



**PENGARUH SUDUT PUNTIR DAN KEMIRINGAN
SUDUT BILAH TERHADAP DAYA PADA TURBIN
ANGIN SUMBU HORIZONTAL**

Skripsi

**Diajukan sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar
Sarjana Program Studi Teknik Mesin**

Oleh

Febby Shofan Setiawan

NIM.5212414067

**TEKNIK MESIN
JURUSAN TEKNIK MESIN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG
2020**

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama : Febby Shofan S.

NIM : 5212414067

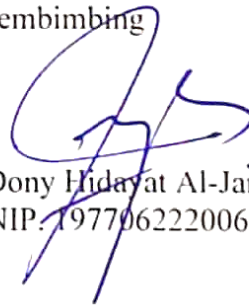
Program Studi : Teknik Mesin

Judul : Pengaruh Sudut Puntir Dan Kemiringan Sudut Bilah Terhadap Daya Pada Turbin Angin Sumbu Horizontal

Skripsi ini telah disetujui oleh pembimbing untuk diajukan ke sidang panitia ujian Skripsi Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.

Semarang, 16 Oktober 2020

Pembimbing



Dony Hidayat Al-Janan S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197706222006041001

LEMBAR PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Pengaruh Sudut Puntir dan Kemiringan Sudut Bilah Terhadap Daya pada Turbin Angin Sumbu Horizontal telah dipertahan di depan Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal:

Oleh

Nama : Febby Shofan Setiawan
NIM : 5212414067
Program Studi : Teknik Mesin S1

Panitia:

Ketua



Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 19740321199031002

Panitia Sekretaris



Samsudin Anis, S.T., M.T. Ph. D.
NIP, 197601012003021002

Penguji I



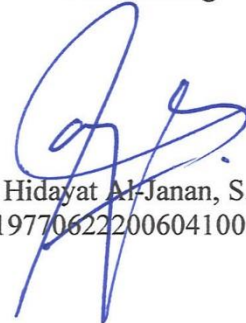
Karnowo, S.T., M.Eng.
P. 197706062005011001

Penguji II



Widya Anyadi, S.T., M.Eng.
NIP. 197209101999031001

Pembimbing



Dony Hidayat Al-Janan, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197706222006041001

Mengetahui,



Dr. Nur Qudus, M.T., IPM
NIP. 196911301994031001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik sarjana Universitas Negeri Semarang Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan dari pihak lain kecuali arahan pembimbing dan masukan tim penguji
2. Karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain kecuali tertulis secara jelas dengan dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka
3. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran, maka saya bersedia menerima sanksi akademik berupa pencabutan gelar yang telah diperoleh karena karya ini, serta sanksi lainnya sesuai norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Semarang, 30 April 2020

Penulis,



Febby Shofan Setiawan
NIM. 5212414067

MOTTO

Do the best and pray
God will take care of the rest

SARI

Setiawan, F. S. 2020. Pengaruh Sudut Puntir dan Kemiringan Sudut Bilah Terhadap Daya pada Turbin Angin Sumbu Horizontal. Dony Hidayat Al-Janani, S.T., M.T., Ph.D. Program Studi Teknik Mesin.

Ketergantungan akan energi fosil sebagai kebutuhan dasar manusia menimbulkan dampak yang negatif, oleh karena itu sekarang ini banyak yang mencari energi alternatif yang lebih ramah lingkungan, salah satunya yaitu turbin angin. Untuk mendapatkan performa yang optimal penting untuk menguji bilah dalam turbin angin, hal itu dikarenakan bilah yang kontak langsung dengan angin.

Metode yang digunakan yaitu dengan melakukan pengujian menggunakan *wind tunnel*. Menggunakan tujuh variasi kecepatan angin. Bilah yang digunakan yaitu *airfoil* NACA 3612. Sudut puntir (*twist*) yang digunakan yaitu 0° , 20° , 40° dan sudut kemiringan bilah (*pitch*) yang digunakan 0° , 15° , dan 30° .

Hasil penelitian menunjukkan pada sudut kemiringan 0° dengan sudut puntir 20° menghasilkan daya mekanikal tertinggi yaitu 19,28 watt yang berputar pada 877,4 rpm, turbin menghasilkan efisiensi sebesar 45,4% dengan nilai TSR 5,63 pada kecepatan angin 5,71 m/s turbin tersebut diuji menggunakan *prony brake*.

Kunci: pitch angle, twist angle, turbin angin, prony brake.

PRAKATA

Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul Pengaruh Sudut Puntir dan Kemiringan Sudut Bilah Terhadap Daya pada Turbin Angin Sumbu Horizontal. Skripsi ini disusun sebagai salah satu persyaratan meraih gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S1 Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.

Penyelesaian karya tulis ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih serta penghargaan kepada:

1. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu mendoakan serta memberikan dukungan maupun motivasi.
2. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang.
3. Dr. Nur Qudus, M.T, Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
4. Rusiyanto, S.PD, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
5. Samsudin Anis S.T., M.T.,Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin S1 Universitas Negeri Semarang.
6. Dony Hidayat Al-Janan S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang penuh perhatian serta memberikan bimbingan, memberikan motivasi hidup, memberikan ketenangan batin, dan memberi kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan skripsi.
7. Dr. Karnowo, S.T., M.T. dan Widya Aryadi, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji skripsi.
8. Teman-teman Program Studi Teknik Mesin angkatan 2014 yang telah membantu, memberikan semangat dan saran dalam pembuatan skripsi ini.
9. Semua pihak yang telah memberi bantuan untuk pembuatan skripsi ini yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi masih ini memiliki banyak kekurangan yang disebabkan keterbatasan kemampuan dan pengetahuan penulis. Oleh karena itu penulis mengharapkan kritik dan saran agar skripsi ini dapat disusun lebih baik.

Semarang, 8 November 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN PEMBIMBING	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iv
MOTTO	v
SARI.....	vi
PRAKATA.....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xiv
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Rumusan Masalah.....	3
1.5 Tujuan Penelitian	3
1.6 Manfaat Penelitian	3
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	4
2.1 Kajian Pustaka	4
2.2 Landasan Teori	6
2.2.1 Energi angin	6
2.2.2 Teori momentum element Betz.....	7
2.2.3 Turbin angin	7
2.2.4 <i>Tip speed ratio</i> (TSR).....	12
2.2.5 Bilah	13
2.2.6 <i>Airfoil</i>	16
2.2.7 Torsi	18
BAB III METODE PENELITIAN.....	19
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian.....	19

