PENGARUH JENIS DAN JUMLAH BILAH NACA 3612 TERHADAP PERFORMA TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL (TASH)

Skripsi

diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar

Sarjana Teknik Program Studi Teknik Mesin

Oleh

Syahrul Nur Wahyudi

NIM. 5212414065

TEKNIK MESIN

JURUSAN TEKNIK MESIN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS NEGERI SEMARANG

2020

PERSETUJUAN PEMBIMBING

Nama	: Syahrul Nur Wahyudi
NIM	: 5212414065
Program Studi	: Teknik Mesin
Judul	: Pengaruh Jenis dan Jumlah Bilah NACA 3612 Terhadap Performa Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH).

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

Semarang, 18 November 2019

Pembimbing,

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

PENGESAHAN

Skripsi dengan judul Pengaruh Jenis dan Jumlah Bilah NACA 3612 Terhadap Performa Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) telah dipertahan di depan Panitia Ujian Skripsi Fakultas Teknik UNNES pada tanggal 16 Desember 2019

Oleh

Nama	: Syahrul Nur Wahyudi
NIM	: 5212414065
Program Studi	: Teknik Mesin

Panitia:

Ketua

Rusiyanto, S.Pd., M.T.
NIP. 197403211990310 02

Panitia Sekretaris

Samsudin Anis. S.T., M.T, Ph.D.
NIP. 197601012003121002

Penguji I

Drs. Sunyoto, M.Si
NIP. 196511051991102 1001

Penguji II

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

Penguji III

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

Mengetahui,

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

PERNYATAAN KEASLIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Skripsi ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (sarjana, magister dan/atau doctor), baik di Universitas Negeri Semarang maupun di perguruan tinggi lain
2. Karya tulis ini adalah murni gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri, tanpa bantuan dari pihak lain kecuali arahan pembimbing dan masukan tim penguji
3. 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
4. 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, 6 Januari 2020

Penulis,

Syahrul Nur Wahyudi
NIM. 5212414065

MOTTO

خير الناس أنفعهم للناس

“Sebaik-baik manusia adalah yang bermanfaat bagi sesama”

SARI

Wahyudi, S. N. 2019. Pengaruh Perbandingan Jenis dan Jumlah Bilah NACA 3612 Terhadap Performa Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH). Dony Hidayat Al-Janan, S.T., M.T., Ph.D. Program Studi Teknik Mesin.

Desain dan optimasi turbin angin skala mikro menjadi elemen yang sangat penting dalam penelitian untuk meningkatkan hasil energi listrik lebih baik. Tujuannya adalah untuk memperbaiki kemampuan penangkapan daya dan memaksimalkan produksi energi dengan baik.

Objek penelitian ini adalah pengujian performa TASH dengan variasi jenis dan jumlah bilah ditinjau dari daya *output* (W), efisiensi sistem (η) dan *tip speed ratio* (TSR). Pengujian dilakukan di laboratorium dengan menggunakan *wind tunnel.* Kecepatan angin yang digunakan terdapat 8 variasi yaitu 1.41 m/s, 1.76 m/s, 2.51 m/s, 3.74 m/s, 4.81 m/s, 5.50 m/s, 5.71 m/s dan 6.11 m/s.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai daya terbaik adalah jenis *taperless* dengan jumlah 2 bilah sebesar 0,846 watt dengan kecepatan putar maksimum 876,3 rpm pada kecepatan angin 6,11 m/s. Untuk nilai efisiensi terbaik diperoleh pada kecepatan angin 3,74 m/s pada jenis *taper* dengan jumlah 4 bilah sebesar 2,9% pada TSR 4,778. Sedangkan TSR maksimum terjadi pada jenis *taper* dengan jumlah 3 bilah sebesar 6,256 pada kecepatan angin 3,74 m/s dengan pengujian tanpa menggunakan *prony brake.*

Kata kunci: Optimasi, jenis dan jumlah bilah, TASH, 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 Perbandingan Jenis dan Jumlah Bilah NACA 3612 terhadap Performa Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH). 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 orangtua yang selalu mendoakan serta memberikan dukungan maupun motivasi dan telah menginvestasikan seluruh hidupnya untuk perkembangan anak-anaknya.
2. Keluarga yang telah memberikan dukungan baik secara materi maupun non-materi.
3. Prof. Dr. Fathur Rokhman, M.Hum, Rektor Universitas Negeri Semarang.
4. Dr. Nur Qudus, M.T, Dekan Fakultas Teknik Universitas Negeri Semarang.
5. Rusiyanto, S.PD, M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Mesin Universitas Negeri Semarang.
6. Samsudin Anis S.T., M.T.,Ph.D. selaku Ketua Program Studi Teknik Mesin S1 Universitas Negeri Semarang.
7. Dony Hidayat Al-Janan S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang penuh perhatian serta memberikan bimbingan dan memberi kemudahan menunjukkan sumber-sumber yang relevan dengan penulisan skripsi.
8. Drs. Sunyoto, M.Si dan Widya Aryadi, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji skripsi.
9. Dr. Eng. Karnowo, S.T., M.Eng. selaku dosen penguji seminar skripsi.
10. Pihak Lentera Bumi Nusantara (LBN) yang telah membukakan cakrawala pengetahuan yang lebih tentang teknologi kincir angin.

11. Teman-teman Program Studi Teknik Mesin angkatan 2014 yang telah memberikan semangat dan saran dalam pembuatan skripsi ini.
12. Teman pengabdian yang mengajarkan untuk saling berbagi dan mengasihi antar sesama.
13. 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 dapat disusun lebih baik.

