajar dengan arah tangensial pada ujung sudu

(Kim C.K. dkk, 2014).

Berdasarkan empat asumsi diatas maka berlaku persamaan sebagai berikut:

$$\dot{m}_{in} = \dot{m}_{out} \dots\dots\dots (12)$$

Dimana:

\dot{m}_{in} = laju aliran massa udara masuk volume atur (kg/s)

\dot{m}_{out} = laju aliran massa udara keluar volume atur (kg/s)

$$\dot{m}_{in} = \rho U_{\infty} \sin \gamma \cdot \pi \left(\frac{R_1 + R_2}{2} \right) S_1 \dots\dots\dots (13)$$

Dimana:

ρ = massa jenis udara (kg/m³)

U_{∞} = kecepatan aliran bebas (m/s)

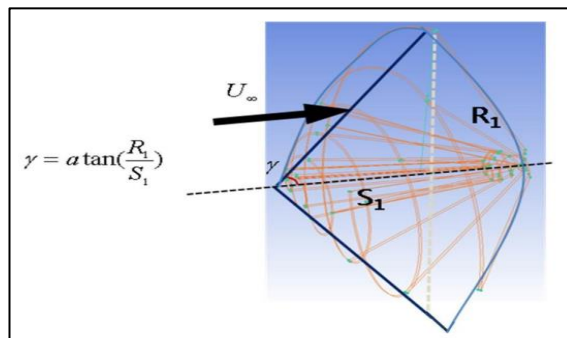
γ = sudut antara poros dengan ujung blade

R_1 = jarak vertikal pada ujung keluaran blade terhadap sumbu rotasi (m)

R_2 = jarak vertikal pada ujung masuk blade terhadap sumbu rotasi (m)

S_1 = jarak horisontal antara ujung depan blade dengan ujung blade belangan (Kim C.K. dkk, 2014).

Untuk lebih jelasnya mengenai beberapa parameter diatas dapat di tunjukkan pada gambar 6.



Gambar 6. Parameter Archimedes Spiral Wind Turbine
 Sumber: Kim C.K. dkk, 2014.

2.5. Persamaan yang digunakan

2.5.1. Daya ideal angin (P_{input})

Energi yang dimiliki oleh angin dapat diperoleh dari persamaan :

$$P_{input} = \frac{1}{2} \rho A v \dots\dots\dots (14)$$

Dimana:

P_{input} = Daya ideal angin (Watt)

ρ = Densitas udara (kg/m^3)

v = Kecepatan angin (m/s)

(Himran S., 2019)

2.5.2. Torsi (T)

Torsi dapat diperoleh dengan menggunakan system pengeremam dengan menggantungkan beban pada pulley yang berputar. Atau dengan persamaan:

$$T = F \cdot r \dots\dots\dots (15)$$

Dimana:

T = Torsi (Nm)

F = Gaya (N)

r = Jari-jari pulley (m)

(Tuapetel J.V dkk, 2019)

2.5.3. Daya Turbin (P_{out})

Daya turbin merupakan output dari daya angin, daya kincir dapat diperoleh dengan persamaan;

$$P_{output} = T \cdot \omega \dots\dots\dots (16)$$

Dimana:

P_{output} = Daya kincir (Watt)

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

(Tuapetel J.V dkk, 2019)

2.5.4. Efisiensi Turbin (η)

Oleh karena itu untuk menghitung efisiensi turbin maka digunakan persamaan berikut:

$$\eta = \frac{P_{output}}{P_{input}} \cdot 100\% \dots\dots\dots (17)$$

(Tuapetel J.V dkk, 2019)