3.1.1	Waktu penelitian	19
3.1.2	Tempat penelitian	19
3.2	Metodologi Penelitian.....	19
3.2.1	Desain penelitian	19
3.2.2	Skema alat penelitian	21
3.3	Alat dan Bahan Penelitian.....	22
3.3.1	Alat penelitian`	22
3.3.2	Bahan penelitian	26
3.4	Parameter Penelitian	28
3.5	Teknik Pengumpulan Data.....	28
3.6	Kalibrasi Instrumen.....	31
3.7	Teknik Analisis Data	31
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		32
4.1	Deskripsi Data.....	32
4.1.1	Hasil pengukuran kecepatan angin.....	32
4.1.2	Hasil pengukuran daya angin.	32
4.1.3	Hasil pengukuran putaran bilah.....	33
4.1.4	Hasil pengukuran tegangan.	33
4.1.5	Hasil pengukuran arus.....	33
4.1.6	Hasil pengukuran putaran bilah menggunakan <i>prony brake</i>	34
4.1.7	Hasil pengukuran tegangan menggunakan <i>prony brake</i>	34
4.1.8	Hasil pengukuran arus menggunakan <i>prony brake</i>	35
4.1.9	Hasil perhitungan daya.....	35
4.1.10	Hasil perhitungan TSR.	35
4.1.11	Hasil perhitungan Cp.....	36
4.1.12	Hasil perhitungan daya menggunakan <i>prony brake</i>	36
4.1.13	Hasil perhitungan TSR menggunakan <i>prony brake</i>	37
4.1.14	Hasil perhitungan Cp menggunakan <i>prony brake</i>	37
4.1.15	Hasil perhitungan torsi.	37
4.1.16	Hasil perhitungan daya mekanikal.	38
4.2	Pembahasan	38
4.2.1	Hubungan kecepatan angin dengan putaran bilah (rpm).....	39

4.2.2	Hubungan kecepatan angin dengan daya	41
4.2.3	Hubungan efisiensi (C_p) dengan TSR.....	43
4.2.4	Hubungan kecepatan angin dengan torsi.....	45
BAB V PENUTUP.....		47
5.1	Kesimpulan	47
5.2	Saran	48
DAFTAR PUSTAKA		49
LAMPIRAN.....		52

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1. Hasil pengukuran kecepatan angin	29
Tabel 3.2. Hasil pengukuran kuat arus.....	29
Tabel 3.3. Pengukuran tegangan.	29
Tabel 3.4. Hasil perhitungan daya.....	30
Tabel 4.1. Hasil pengukuran kecepatan angin	32
Tabel 4.2. Hasil pengukuran daya angin.....	32
Tabel 4.3. Hasil pengukuran putaran bilah	33
Tabel 4.4. Hasil pengukuran tegangan.....	33
Tabel 4.5. Hasil pengukuran arus.....	33
Tabel 4.6. Hasil pengukuran putaran bilah menggunakan <i>prony brake</i>	34
Tabel 4.7. Hasil pengukuran tegangan menggunakan <i>prony brake</i>	34
Tabel 4.8. Hasil pengukuran arus menggunakan <i>prony brake</i>	35
Tabel 4.9. Hasil perhitungan daya.....	35
Tabel 4.10. Hasil perhitungan TSR.....	35
Tabel 4.11. Hasil perhitungan Cp	36
Tabel 4.12. Hasil perhitungan daya menggunakan <i>prony brake</i>	36
Tabel 4.13. Hasil perhitungan TSR menggunakan <i>prony brake</i>	37
Tabel 4.14. Hasil perhitungan Cp menggunakan <i>prony brake</i>	37
Tabel 4.15. Hasil perhitungan torsi	37
Tabel 4.16. Hasil perhitungan daya mekanikal	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Kondisi aliran yang disebabkan oleh energi mekanik dari aliran bebas udara, berdasarkan teori momentum elemen.	7
Gambar 2.2. Klasifikasi Turbin Angin.....	8
Gambar 2.3. Turbin angin vertikal.....	9
Gambar 2.4. Turbin angin horizontal.....	10
Gambar 2.5. Energi angin yang dapat di ekstrak turbin angin.....	12
Gambar 2.6. Variasi TSR dan Cp dari berbagai jenis turbin.	13
Gambar 2.7. Macam-macam Jenis Bilah	14
Gambar 2.7. Macam-macam Bentuk Bilah Elemen kecepatan pada bilah	15
Gambar 2.7. Gaya <i>Lift</i> , <i>Drag</i> , dan <i>Pitching Moment</i>	17
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	20
Gambar 3.2. Variasi Sudut Puntir Bilah	21
Gambar 3.3. Skema Alat Penelitian	21
Gambar 3.4. Laptop.....	22
Gambar 3.5. Gergaji.....	22
Gambar 3.6. Mesin Bor.....	23
Gambar 3.7. Gerinda.....	23
Gambar 3.8. Blower	23
Gambar 3.9. Anemometer	24
Gambar 3.10. Generator.....	24
Gambar 3.11. Multimeter.....	25
Gambar 3.12. Neraca <i>Digital</i>	25
Gambar 3.13. <i>Prony Brake</i>	25
Gambar 3.14. Kayu lapis.....	26
Gambar 3.15. Lem Kertas dan Epoxy.....	26
Gambar 3.16. Besi diameter 4 mm.....	27
Gambar 3.17. Kertas	27
Gambar 3.18. Besi Siku Berlubang.....	27
Gambar 3.19. Mur dan Baut.....	28

DAFTAR LAMPIRAN

Lampran 1. Perhitungan perancangan bilah.....	52
Lampran 2. Pengukuran kecepatan angin pada dimmer	54
Lampran 3. Hasil pengukuran dan perhitungan tanpa <i>prony brake</i>	55
Lampran 4. Hasil pengukuran dan perhitungan menggunakan <i>prony brake</i>	60
Lampran 5. Variasi sudut puntir (<i>twist</i>) dan kemiringan sudut bilah (<i>pitch</i>)	66

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi adalah kebutuhan dasar manusia, kebutuhan energi akan mengalami peningkatan seiring berkembangnya ekonomi dan jumlah penduduk (Kholik, 2015:76). Lebih dari 86% dari energi dunia sekarang ini terbuat dari bahan bakar fosil, yang sebenarnya bahan bakar fosil dapat menimbulkan dampak negatif bagi lingkungan seperti polusi udara, efek rumah kaca, dan pemanasan global. Ketergantungan kepada energi fosil tersebut mengakibatkan energi fosil yang ada saat ini menjadi berkurang dan lama-lama akan habis (Wiratama *et al.*, 2014:110).

Komposisi konsumsi energi nasional saat ini adalah BBM 52,50%, Gas 19,04%, Batubara 21,52%, Air 3,73%, Panas Bumi 3,01%, dan Energi Baru 0,2% (Kholik, 2015:76). Peningkatan kebutuhan listrik tersebut diperkirakan dapat tumbuh rata-rata 6.5% per tahun hingga tahun 2020. Konsumsi listrik yang begitu besar akan menimbulkan masalah jika dalam penyediaannya tidak sejalan dengan kebutuhan (Sifa *et al.*, 2014:166).

Dengan banyak dampak yang ditimbulkan oleh energi fosil, sekarang ini banyak negara yang mencari energi alternatif yang lebih ramah lingkungan sehingga dapat mengurangi ketergantungan terhadap energi fosil salah satunya yaitu dengan memanfaatkan energi angin (Sarwanto *et al.*, 2016:837) Angin adalah sumber daya alam yang dapat diperbaharui (*renewable*). Berbeda dengan sumber

daya alam yang berasal dari fosil seperti minyak dan gas yang ketersediaanya terbatas (Ismail dan Arrahman, 2017:10).