Semarang, 18 November 2019

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL i
PERSETUJUAN PEMBIMBING ii
PENGESAHAN iii
PERNYATAAN KEASLIAN iv
MOTTO v
SARI vi
PRAKATA vii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG xi
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GAMBAR xiii
DAFTAR LAMPIRAN xv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Identifikasi Masalah 2
1.3 Pembatasan Masalah 3
1.4 Rumusan Masalah 3
1.5 Tujuan 4
1.6 Manfaat 4
1.6.1 Secara Teoritis 4
1.6.2 Secara Praktis 4
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI 5
2.1 Kajian Pustaka 5
2.2 Landasan Teori 6
2.2.1 Energi Angin 6
2.2.2 Turbin Angin 8
2.2.3 Jenis Turbin Angin 12
2.2.4 Bilah 16
2.2.5 Airfoil 20

2.2.6 Aerodinamik 26
2.2.7 *Prony Brake Dynamometer* 27
2.3 Kerangka Pikir 28
2.4 Hipotesis 28
BAB III METODE PENELITIAN 29
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian 29
3.1.1 Waktu Penelitian 29
3.1.2 Tempat Penelitian 29
3.2 Desain Penelitian 29
3.3 Alat dan Bahan Penelitian 32
3.3.1 Alat penelitian 32
3.3.2 Bahan penelitian 35
3.4 Parameter Penelitian 37
3.5 Teknik Pengumpulan Data 38
3.6 Kalibrasi Instrumen 41
3.7 Teknik Analisis Data 41
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 43
4.1 Deskripsi Data 43
4.2 Pembahasan 50
4.2.1 Hubungan kecepatan angin (m/s) dengan putaran bilah (rpm) 50
4.2.2 Hubungan kecepatan angin (m/s) dengan daya (W) 54
4.2.3 Hubungan efisiensi (Cp) dan TSR (λ) 57
4.2.4 Hubungan kecepatan angin (m/s) dan torsi (Nm) 61
BAB V PENUTUP 64
5.1 Kesimpulan 64
5.2 Saran 65
DAFTAR PUSTAKA 66
LAMPIRAN 69

DAFTAR SINGKATAN TEKNIS DAN LAMBANG

TASH = Turbin Angin Sumbu Horizontal

E_k = energi kinetik (joule)

m = massa (kg)

v = kecepatan angin (m/s)

ρ = massa jenis angin (kg/m^3)

t = waktu (s)

A = luas penampang (m^2)

P_{angin} = daya angin (watt)

C_p = *coefficient power*

P_t = daya turbin (watt)

λ = *tip speed ratio*

$\boldsymbol{n}$ = putaran *rotor* (rpm)

R = jati-jari *rotor* (m)

c = *chord* (m)

r = jarak dari pusat rotasi (m)

B = jumlah bilah

β = sudut *twist*

α = sudut serang *(angle of attack)*

ϕ = sudut *apparent wind*

T = torsi (Nm)

Ω = kecepatan sudut (rad/s)

P = daya (watt)

W = energi (joule)

t = waktu (s)

V = tegangan (volt)

I = arus (ampere)

WP = *with prony*

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Kelebihan dan kekurangan TASV (Sumber: Jha, 2011: 38)..... 14
Tabel 3. 1 Hasil pengukuran kecepatan angin 38
Tabel 3. 2 Hasil pengukuran arus *output* 38
Tabel 3. 3 Hasil pengukuran tegangan *output*..... 39
Tabel 3. 4 Hasil perhitungan daya *output* 40
Tabel 3. 5 Hasil perhitungan kecepatan bilah 40
Tabel 3. 6 Hasil perhitungan efisiensi bilah..... 40
Tabel 4. 1 Hasil pengukuran kecepatan angin (m/s) 43
Tabel 4. 2 Hasil pengukuran *start up* wind speed (m/s) tanpa *prony brake* 43
Tabel 4. 3 Hasil pengukuran *start up* wind speed (m/s) dengan *prony brake* 43
Tabel 4. 4 Hasil pengukuran putaran bilah (rpm) tanpa *prony brake* 44
Tabel 4. 5 Hasil pengukuran tegangan (V) tanpa *prony brake* 44
Tabel 4. 6 Hasil pengukuran arus (A) tanpa *prony brake*..... 44
Tabel 4. 7 Hasil pengukuran putaran bilah (rpm) dengan *prony brake* 45
Tabel 4. 8 Hasil pengukuran tegangan (V) dengan mengguakan *prony brake*..... 45
Tabel 4. 9 Hasil pengukuran arus (A) dengan menggunakan *prony brake*..... 45
Tabel 4. 10 Hail pengukuran massa (gr) dengan menggunakan prony brake..... 46
Tabel 4. 11 Hasil perhitungan daya angin (P_{angin})..... 46
Tabel 4. 12 Hasil perhitungan daya elektrikal turbin ($P_{1,\ turbin}$) tanpa *prony brake*47
Tabel 4. 13 Hasil perhitungan TSR (λ) tanpa *prony brake* 47
Tabel 4. 14 Hasil perhitungan efisiensi (Cp) tanpa *prony brake* 48
Tabel 4. 15 Hasil perhitungan daya elektrikal ($P_{2,\ turbin}$) dengan *prony brake* 48
Tabel 4. 16 Hasil perhitungan TSR (λ) dengan *prony brake* 48
Tabel 4. 17 Hasil perhitungan efisiensi (Cp) dengan *prony brake* 49
Tabel 4. 18 Hasil perhitungan torsi (T) dengan *prony brake*..... 49
Tabel 4. 19 Hasil perhitungan daya mekanikal ($P_{2,\ turbin}$) dengan *prony brake*.... 49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 *Dutch windmill* sebagai penggerak piston pompa air..... 7
Gambar 2. 2 Pengaruh akselerasi angin diatas bukit..... 7
Gambar 2. 3 (a) Turbin angin sumbu vertikal, (b) turbin angin sumbu horizontal. 9
Gambar 2. 4 Detail bagian TASH 9
Gambar 2. 5 Kondisi aliran udara bebas akibat ekstraksi energi mekanik 10
Gambar 2. 6 konversi energi angin yang dapat di ekstrak oleh turbin angin..... 11
Gambar 2. 7 Klasifikasi turbin angin 12
Gambar 2. 8 Macam-macam desain TASH 13
Gambar 2. 9 Konsep *rotor* dan *power coefficient* 15
Gambar 2. 10 Jenis-jenis bentuk bilah 17
Gambar 2. 11 Elemen kecepatan pada bilah 19
Gambar 2. 12 Nomenklatur *airfoil*..... 20
Gambar 2. 13 *Symmetrical airfoil*..... 21
Gambar 2. 14 *Semi-symmetrical* 21
Gambar 2. 15 *Flat bottom* 21
Gambar 2. 16 *Under chambered*..... 22
Gambar 2. 17 *Reflexed* 22
Gambar 2. 18 *Airfoil* NACA 4-digit 23
Gambar 2. 19 *Airfoil* NACA 5-digit 24
Gambar 2. 20 *Airfoil* NACA seri-1 25
Gambar 2. 21 Tekanan yang terjadi pada permukaan *airfoil*..... 26
Gambar 2. 22 Gaya yang bekerja pada penampang *airfoil*..... 27
Gambar 3. 1 Diagram alir penelitian..... 30
Gambar 3. 2 Sampel jenis-jenis bilah. (*taper, taperless, inverse-taper)*..... 31
Gambar 3. 3 Skema alat pengujian 31
Gambar 3. 4 Laptop..... 32
Gambar 3. 5 Gergaji 32
Gambar 3. 6 Mesin bor..... 32
Gambar 3. 7 Gerinda 33