Turbin angin adalah energi terbarukan yang memanfaatkan energi angin sebagai mekanisme gerak untuk mengubah energi mekanik menjadi energi listrik (Irfandi dan Djamari, 2013:52). Untuk mendapatkan performa yang optimal penting untuk menguji bilah dalam turbin angin, hal itu dikarenakan bilah yang kontak langsung dengan angin (Sifa *et al.*, 2014:168). Maka dari itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh sudut puntir dan kemiringan sudut bilah terhadap daya pada turbin angin sumbu horizontal.

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka kemudian ditentukan beberapa batasan masalah sebagai berikut:

- a. Penggunaan energi fosil dapat menimbulkan dampak negatif pada lingkungan.
- b. Penggunaan energi fosil secara terus menerus mengakibatkan menipisnya ketersediaan energi dan lama kelamaan akan habis.
- c. Ketersediaan energi yang tidak sejalan dengan kebutuhan energi.

1.3 Batasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah tersebut kemudian ditentukan beberapa batasan masalah yaitu.

- d. Alat yang digunakan di penelitian ini adalah *prototype* turbin angin sumbu horizontal skala laboratorium dengan diameter 0,7 m.
- e. Jenis bilah yang digunakan adalah jenis *taper* dengan *airfoil* NACA 3612.

- f. Hasil daya maksimal yang dapat dari perancangan adalah 12 W.
- g. Bilah yang digunakan dalam penelitian ini berjumlah tiga dengan berat masing-masing 41,3 gr.
- h. Variasi sudut puntir (*twist*) yang digunakan yaitu 0°, 20°, 40°.
- i. Variasi kemiringan sudut bilah (*pitch*) yang digunakan yaitu 0°, 15°, dan 30°.
- j. Menggunakan 7 variasi kecepatan angin untuk pengujian performa turbin angin.
- k. Pengujian turbin angin dilakukan di laboratorium menggunakan *wind tunnel*.
- l. Dalam penelitian ini pengujian diberi pembebanan LED dan resistor 1Ω.

1.4 Rumusan Masalah

- a. Bagaimana pengaruh variasi sudut puntir dan kemiringan sudut bilah terhadap daya *output* turbin angin?
- b. Berapa daya tertinggi yang didapat pada penelitian?

1.5 Tujuan Penelitian

- a. Untuk mengetahui perbedaan pengujian turbin angin dengan dan tanpa menggunakan *prony brake*?
- b. Untuk mengetahui daya tertinggi yang didapat pada penelitian?

1.6 Manfaat Penelitian

- a. Memberikan gambaran untuk pemilihan sudut puntir dan kemiringan sudut bilah turbin angin sumbu horizontal.
- b. Diharapkan dapat memberi hasil penelitian untuk memperbanyak referensi yang sudah ada.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Banyak peneliti sudah melakukan penelitian tentang pengaruh sudut puntir maupun kemiringan sudut bilah terhadap turbin angin sumbu horizontal oleh peneliti terdahulu. Adapun penelitian tersebut yaitu.

Pramana *et al.*, (2014) membuat pemodelan turbin angin sumbu horizontal dengan sudut *blade pitch* aktif dimana sudut *blade pitch* otomatis bergerak menyesuaikan energi dari angin yang datang. Metode tersebut digunakan untuk menjaga kecepatan rotor tetap stabil sehingga dapat menghasilkan *output* yang stabil. Servomotor digunakan sebagai aktuator untuk mengatur pergerakan dari *blade*.

Wijendra dan Ansori, (2017) meneliti kemiringan sudut baling-baling dan kecepatan angin terhadap performa turbin angin sumbu horizontal. Sedangkan sudut bilah yang diteliti yaitu 0° , 15° dan 30° dengan berbagai variasi kecepatan angin. Dari tiga variasi sudut berdasarkan pengujian perbedaan kecepatan angin, bilah dengan sudut 15° menghasilkan *Pin*, *Pout* dan efisiensi tertinggi. Kecepatan angin tertinggi 5.49 m/s menghasilkan *Pin* 122.03 W, *Pout* 9.76 W dan efisiensi mencapai 8%.

Faqihuddin *et al.*, (2014) meneliti turbin angin sumbu horizontal dengan tiga bilah *airfoil* yang berdiameter 70 cm. Hasil penelitian menunjukkan model turbin angin dengan sudut *pitch* 10° bekerja lebih baik. Dengan kecepatan angin

3.23 m/s turbin menghasilkan daya maksimum 1.673 W pada 561 rpm dengan $c_p=0.21$ dan $\lambda=6.3$.

Thumthae dan Chitsomboon, (2009) melakukan simulasi *numeric* turbin angin sumbu horizontal (TASH) dengan bilah *untwist* dilakukan untuk menentukan sudut serang optimal yang menghasilkan *output* daya tertinggi. Percobaan *numeric* kemudian dilakukan dengan memvariasikan sudut *pitch* dan kecepatan angin. *Output* daya mencapai maksimum pada sudut *pitch*: 4.12, 5.28, 6.66 dan 8.76 untuk kecepatan angin masing-masing 7.2, 8.0, 9.0 dan 10,5 m/s.

Saha dan Rajkumar, (2006) meneliti tentang sudut puntir bilah savonius rotor untuk pembangkit listrik. Bilah dengan sudut puntir diuji dengan terowongan angin kecepatan rendah, dan kinerjanya dibandingkan dengan bilah setengah lingkaran konvensional (sudut puntir 0°). Analisis yang diambil yaitu karakteristik saat rotor mulai berputar, torsi statis, dan kecepatan rotasi. Bukti eksperimen menunjukkan potensi bilah dengan sudut puntir memiliki efisiensi lebih tinggi dan memiliki kemampuan *startup* lebih cepat dibandingkan dengan rotor berbilah konvensional.

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Energi angin

Angin yaitu udara yang bergerak dari daerah dengan tekanan tinggi ke daerah tekanan rendah. Perbedaan tekanan udara tersebut disebabkan oleh pemanasan atmosfer oleh sinar matahari yang tidak merata sehingga menyebabkan perbedaan suhu udara (Sifa *et al.*, 2014:167).

Udara sendiri memiliki massa (m) dan bergerak dengan kecepatan (v) yang menghasilkan energi kinetik (Sumiati dan Zamri, 2013:2). Persamaan energi kinetik ditunjukkan pada rumus (2.1) (Hidayatulla dan Ningrum, 2016:7).

$$E = \frac{1}{2}mv^2 \dots\dots\dots 2.1$$

Dimana: E = kinetik angin (joule)

m = massa angin (kg)

v = kecepatan angin (m/s)

Jumlah massa udara dengan kerapatan ρ yang bergerak melewati suatu luasan dalam satuan waktu dapat dihitung dengan rumus (2.2).

$$m = \rho v A \dots\dots\dots 2.2$$

Sehingga energi kinetik (daya angin) yang terkandung dalam angin dapat ditunjukkan oleh persamaan (2.3).

$$P_{\text{angin}} = \frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}\rho Av^3 \dots\dots\dots 2.3$$

Dimana: P = daya angin (watt)

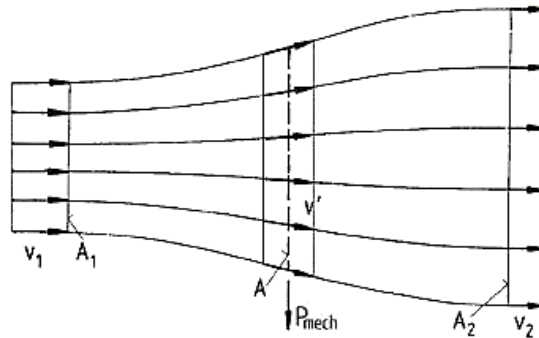
ρ = massa jenis udara (1,255 kg/m³)

A = luasan yang dilalui (m²)

v = kecepatan angin (m/s)

2.2.2 Teori momentum element Betz

Teori momentum element Betz sederhana digambarkan dengan model aliran dua dimensi angin yang melewati rotor menggambarkan prinsip konversi energi angin pada turbin angin seperti gambar (2.4). Kecepatan aliran udara berkurang dan garis aliran membelok ketika melewati rotor. Berkurangnya total energi diakibatkan karena putaran rotor menghasilkan perubahan kecepatan angin pada arah tangensial.



Gambar 2.1. Kondisi aliran yang disebabkan oleh energi mekanik dari aliran bebas udara, berdasarkan teori momentum elemen.
(Sumber Aryanto *et al.*, 2013:52)

Besar efisiensi maksimum dari turbin angin adalah.

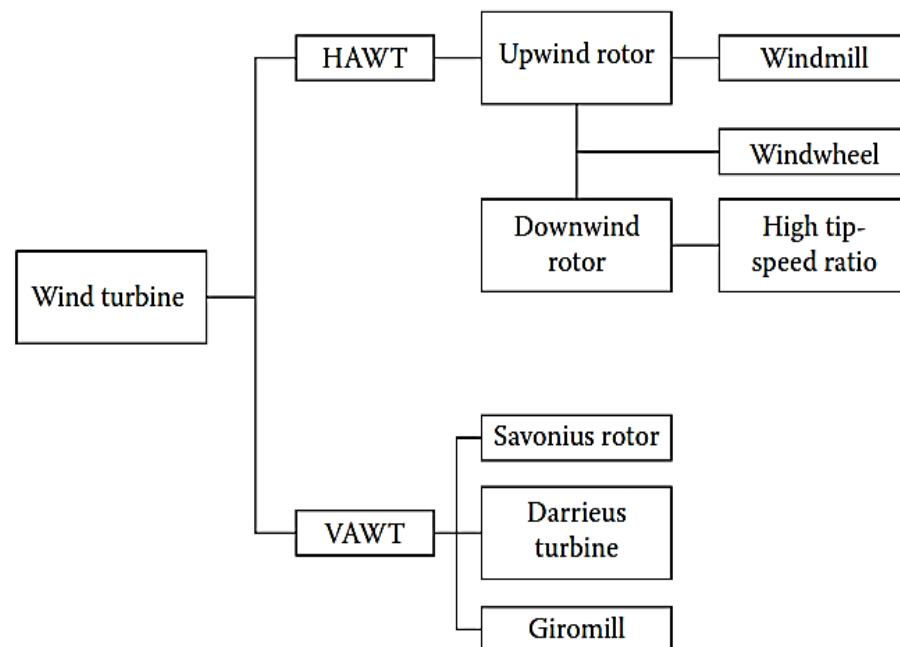
$$C_p = \frac{16}{27} = 0.593 \dots \dots \dots 2.4$$

Dengan demikian turbin angin tidak dapat mengkonversi lebih dari 60% tenaga total angin yang bisa dimanfaatkan untuk tenaga (Aryanto *et al.*, 2013:52).

2.2.3 Turbin angin

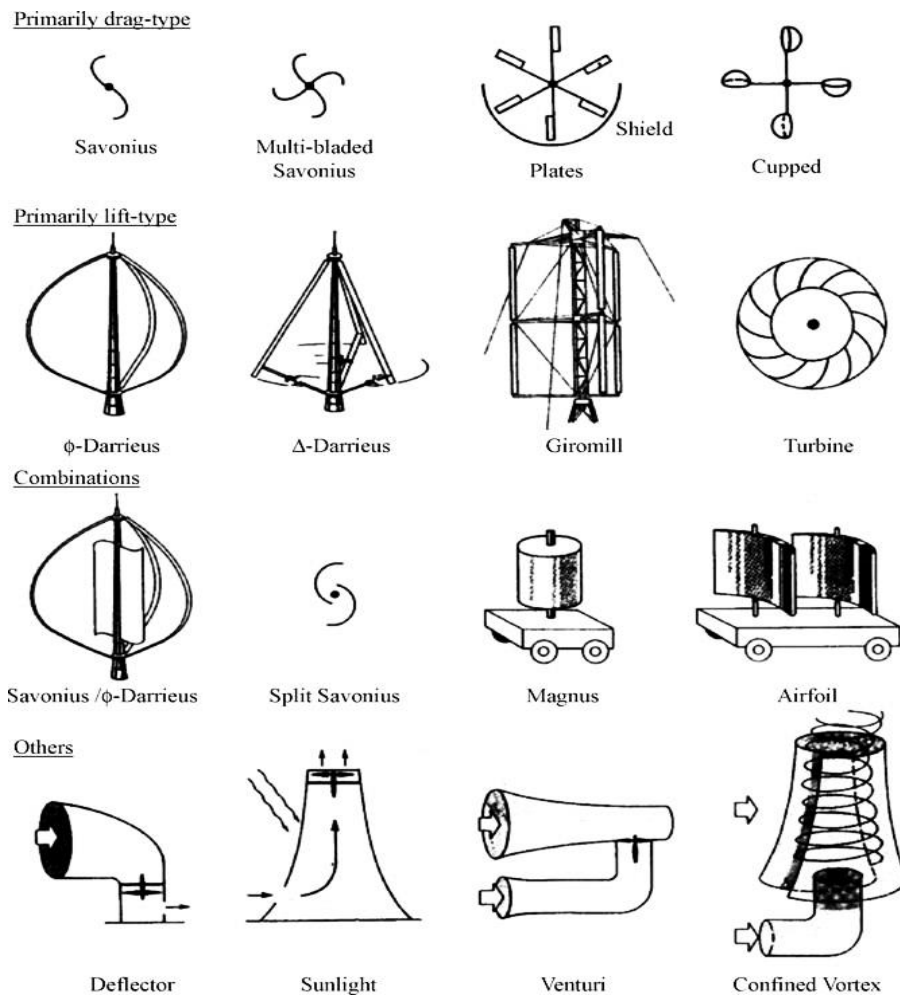
Turbin angin yaitu alat yang memanfaatkan energi angin sebagai mekanisme gerakanya. Turbin angin berfungsi untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik dalam bentuk putaran rotor dan poros generator untuk

dapat dikonversi menjadi energi listrik. Dahulu turbin angin digunakan sebagai penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain-lain. Di negara-negara Eropa turbin angin lebih dikenal dengan *Windmill* (Irfandi dan Djamari, 2013:52). Berdasarkan arah sumbu gerakannya, turbin angin digolongkan menjadi dua kategori, yaitu turbin angin sumbu vertikal dan turbin angin sumbu horizontal (gambar 2.3) (Sarwanto *et al.*, 2016: 838).