Gambar 3. 8 *Portable ventilator* 33
Gambar 3. 9 *DC motor* 33
Gambar 3. 10 *Digital tachometer* DT2234C+ 34
Gambar 3. 11 Timbangan *digital* 34
Gambar 3. 12 *Digital anemometer* 34
Gambar 3. 13 *Digital multimeter* 35
Gambar 3. 14 Triplek 36
Gambar 3. 15 Lem 36
Gambar 3. 16 Besi siku berlubang 36
Gambar 3. 17 Mur dan baut 37
Gambar 4. 1 Bilah TASH yang mengalami kegagalan 51
Gambar 4. 2 Grafik hubungan kecepatan angin (m/s) dengan putaran bilah (rpm) pada variasi jenis bilah. 52
Gambar 4. 3 Grafik hubungan kecepatan angin (m/s) dengan putaran bilah (rpm) pada variasi jumlah bilah. 53
Gambar 4. 4 Grafik hubungan kecepatan angin (m/s) dengan daya (A) pada variasi jenis bilah. 55
Gambar 4. 5 Grafik hubungan kecepatan angin (m/s) dengan daya (A) pada variasi jumlah bilah. 56
Gambar 4. 6 Grafik hubungan Efisiensi (Cp) dengan TSR (λ) pada variasi jenis bilah. 58
Gambar 4. 7 Grafik hubungan Efisiensi (Cp) dengan TSR (λ) pada variasi jumlah bilah. 59
Gambar 4. 8 Grafik hubungan kecepatan angin (m/s) dengan torsi (Nm) pada variasi jenis bilah. 61
Gambar 4. 9 Grafik hubungan kecepatan angin (m/s) dengan torsi (Nm) pada variasi jumlah bilah 62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Perhitungan perancangan penelitian bilah TASH. 69
Lampiran 2. Desain perancangan variasi jenis dan jumlah bilah..... 71
Lampiran 3. Pengukuran kecepatan angin pada dimmer. 74
Lampiran 4. Pengukuran dan perhitungan penelitian tanpa *prony brake.* 75
Lampiran 5. Pengukuran dan perhitungan penelitian dengan *prony brake.* 81
Lampiran 6. Perbandinan perhitungan daya elektrikal dan mekanikal 85
Lampiran 7. Desain penelitian TASH 88

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penemuan dan pengembangan energi alternatif mengalami peningkatan yang pesat. Hal ini dikarenakan peningkatan kebutuhan listrik yang tidak seimbang dengan penyediaan tenaga listrik akibat tingginya angka pertumbuhan penduduk (Asy'ari, *et al*., 2012:42), sehingga berpengaruh pada peningkatan harga bahan bakar minyak (BBM) yang signifikan.

Penggunaan energi nasional di tahun 2004, penggunaan listrik 10%, gas 17%, batubara 18% dan BBM sebesar 63%. BBM sendiri dalam hal ini digunakan untuk pembangkit listrik sebesar 11%. Sementara dalam penggunaannya, sumber polusi terbesar di dunia dihasilkan dari gas buang atau emisi bahan bakar fosil tersebut (Faqihuddin, *et al*., 2014:84). Cadangan minyak bumi di Indonesia akan habis kurang lebih 18 tahun mendatang, sedangkan gas dan batubara diperkirakan masing-masing 60 tahun dan 147 tahun terhitung dari tahun 2006 (Wijendra dan Ansori, 2017:120), sehingga diperlukan langkah solutif untuk mengurangi ketergantungan konsumsi energi fosil dengan energi terbarukan yang lebih ramah lingkungan.

Energi angin merupakan salah satu pembangkit listrik energi terbarukan yang ramah lingkungan (Kinachi, 2015:5), tidak menghasilkan karbon (Sang, *et al*., 2017:1), bahkan berkontribusi memenuhi 4% kebutuhan energi dunia dan mengurangi emisi karbon CO_2 dari total kapasitas instalasi 392 GW pada akhir juni 2015 (Maizi, *et al*., 2017:2).

Energi terbarukan seperti halnya turbin angin memainkan peranan penting dalam menghasilkan energi listrik. Gaya aerodinamik turbin angin masih banyak menjadi objek penelitian (Al-Abadi, *et al*., 2012:1). Pertumbuhan kebutuhan energi berkelanjutan mengharuskan pengembangan turbin angin. Desain dan optimasi turbin angin skala mini dan mikro menjadi elemen yang sangat penting dalam penelitian mutakhir untuk meningkatkan hasil energi listrik lebih baik (Lanzafame, *et al*., 2016:2). Parameter utama dalam optimasi daya yang dihasilkan dari ekstraksi turbin angin biasanya tergantung pada bilah yang dapat menghasilkan kecepatan putaran *rotor* (Wang, *et al*., 2013:2).

Tujuan mendesain bilah turbin angin adalah untuk memperbaiki kemampuan penangkapan daya dan memaksimalkan produksi energi dengan baik (Lanzafame, *et al*., 2016:1). Saat turbin angin beroperasi, bilah dapat mempengaruhi performa secara langsung pada pergerakan angin yang berbeda. Daya yang dihasilkan oleh turbin angin mempunyai batasan maksimal yang biasa disebut Betz *limit* yang dapat mengkonversi 16/27 atau 59.3% energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik (Al-Abadi, *et al*., 2012:1).

Karena begitu besar pengaruh bilah terhadap ekstraksi daya yang dihasilkan oleh turbin, menjadikan penulis mengusung topik perancangan dengan variasi jenis dan jumlah bilah untuk mengetahui performa TASH pada tugas akhir ini.

1.2 Identifikasi Masalah

Permasalahan yang muncul dalam latar belakang di atas adalah:

a. Meningkatnya harga BBM dan dampak perubahan iklim sehingga memerlukan energi alternatif yang ramah lingkungan sebagai pengganti;

b. Perlunya pengembangan energi terbarukan untuk memenuhi pertumbuhan kebutuhan energi berkelanjutan, salah satunya adalah turbin angin;

c. Perlunya pengembangan desain dan optimasi turbin angin skala mikro sebagai langkah utuk mengoptimalkan penangkapan energi angin.

1.3 Pembatasan Masalah

Berdasarkan identifikasi masalah di atas, permasalahan yang akan dibatasi pada penelitian ini adalah:

a. Performa turbin angin dalam penilitian ini adalah putaran bilah, daya, efisiensi dan torsi;

b. Daya maksimal hasil perancangan adalah 12 W;

c. Kecepatan angin maksimal perancangan adalah 6 m/s;

d. Diameter *rotor* yang digunakan sebesar 700 mm;

e. Jenis *airfoil* yang digunakan adalah NACA 3612;

f. Variasi jenis bilah yang digunakan adalah *Taper, Taperless, dan Inversetaper*;

g. Luas penampang variasi bilah sama besar, yaitu 18.000 mm^2;

h. Variasi jumlah bilah sebanyak 2 ,3 dan 4 buah dengan massa 30,4 gr;

i. Bilah *twist* yang digunakan sebesar 14.36^o– 7.81^o dari pangkal ke ujung bilah;

j. Variasi 8 kecepatan angin, digunakan untuk pengujian performa turbin angin;

k. Pengujian dilakukan di laboratorium dengan menggunakan *wind tunnel.*

l. Pembebanan pengujian menggunakan LED dan resistor 1Ω.

1.4 Rumusan Masalah

Dari paparan latar belakang dapat dirumuskan permasalahan yaitu:

1. Bagaimana perbedaan performa TASH dengan dan tanpa menggunakan *prony brake?;*
2. Bagaimana pengaruh variasi jenis dan jumlah bilah terhadap performa TASH?.

1.5 Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui perbedaan performa TASH dengan dan tanpa menggunakan *prony brake;*
2. Untuk mengetahui pengaruh variasi jenis dan jumlah bilah terhadap performa TASH.

1.6 Manfaat

1.6.1 Secara Teoritis

a. Memberikan kontribusi solutif terhadap perkembangan ilmu pengetahuan dalam pengembangan bilah pada TASH;
b. Sebagai acuan dan bahan pertimbangan pada penelitian optimasi bilah terhadap daya yang dihasilkan pada TASH;
c. Memberikan wawasan dan informasi dalam optimalisasi pengembangan energi alternatif, khususnya turbin angin.

1.6.2 Secara Praktis

a. Dapat menjadi bahan pertimbangan pemerintah dalam pengembangan energi alternatif dengan memanfaatkan dan mengoptimalkan energi angin;
b. Penggunaan energi bersih dapat mengurangi ketergantungan terhadap pengunaan bahan bakar minyak dan juga mengurangi polusi lingkungan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI

2.1 Kajian Pustaka

Investigasi dan percobaan fluktuasi pembebanan TASH pada perubahan arah angin yang ekstim pada variasi jumlah bilah dengan menggunakan *avistar airfoil* dan diameter *rotor* 1.6 m. Hasil percobaan menunjukkan bahwa TASH dengan 2 bilah mempunyai simpangan fluktuasi momen *yaw* 39% lebih besar dibandingkan dengan 3 bilah (Sang, *et al*., 2017).

Penyederhanaan *morphing blade* TASH dilakukan dengan perbandingan bilah dengan kontrol *pitch* dan *pitch* tetap pada rentang kecepatan 5-15 m/s. Hasil menunjukkan bahwa *morphing blade* dapat memproduksi energi 24.5-69.7% lebih besar dari produksi bilah *pitch* tetap, sedangkan produksi energi bilah dengan kontrol *pitch* 22.7-66.9% besar dari produksi bilah *pitch* tetap (Wang, *et al*., 2013).

Perancangan dan pengujian desain *prototype* TASH menggunakan 3 bilah dan diameter 150 cm yang terbuat dari bahan *fiberglass* di area PLTA Wonogiri. Hasil pengujian menunjukkan bahwa dengan rentang kecepatan angin antara 3 m/s – 5.6 m/s mampu menghasilkan keluaran tegangan sebesar 95 volt dan arus 4.8 mA (Asy'ari, *et al*., 2012).

Penelitian pengaruh jumlah 2-5 bilah dan variasi panjang *chord* terhadap perfora TASH menunjukkan hasil bahwa bilah yang optimal dengan jumlah 4 dan radius maksimum R3 dengan hasil putaran 302.700 rpm, daya turbin 7.765 watt, torsi 0.245 Nm, TSR 3.16, dan C_p sebesar 40.3% (Wiratama, *et al*., 2014).

Penelitian pengaruh kecepatan angin dan variasi jumlah bilah terhadap performa TASH dengan variasi kecepatan 3 m/s – 4 m/s dan variasi jumlah bilah 3-6 buah menunjukkan hasil penelitian nilai efisiensi optimal pada kecepatan angin maksimal 4 m/s dan jumlah bilah 5 buah dengan nilai efisiensi 3.07% (Aryanto, *et al*., 2013).

Pengujian TASH menggunakan variasi jumlah 3-5 bilah dan variasi kecepatan angin 3 m/s – 5 m/s dengan bilah *pitch* 30° menunjukkan hasil bahwa turbin dengan jumlah bilah 5 buah pada kecepatan maksimum 5 m/s mempunyai *rpm*, torsi, daya, dan nilai *Cp* tertinggi dibandingkan dengan jumlah bilah 3 dan 4 (Sayoga, *et al*., 2014).