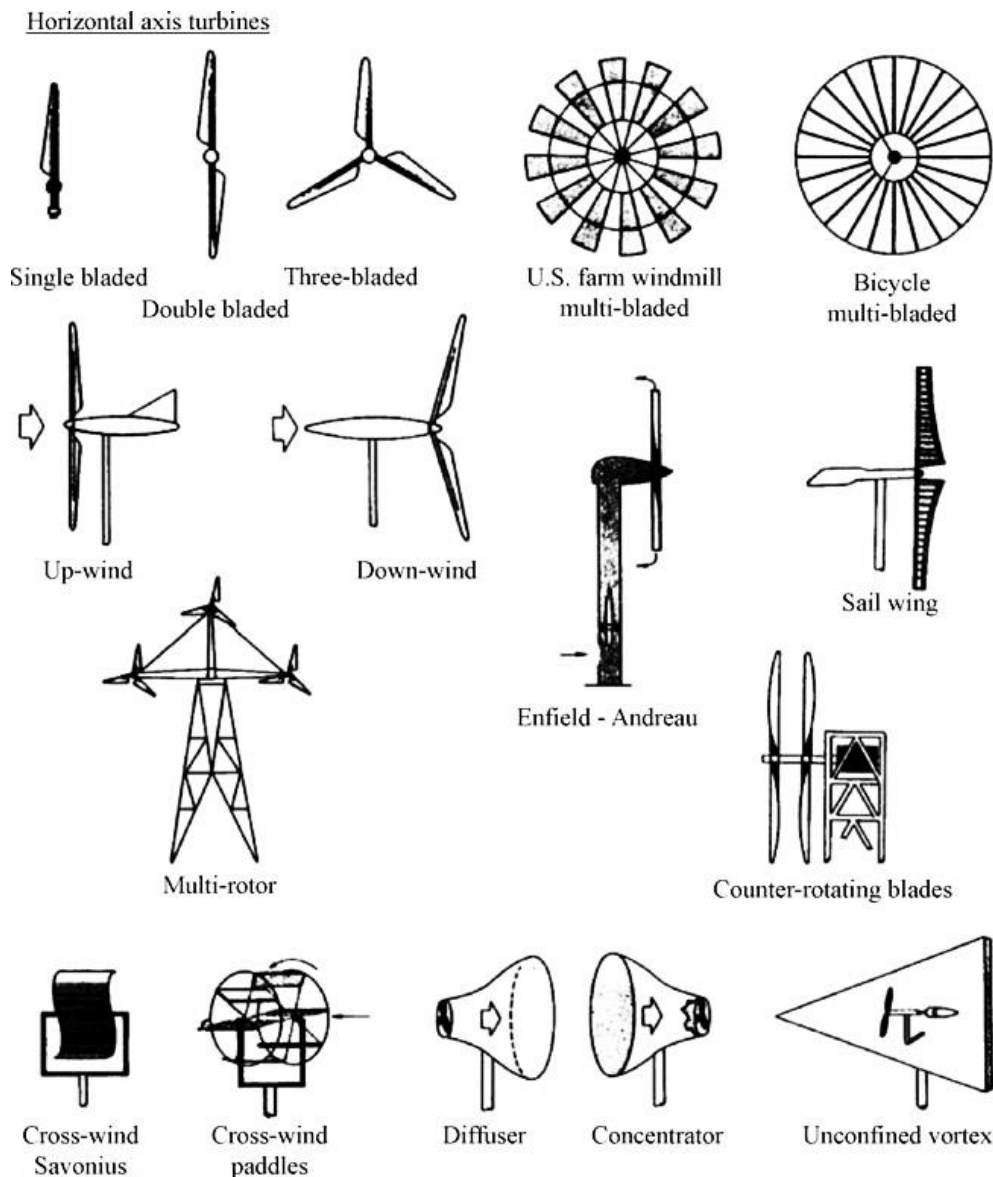
Gambar 2.2. Klasifikasi Turbin Angin
(Sumber Jha, 2011: 14)

TASV mempunyai poros/sumbu putar yang dibuat tegak lurus. Kelebihan dari turbin angin sumbu vertikal ini yaitu turbin tidak harus mengarah ke arah angin datang. Hal itu dapat digunakan untuk lokasi yang mempunyai angin bervariasi. Generator dan *gearbox* dapat diletakkan di tanah, sehingga lebih mudah dalam melakukan perbaikan jika terjadi kerusakan. Macam-macam turbin angin vertikal ditunjukkan pada (gambar 2.4).



Gambar 2.3. Turbin angin vertikal
(Sumber Manwell *et al.*, 2009:10)

TASH mempunyai poros utama dan generator terletak di atas puncak menara. Turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sensor angin yang terhubung dengan servo motor. Turbin diarahkan melawan arah angin, hal tersebut dikarenakan turbulensi dapat menyebabkan kerusakan pada struktur menara (Ismail *et al.*, 2016: 114). Contoh gambar turbin angin sumbu horizontal dapat dilihat di (gambar 2.4) berikut.



Gambar 2.4. Turbin angin horizontal
(Sumber Manwell *et al.*, 2014: 9)

Kelebihan dari turbin angin horizontal ini adalah efisiensinya yang tinggi dan memiliki *cut-in wind speed* rendah. Sedang kekurangan dari turbin angin horizontal memiliki desain yang rumit itu karena rotor hanya dapat menerima angin dari satu arah (Nakhoda dan Saleh, 2015: 60).

Turbin angin dengan tipe horizontal ini dibagi menjadi dua berdasarkan mesinnya yaitu *upwind* dan *downwind*.

- a. *Upwind*, turbin angin jenis ini rotor berhadapan dengan arah datangnya angin. Dibutuhkan mekanisme *yaw* sehingga rotor tetap berhadapan dengan arah datangnya angin.
- b. *Downwind*, turbin jenis ini rotor terletak dibelakang tower sehingga angin harus melewati tower terlebih dahulu, itu menyebabkan beban (*fatigue load*) pada turbin.

Menurut Ariyanto *et al.*, (2013: 54) beberapa hal harus diperhatikan dalam menghitung daya turbin yaitu efisiensi rotor, transmisi *gearbox*, dan efisiensi generator. Untuk efisiensi rotor sendiri dapat dihitung dengan rumus (2.5).

$$P_{turbin} = \frac{161}{272} \rho A v^3 \dots\dots\dots 2.5$$

Pada kenyataanya ada kerugian gesek dan ujung bilah sehingga efisiensi rotor jadi lebih kecil berkisar 42% hingga 45% saja dengan bilah yang dibuat dengan sangat baik (gambar 2.5). Maka efisiensi rotor tersebut dirumuskan menjadi (2.6).

$$\eta_{rotor} = Cp = P_t / \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots 2.6$$