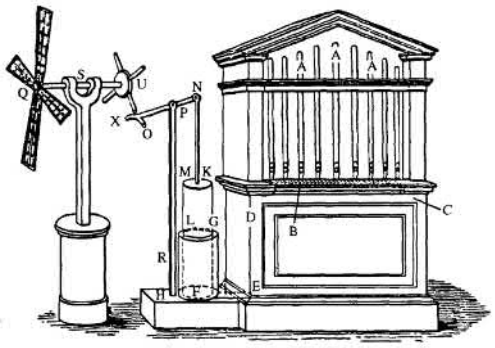
2.2 Landasan Teori

2.2.1 Energi Angin

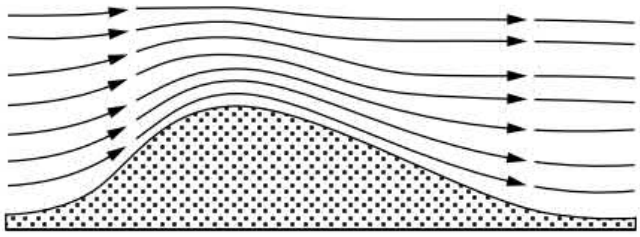
Angin merupakan energi yang melimpah dan dapat diperbaharui. Menurut sejarahnya, angin digunakan sebagai penggerak perahu layar untuk melewati perairan oleh pasukan Viking (Kadir, 1995:216). Pada abad ke-17 bangsa Babilonia memanfaatkan angin dengan menggunakan *windmill* untuk irigrasi. Perkembangan teknologi *windmill* juga dimanfaatkan oleh bangsa Eropa untuk menguras air dan mesin pemotong kayu. Perkembangan *windmill* yang paling maju yang biasa disebut *Dutch windmill* seperti gambar 2.1 yang dimanfaatkan untuk mendukung mesin penggiling (Kinachi, 2011:8-9) dan pompa (Spera, 2009:5).

Energi angin terjadi bermula dari matahari. Saat matahari menyinari permukaan tanah, udara sekitar menyerap panas. Setelah temperatur tertentu, udara panas lebih ringan dari pada udara dingin, sehingga udara panas naik dan udara

dingin mengalir mengisi ruang kosong (Kinachi, 2011:7). Proses terbentuknya angin tersebut terjadi karena terjadi perbedaan temperatur (Kadir, 1995:216), dan juga dipengaruhi oleh perbedaan permukaan tanah, dan rotasi bumi (Jha, 2011:2) seperti gambar 2.2.



Gambar 2. 1 *Dutch windmill* sebagai penggerak piston pompa air.
(Sumber: Spera, 2009:5)



Gambar 2. 2 Pengaruh akselerasi angin diatas bukit
(Sumber: Jha, 2011:14)

Angin merupakan fluida yang bergerak dan mempunyai massa (Sifa, *et al*., 2014:167). Sebuah benda yang bergerak pada kecepatan tertentu berdasarkan hukum newton II tentang gerak mempunyai energi kinetik (Asy'ari, *et al.*, 2012: 44). Sehingga energi kinetik pada angin dapat dirumuskan (Hidayatullah dan Ningrum, 2016:7):

$$\boldsymbol{E_k = \frac{1}{2}mv^2} \quad \text{.....} \quad (2.1)$$

Bila suatu blok udara mempunyai penampang $A\,m^2$ dan bergerak dengan kecepatan $v\,m/s$, maka persamaan massa dapat dinyatakan:

$m = \rho A v t$ ..... (2.2)

Sehingga bila persamaan (2.1) dan (2.2) digabungkan, maka:

$P_{angin} = \frac{1}{2}\rho A v^3$ ..... (2.3)

Dimana:

E_k = energi kinetik (joule)

m = massa (kg)

v = kecepatan angin (m/s)

ρ = massa jenis angin (kg/m^3)

t = waktu (s)

A = luas penampang (m^2)

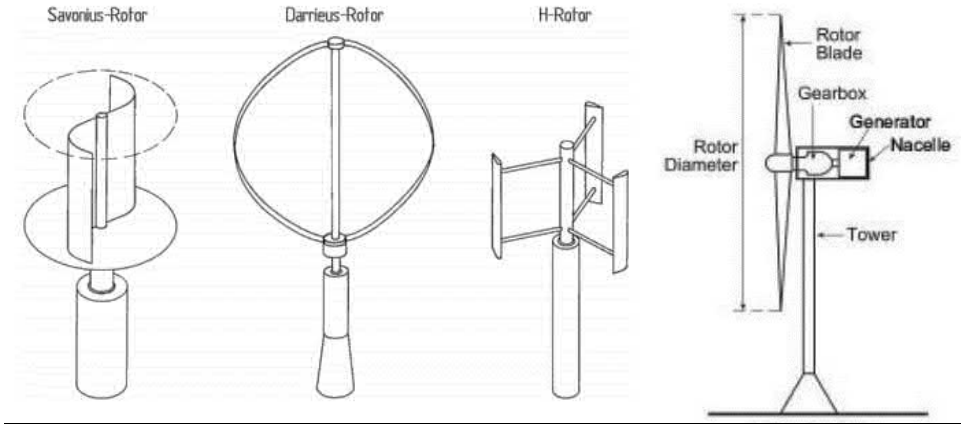
P_{angin} = daya angin (watt)

2.2.2 Turbin Angin

Kincir angin merupakan suatu alat dalam Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) (Nakhoda dan Saleh, 2015:60). Menurut istilah terminologi, turbin angin mampu mengkonversi energi kinetik dari angin menjadi energi listrik (Jha, 2011:1). Untuk menangkap energi angin, dibutuhkan suatu alat yang dapat menyentuh angin seperti gambar 2.3.

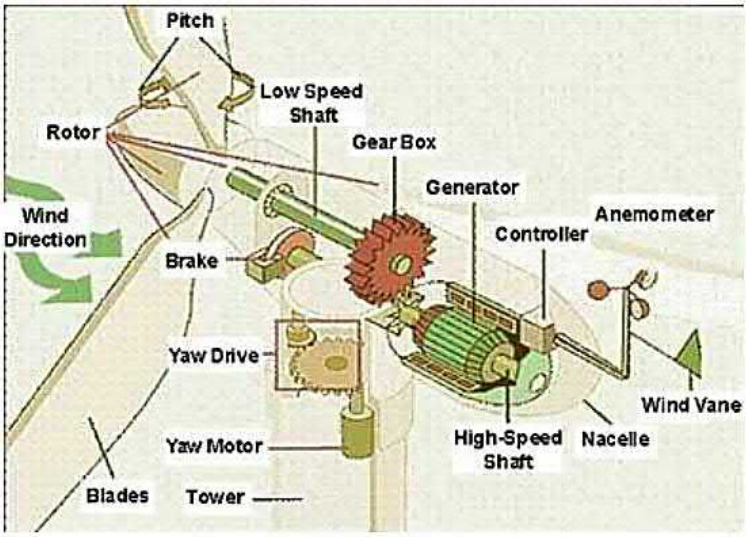
Komponen dalam turbin biasanya terdiri dari beberapa bagian utama, yaitu: bilah *rotor*, *drivetrain*, generator (Kinachi, 2011:7), tiang, anemometer, *controller*, *gearbox*, poros, mekanisme *break*, *yaw bearing*, *yaw* motor, *yaw drive*, *indicator pitch*, *nacelle*, dan kabel untuk meneruskan energi listrik dari tiang (Jha, 2011:14)