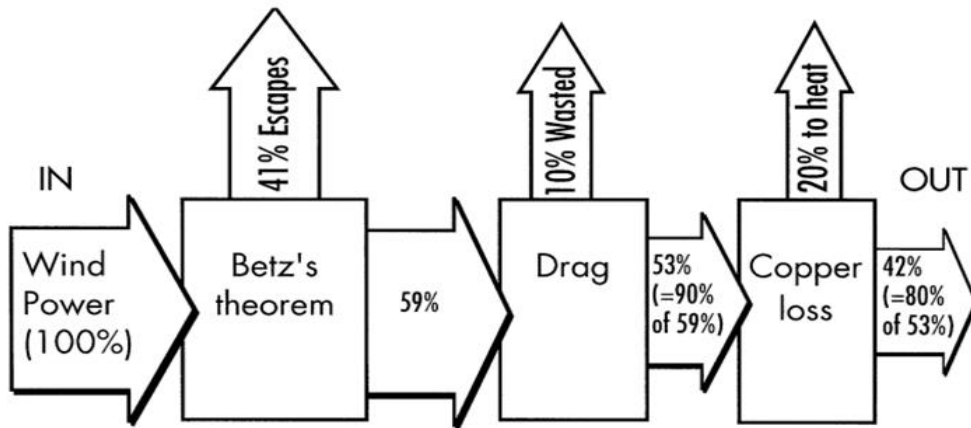
Dimana. Cp = coefficient power

P_t = daya turbin (watt)

ρ = massa jenis udara (kg/m³)

A = luas penampang (m²)

v = kecepatan angin (m/s)



Gambar 2.5. Energi angin yang dapat di ekstrak turbin angin. (Sumber Piggot, 16)

Gearbox dapat mengatur kecepatan sesuai dengan yang dibutuhkan oleh generator, kemudian generator mengubah energi mekanik untuk konversi menjadi energi listrik. Efisiensi transmisi gearbox dan bearing (N_b) bisa mencapai 95% dan efisiensi generator (N_g) ~ 80%. Sehingga efisiensi total turbin angin dirumuskan dengan.

$$\eta_{total} = C_p \cdot N_b \cdot N_g \dots\dots\dots 2.7$$

Dari rumus (2.7) dan (2.8) maka akan diperoleh persamaan daya turbin angin.

$$P_{turbin} = \eta_{total} \frac{1}{2} \rho A v^3 \dots\dots\dots 2.8$$

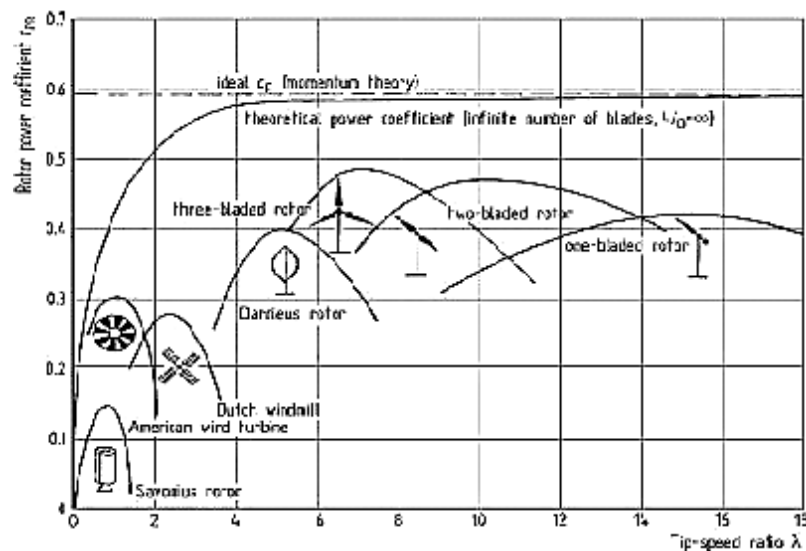
2.2.4 Tip speed ratio (TSR)

Tip speed ratio yaitu rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas. Untuk kecepatan angin tertentu, *tip speed ratio* akan berpengaruh terhadap kecepatan putaran rotor. *Tip speed ratio* pada turbin dengan tipe *lift* relatif lebih besar daripada turbin dengan tipe *drag* (Sayoga *et al.*, 2014:104).

Tip speed ratio dapat dihitung menggunakan persamaan (2.9).

$$\lambda = \frac{2\pi nR}{60v} \dots\dots\dots 2.9$$

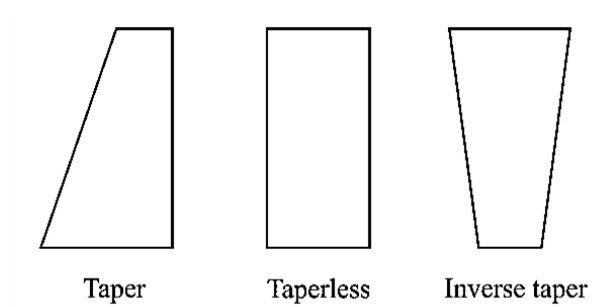
Dimana: λ = tip speed ratio
 R = jari-jari rotor (m)
 n = putaran rotor (rpm)
 v = kecepatan angin (m/s)



Gambar 2.6. Variasi TSR dan C_p dari berbagai jenis turbin.
 (Sumber Ariyanto *et al.*, 2014:55)

2.2.5 Bilah

Salah satu komponen utama pada turbin angin adalah bilah. Pada turbin angin bilah yang akan kontak langsung dengan angin. Bilah yang digunakan harus memenuhi aspek fisis yang meliputi kekuatan, elastisitas, dan ketahanan (Sifa *et al.*, 2014:68). Bilah sendiri dibagi menjadi tiga jenis berdasarkan bentuknya yaitu *taperless*, *taper* dan *invers taper* (gambar 2.7). Bilah akan di pengaruhi oleh adanya *drag* (gaya tekan) yang sejajar dengan arah aliran fluida dan *lift* (gaya angkat) yang arahnya tegak lurus dari arah aliran fluida. Sehingga bilah dapat berputar karena gaya *lift* dan *drag* tersebut tetapi itu juga dipengaruhi oleh bentuk bilah, kecepatan angin dan luas permukaan bidang (Sayoga *et al.*, 2014:105).



Gambar 2.7. Macam-macam Bentuk Bilah

Ada beberapa elemen penting saat membuat bilah yaitu panjang bilah (*chord*), jari-jari pangkal, tebal bilah, dan sudut kemiringan bilah (*pitch*). Menurut Ismail dan Arrahman untuk menentukan *chord* sebagai fungsi jarak dari pusat rotasi dapat dicari menggunakan pendekatan Betz seperti persamaan (2.10).

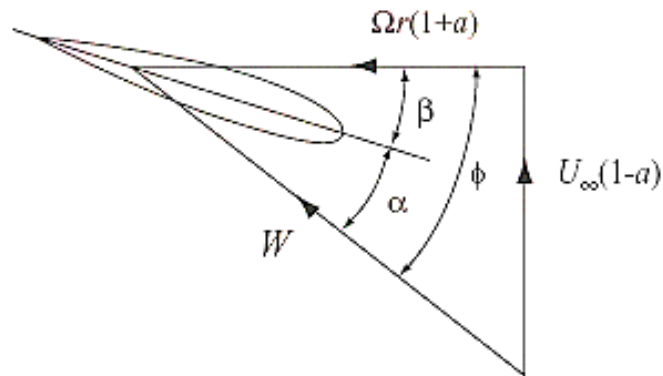
$$C = \frac{16\pi R(R/r)}{9\lambda^2 B} \dots\dots\dots 2.10$$

- Dimana:
- C = *chord* (m)
 - R = jari-jari bilah (m)
 - r = jarak dari pusat rotasi (m)
 - λ = *tip speed ratio*
 - B = jumlah bilah

Untuk menentukan sudut *twist* dapat menggunakan persamaan (2.11)

$$\beta = \arctan\left(\frac{2R}{3r\lambda}\right) - \alpha \dots\dots\dots 2.11$$

- Dimana:
- β = sudut *twist*
 - R = jari-jari bilah (m)
 - r = jarak dari pusat rotasi (m)
 - λ = *tip speed ratio*
 - α = sudut serang (*angle of attack*)



Gambar 2.8. Elemen kecepatan pada bilah
(Sumber: Ismail dan Arrahman, 2017:14)

Setiap elemen mempunyai arah angin yang berbeda, disebut *apparent wind correction*. Besarnya *apparent wind* W , merupakan resultan dari kecepatan angin bebas dan tangensial elemen rotor yang dinyatakan dengan persamaan.

$$W_r = v \times \sqrt{1 + \left(\frac{r}{R}\lambda\right)^2} \dots\dots\dots 2.12$$

- Dimana:
- W_r = kecepatan angin resultan (m/s)
 - v = kecepatan angin bebas (m/s)
 - R = jari-jari bilah (m)
 - r = jarak dari pusat rotasi (m)
 - λ = *tip speed ratio*

$$\phi = \arctan R/r\lambda \dots\dots\dots 2.13$$

- Dimana:
- ϕ = sudut *apparent wind*
 - R = jari-jari bilah (m)
 - r = jarak dari pusat rotasi (m)
 - λ = *tip speed ratio*

2.2.6 *Airfoil*

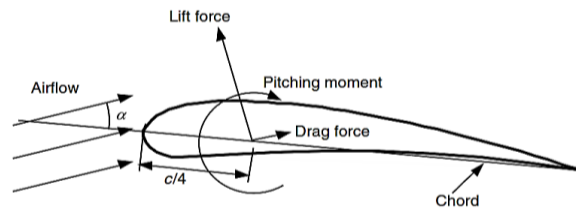
Airfoil yaitu struktur atau bentuk bodi geometris yang berguna untuk menghasilkan gaya angkat karena gerakan relatif *airfoil* dan fluida yang ada disekitar *airfoil* tersebut (Manwell *et al.*, 2009:101).

Seri awal NACA adalah, 4-digit, 5-digit, dan 4/5-digit, dihasilkan dengan menggunakan persamaan analitik yang menggambarkan *chamber* (kelengkungan) dari garis tengah (*geometric centerline*) bagian *airfoil* serta distribusi ketebalannya di sepanjang bagian *airfoil*. Kemudian muncul seri yaitu 6-Series, merupakan bentuk-bentuk lebih rumit yang dibuat berdasarkan teori daripada metode geometris.

Menurut Patel *et al.*, (2015:200) *airfoil* NACA 4-digit misal NACA 2412, akan menunjukkan *chamber*, maksimum posisi *chamber* dan ketebalan maksimum. *Airfoil* dengan NACA MPXX misal NACA 3612.

- a. M yaitu *chamber* maksimum dibagi dengan 100. Contoh M = 2 sehingga *chamber* adalah 0,02 atau 2% dari *chord*.
- b. P adalah posisi *chamber* maksimum dibagi dengan 10. Contoh P = 4 sehingga *chamber* maksimum adalah 0,4 atau 40% dari *chord*.
- c. XX merupakan ketebalan dibagi 100. Contoh XX = 12 sehingga ketebalan 0,12 atau 12% dari *chord*.

Pada *airfoil* umumnya terdapat gaya angkat (*lift*), gaya tekan (*drag*), dan *pitching moment*.



Gambar 2.9. Gaya Lift, Drag, dan Pitching Moment
(Sumber Manwell *et al.*, 2014: 9)

Gaya *lift* digunakan untuk gaya angkat suatu benda yang dipengaruhi oleh aliran fluida yang melewati ke benda tersebut (Hansen, 2008:8). Hal itu terjadi karena adanya perbedaan tekanan diatas dan dibawah permukaan benda. Sedangkan gaya *drag* yaitu gaya yang sejajar dengan arah datangnya aliran fluida. Menurut Hansen, (2008: 8) gaya *lift* dibuat maksimal jika dibandingkan dengan gaya *drag* untuk meningkatkan efisiensi turbin. Koefisien *lift* (C_L) dan *drag* (C_D) dapat dihitung dengan rumus (2.14) dan (2.15).

Koefisien *lift*.

$$C_L = \frac{FL}{\frac{1}{2}\rho V^2 Ar} \dots\dots\dots 2.14$$

Koefisien *drag*.

$$C_D = \frac{FL}{\frac{1}{2}\rho V^2 Ar} \dots\dots\dots 2.15$$

Selain itu juga perlu diketahui koefisien momen (C_M). Titik tengah *pitching moment coefficient* diatur pada $\frac{1}{4}$ panjang *chord* ($\frac{c}{4}$). Koefisien momen dapat diketahui dengan menggunakan persamaan (2.16).

$$C_M = \frac{M}{\frac{1}{2}\rho V^2 Ar} \dots\dots\dots 2.16$$

Dimana: C_L = koefisien *lift*
 C_D = koefisien *drag*

C_M	= koefisien momen
F_L	= gaya <i>lift</i> (N)
F_D	= gaya <i>drag</i> (N)
M	= gaya momen
ρ	= massa jenis udara (kg/m ³)
A	= luas penampang sudu (m ²)
r_c	= panjang <i>chord</i> (m)
V	= kecepatan udara (m/s)

2.2.7 Torsi

Torsi yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan *prony brake*. Cara mengukur torsi yaitu beban yang didapat dari neraca dikalikan dengan gravitasi kemudian dikalikan dengan panjang lengan *prony brake* (Faqihuddin et al., 2014:85).

$$T = Fr = mgr \dots \dots \dots 2.17$$

Dan daya mekanikal dapat di hitung dengan.

$$P_m = n.T \dots \dots \dots 2.18$$

Dimana:	T	= torsi (Nm)
	P _m	= daya mekanikal (watt)
	F	= gaya (N)
	n	= putaran rotor (rpm)
	m	= massa (Kg)
	g	= gravitasi (m/s)
	r	= jari-jari <i>lengan</i> (m)

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. NACA 3612 yang digunakan dalam penelitian ini pada variasi sudut puntir 0° dan sudut kemiringan bilah 0° turbin tidak dapat berputar. Pada pengujian turbin angin semakin besar *pitch angle* (kemiringan sudut bilah) maka performa yang dihasilkan turbin angin horizontal akan semakin rendah dan sebaliknya dengan semakin kecil sudut kemiringan bilah daya yang dihasilkan juga akan semakin besar. Sedangkan turbin yang menggunakan *twist angle* (sudut puntir) akan meningkatkan performa dari turbin, akan tetapi penggunaan *twist angle* yang berlebihan juga akan membuat performa turbin menjadi menurun.
2. Daya *output* tertinggi yang dihasilkan dalam penelitian ini yaitu daya mekanikal pada *twist* 20° dengan *pitch* 0° yaitu 19,28 watt yang berputar pada 877,40 rpm, efisiensi yang dihasilkan sebesar 45,4% dengan nilai TSR 5,63 pada kecepatan angin 5,71 m/s turbin tersebut diuji menggunakan *prony brake*. Torsi maksimum yang di hasilkan pada penelitian ini yaitu 0,022 Nm pengujian dilakukan menggunakan *prony brake*.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini masih banyak kekurangan yang bisa diperbaiki agar dapat mendapatkan hasil yang lebih optimal. Penulis memberikan beberapa saran sebagai bahan pertimbangan untuk penelitian lebih lanjut.