seperti penjelasan gambar 2.4. Bilah merupakan bagian dari turbin yang dapat menyentuh angin dan mengkonversi angin secara mekanik menjadi putaran. Desain bilah *rotor* seperti *chord*, bilah *twist*, dan panjang bilah merupakan parameter penting yang dapat mempengaruhi dampak performa dan akselerasi aerodinamik secara optimal pada kondisi angin dan perbedaan tinggi tiang.



(a) (b)

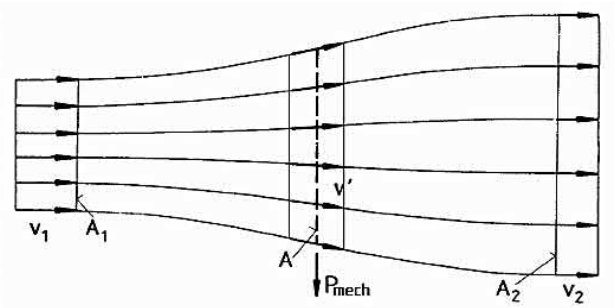
Gambar 2. 3 (a) Turbin angin sumbu vertikal, (b) turbin angin sumbu horizontal
(Sumber: Kinachi, 2011:10-11)



Gambar 2. 4 Detail bagian TASH
(Sumber: Kinachi, 2011:11)

Teknologi turbin angin memiliki kelebihan dan kekurangan dibandingkan dengan sumber energi yang lain. Kelebihan teknologi ini adalah merupakan teknologi ramah lingkungan karena tidak menghasilkan polusi, biaya instalasi lebih hemat, dapat menghasilkan energi yang lebih efisien, dan tidak membutuhkan perawatan secara berkala. Kelemahan dari penggunaan teknologi yang paling mendasar adalah suara bising. Selain itu juga bilah turbin dapat membahayakan populasi burung yang terbang kurang dari 350 *ft* diatas permukaan tanah (Jha, 2011:5).

Teori momentum elemen Betz menjelaskan tentang prinsip konversi energi angin seperti gambar 2.5. Aliran kecepatan angin bebas terjadi pembelokan ketika melalui *rotor*. Hal ini dapat menyebabkan berkurangnya total energi angin disebabkan oleh putaran *rotor* yang dapat menghasilkan perubahan kecepatan angin pada arah tangensial (Ismail dan Arrahman, 2017:11).



Gambar 2. 5 Kondisi aliran udara bebas akibat ekstraksi energi mekanik
(Sumber: Ismail dan Arrahman, 2017)

Dalam perhitungan daya turbin angin, terdapat beberapa parameter yang harus diperhatikan seperti efisiensi *rotor*, transmisi *gearbox* dan efisiensi *generator*. Sehingga dapat dirumuskan (Aryanto, *et al.*, 2013:54):

$$P_{turbin} = \frac{16}{27}\frac{1}{2}\rho A v^3 \quad (2.4)$$

Angka 16/27 (59.3%) disebut dengan Betz *limit* yang secara teori menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh TASH. Pada kenyataannya efisiensi *rotor* akan lebih kecil lagi, yaitu berkisar 42% sampai 45% karena rugi-rugi gesekan dan kerugian di ujung bilah seperti gambar 2.6, maka efisiensi *rotor* turbin menjadi:

$\eta_{rotor} = C_p = P_t / \frac{1}{2}\rho A v^3$ ..... (2.5)

Dimana:

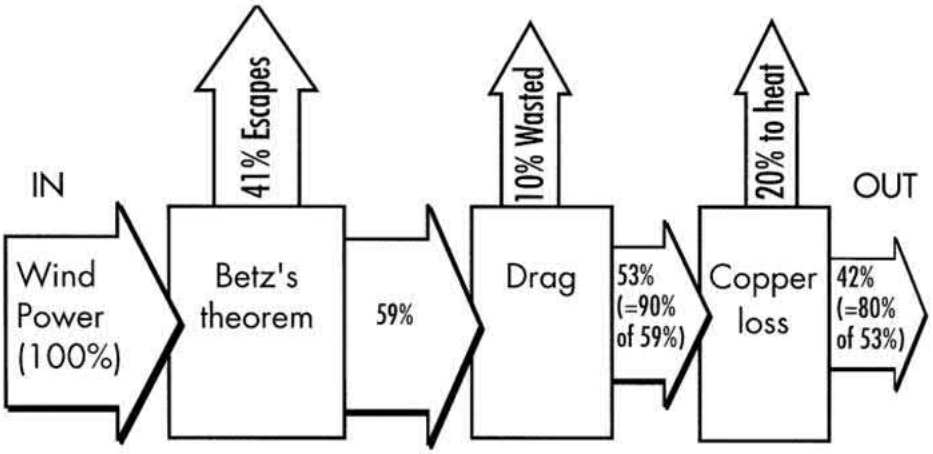
C_p = *coefficient power*

P_t = daya turbin (watt)

ρ = massa jenis angin (kg/m^3)

A = luas penampang (m^2)

v = kecepatan angin (m/s)



Gambar 2. 6 konversi energi angin yang dapat di ekstrak oleh turbin angin
(Sumber: Piggot, 16)

Gearbox dapat memanipulasi kecepatan sesuai dengan kebutuhan keluaran *generator*. *Generator* kemudian yang mengkonversi energi putar *rotor* menjadi energi listrik. Efisiensi transmisi *bearing* dan *gearbox* (Nb, mencapai 95%), dan efisiensi *generator* (Ng, ~80%). Sehingga efisiensi total turbin angin menjadi:

$\eta_{total} = C_p . N_b . N_g$ ..... (2.6)

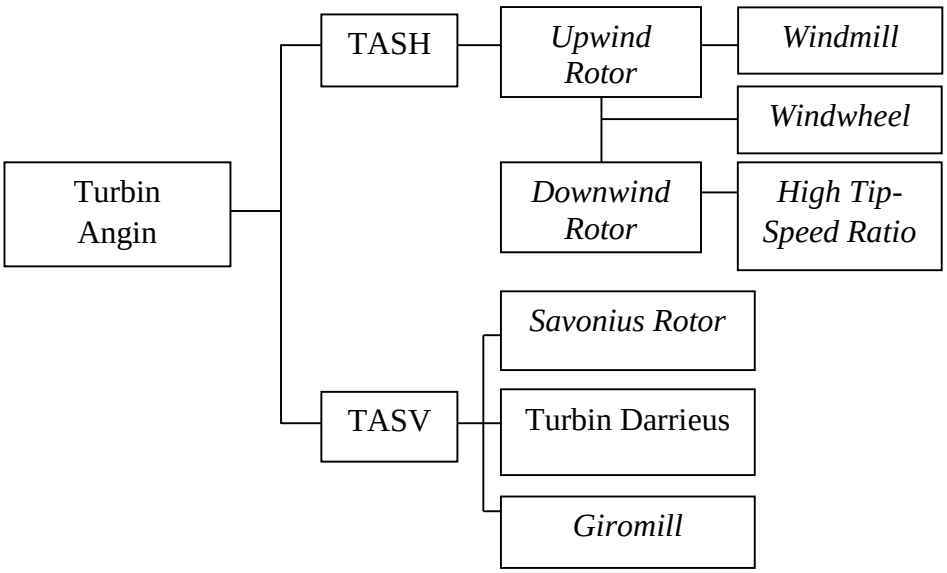
Dengan menggabungkan persamaan (2.5) dan (2.6) sehingga diperoleh persamaan daya turbin angin:

$P_{turbin} = \eta_{total} \frac{1}{2} \rho A v^3$ ..... (2.7)

2.2.3 Jenis Turbin Angin

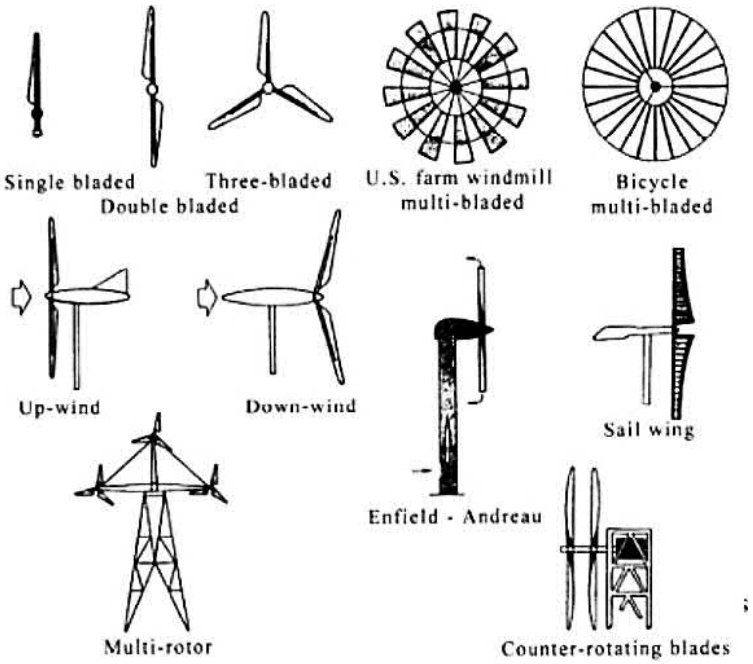
Turbin angin diklasifikasikan menjadi dua katagori menurut sumbunya, Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) dan Turbin Angin Sumbu Vertikal (TASV). Gambar 2.7 mengilustrasikan jenis-jenis klasifikasi turbin angin yang beroperasi diseluruh dunia.

TASH merupakan turbin yang poros utamanya terhubung langsung dengan bilah (Jha, 2011:36) dan berputar menyesuaikan arah angin. Poros turbin harus sejajar dengan arah angin dan tegak lurus terhadap arah putaran *rotor* untuk menghasilkan putaran yang baik (Nakhoda dan Saleh, 2015:60).



Gambar 2. 7 Klasifikasi turbin angin
(Sumber: Jha, 2011:14)

TASH dibagi menjadi dua berdasarkan konversi dari arah anginnya seperti gambar 2.8, yaitu *upwind rotor* yang mempunyai desain menghadap langsung terhadap datangnya arah angin dan *downwind rotor* yang arah anginnya melewati tiang dan *nacelle* sebelum menyapu bilah. Keuntungan *downwind rotor* yaitu dapat menyesuaikan arah angin secara otomatis sebagai pengaman yang paling penting dalam segi operasional, akan tetapi pengaturan ini tidak dapat bekerja pada perubahan angin secara tiba-tiba. Kekurangan cara kerja ini dapat ditanggulangi dengan konfigurasi desain *upwind rotor* dengan jumlah tiga bilah. Alasan inilah yang menyebabkan *upwind rotor* mendominasi pangsa pasar.



Gambar 2. 8 Macam-macam desain TASH
(Sumber: Nakhoda dan Saleh, 2015:61)

Sistem TASH biasanya mempunyai dua atau tiga bilah. Turbin dengan jumlah dua bilah lebih murah dan dapat berputar lebih cepat akan tetapi efisiensi

aerodinamiknya lebih rendah dibandingkan turbin dengan jumlah tiga bilah yang menawarkan cara kerja yang halus dengan polusi suara yang lebih kecil. TASH merupakan instalasi yang paling cocok untuk menghasilkan energi listrik. TASH skala mikro merupakan sebuah konsep yang paling menarik dan sedang banyak pengembangan untuk aplikasi pengisian daya dengan susunan jumlah bilah dua sampai enam buah (Jha, 2011:37).