1. Perlu dilakukan penelitian lebih lanjut mengenai variasi sudut puntir (*twist*) antara 0° - 20° dan sudut kemiringan bilah (*pitch*) antara 0° - 15° untuk mengetahui sudut puntir dan sudut kemiringan bilah yang lebih optimal.
2. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan untuk mengganti generator yang dapat menghasilkan daya tinggi agar mendapatkan efisiensi yang maksimal.
3. Diperlukan penambahan data logger pada pengukuran, yang diharapkan dapat menghasilkan data yang lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryanto, F., Mara, I. M., & Nuarsa, M. (2013). Pengaruh Kecepatan Angin Dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu Horizontal. *Dinamika Teknik Mesin, Volume 3 ISSN: 2088-088X*, 50-59.
- Faqihuddin, M. F., Nizam, M., & Prija, D. D. (2014). Karakteristik Modeel Turbin Angin Untwisted Blade Dengan Menggunakan Tipe Airfoil . *MEKANIKA Vol.12 No.2*, 84-88.
- Ferinando GS, T., & Martin, A. (2017). Unjuk Kerja Turbin Angin Sumbu Horizontal Berdiameter 2,6 Meter Di Gedung C Fakultas Teknik Universitas Riau. *Jom FTEKNIK Volume 4 No.1*, 1-4.
- Hansen, M. O. (2008). *Aerodynamics of Wid Turbine Second Editon*. UK: Earthscan.
- Hidayatullah, N. A., & Hanifah, N.K.N. (2001). Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker. *JEECAE Vol.1, No.1*, .
- Irfandi K., & Djamari, F.X. (2013). Evaluasi Bilah Turbin Angin 500 Watt Dengan Melakukan Pengujian Pada Wind Tunnel Universitas Nurtanio Bandung. *INDEPT, Vol. 3, No. 3*, 1-8.
- Ismail, & Arrahman, T. (Juli 2017). Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu Dengan Kapasitas 3 MW. *Presisi, Vol.18*, 10-19.
- Ismail, Munandar, M., & Argantara, A. (2016). Perancangan Turbin Angin Sumbu Horisontal 2 Sudu Dengan Kapasitas 1 MW. *Jurnal Ilmiah TEKNOBIZ Vol. 6 No.3*, 113-122.
- Kholiq, I. (2015). Pemanfaatan Energi Alternatif Sebagai Energi Terbarukan Untuk Mendukung Substitusi BBM. *Jurnal IPTEK Vol.12 No.2*, 75-91.
- Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2009). *Wind Energy Explained*. UK: A John Wiley and Sons, Ltd.
- Nakhoda, Y. I., & Saleh, C. (2015). Rancang Bangun Kincir Angin Sumbu Vertikal Pembangkit Listrik Portabel. *Seminar Nasioal Sains dan Teknologi Terapan vol.3*, 59-67.
- Patel. (2015). An Analysis of Lift and Drag Forces of NACA Airfoils Using Python. *IJAIEEM Vol.4*, 198-206.
- Piggot, H. *Wind Power Workshop*. British: Center for Alternatif Technology.

- Pramana, N. E., Setiawan, J. D., & Yohana, E. (2014). Pembuatan Model Dan Simulasi Turbin ngin Sumbu Horizontal Dengan Sudut Blade Pitch Aktif. *Jurnal Teknik Mesin S-1, Vol.2, No.4*, 445-453.
- Priyono. (2016). *Metode Penelitian Kuantitatif*. Surabaya: Zifatama Publisng.
- Robertson, R. C. (2008). *Fundamental Electronical and Electronic Principles*. UK: Newnes.
- Saha, U., & Rajkumar, M. J. (2006). On the Performance Analysis of Savonius Rotor With Twisted Blade. *Renewable Energy 31* , 1776-1788.
- Sarwanto, A. G., Budiarto, U., & Zakki, A. F. (2016). Analisa Efektifitas Wind Turbine umbu Horizontal Dengan Farasi Jmlah Dan Jenis Airfol Sebagai Sumber Energi Listrik Tambahan Pada Fisheries Inspection. *Jurnal Teknik Perkapalan. Vol. 4, No.4*, 837-846.
- Sarwono, J. (2006). *Metode Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Sayoga, I. M., Wiratama, I. K., Mara, I. M., & Catur, A. D. (2014). Pengaruh Variasi Jumlah Blade Terhadap Aerodinamik Performan Pada Rancangan Kincir Angin 300 Watt. *Dinamika Teknik Mesin, Vol. 2 ISSN- 2088-088X*, 103109.
- Sifa, A., Casiman, S., & Habib, R. H. (2014). Pengujian Kincir Angin Horizontal Type Di Kawasan Tambak Sebagai Energi Listrik Alternatif Untuk Penerangan. *IRWNS*, 166-171.
- Sumiati, R., & Aidil Z. (2013). Rancang Bangun Miniatur Turbin Angin Pembangkit Listrik Untuk Media Pembelajaran . *Rancang Bangun Miniatur Turbin Angin Pembangkit Listrik Untuk Media PeJurnal Teknik Mesin Vol. 3, No. 2* , 1-8.
- Thumthae, C., & Chitsomboon, T. (2009). Optimal angle of attack for untwisted blade wind turbine. *Renewable Energy 34*, 1279-1284.
- Wardoyo, Mustaqim, & Wibowo, H. (2016). Analisa Sudut Serang Bilah Pada Turbin Angien Sumbu Horizontal Enam Bilah Datar Sebagai Penggerak Pompa. *Volume 12 No.1*, 31-35.
- Wijendra, S. A., & Ansori, A. (2017). Kemiringan Sudut Baling-baling Turbin Angin Sumbu Horizontal Dan Kecepatan Angin Terhadap Peforma Turbin Angin Sumbu Horizotal. *JTM. Volume 05 Nomor 01*, 119-124.

- Wiratama, I. K., Mara, I. M., & Prina, L. E. (2014). Pengaruh Jumlah Blade Dan Variasi Panjang Chord Terhadap Performansi Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH). *Dinamika Teknik Mesin, Volume 2 No.2*, 110-116.
- Yangui, M., Bouaziz, S., & Haddar, M. t. (2016). Nonlinear Aanalysis Of Twisted Wind Turbine Blade. *Journal of Mechanics*, 1-10.
- Zahra, I. N. 2016. Dasar-Dasar Perancangan Bilah. Tutorial Perancangan. PT. Lentera Angin Nusantara.