TASV merupakan turbin angin yang sumbu *rotor*nya dapat berputar pada semua arah angin. Hal ini dikarenakan gerakan poros dan *rotor* sejajar dengan datangnya arah angin. Efisiensi TASV lebih rendah daripada TASH, akan tetapi TASV mempunyai kelebihan penempatan generator dan *gearbox* yang dapat dipasang di dasar tiang sehingga mempermudah perawatan. Tabel 2.1 menjelaskan tentang kelebihan dan kekurangan TASV lebih detail.

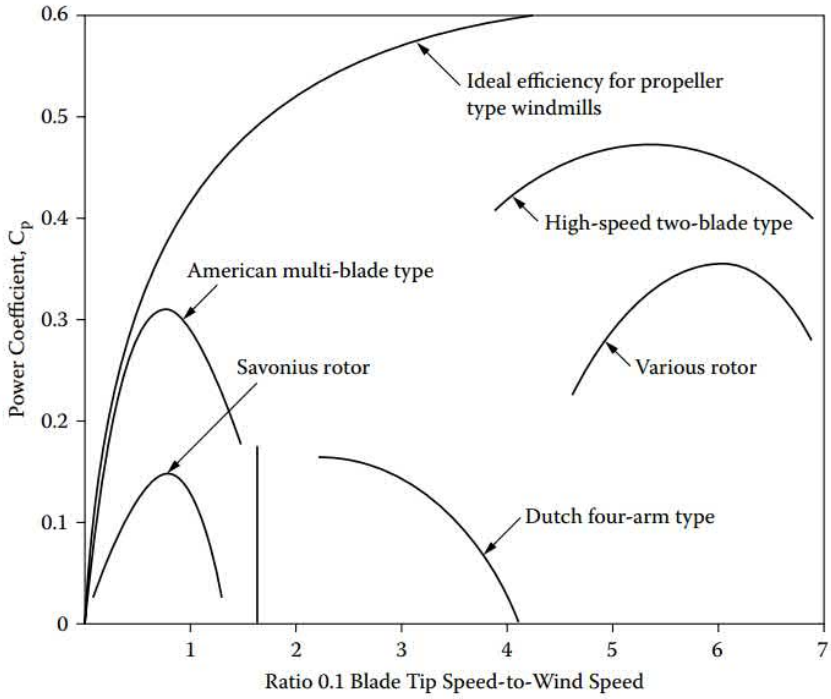
Tabel 2. 1 Kelebihan dan kekurangan TASH (Sumber: Nakhoda dan Saleh, 2015)

Kelebihan	Kekurangan
Efisiensi tinggi	Desain lebih rumit dari VAWT
Cut in wind speed rendah	Hanya dapat menangkap pada satu arah angin, sehingga dibutuhkan pengarah angin

TASV mempunyai tiga model *rotor* dengan pemanfaatan gaya yang berbeda seperti gambar 2.3. Model *rotor* Savonius memanfaatkan gaya *drag*, sedangkan cara kerja model Darrieus dan H *rotor* memanfaatkan gaya *lift* (Nakhoda dan Saleh, 2015:61). Gorge Savonius, adalah sarjana berkebangsaan Finlandia yang pertama kali mengenalkan model TASV di dunia pada tahun 1924 yang dikenal dengan

Savonius *rotor*. Turbin jenis ini mempunyai pangsa pasar yang lebih banyak dibandingkan TASV model yang lain. Savonius mempunyai keluaran energi yang terbatas dan efisiensinya rendah, akan tetapi sangat mudah dalam segi perawatan.

Coefficient power (C_p) untuk jenis-jenis turbin angin *modern* terbukti pada gambar 2.9, turbin jenis *rotor* Savonius mempunyai C_p yang paling rendah dan hanya beroperasi pada *Tip Speed Ratio* (TSR) tertentu. Catatan bahwa Darrieus *rotor* mempunyai C_p mendekati 0.35 pada rentang TSR 5.5 sampai 6.5. karena kapasitas yang terbatas dan efisiensi yang rendah, turbin tersebut cocok untuk aplikasi sistem pengisian daya komunikasi dan remot mercusuar. Turbin Savonius banyak digunakan untuk motor penggerak turbin Darrieus karena turbin ini kurang mampu dalam mengkonversi energi pada kondisi kecepatan angin tertentu (Jha, 2011:38).



Gambar 2. 9 Konsep *rotor* dan *power coefficient*
(Sumber: Jha, 2011:35)

TSR adalah rasio kecepatan ujung bilah terhadap kecepatan angin.. TSR dapat dihitung dengan persamaan:

$$\boldsymbol{\lambda} = \frac{\mathbf{2\pi nR}}{\mathbf{60}\ \boldsymbol{v}} \quad \text{.....} \quad (2.8)$$

Dimana:

λ = *tip speed ratio*

n = putaran *rotor* (rpm)

R = jati-jari *rotor* (m)

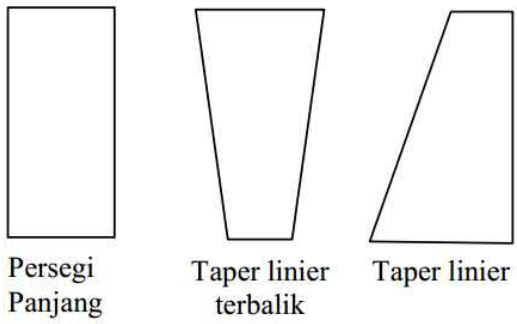
v = kecepatan angin (m/s)

2.2.4 Bilah

Bilah merupakan komponen yang paling penting pada turbin angin. Untuk mendapatkan hasil yang optimal, bilah harus memenuhi prinsip aerodinamik dan mekanika fluida (Jha, 2011:80). Perubahan yang paling efektif yang dapat dilakukan turbin angin adalah dengan menentukan bentuk dan jenis bilah. Kemampuan *rotor* untuk mengkonversi proporsi energi angin yang melewati area sapuan bilah menjadi energi kinetik secara maksimum merupakan hasil langsung dari gaya aerodinamik (Kinachi, 2011:12).

Jenis bilah berdasarkan perbedaan bentuknya dibagi menjadi beberapa bentuk seperti gambar 2.10, yaitu persegi panjang *(taperless), taper* linear terbalik *(inverse taper), taper* linear *(taper)* (Wiratama, *et al*., 2014:111), dan tirus parabolik *(parabolic taper).* Efisiensi bilah *taper* lebih besar daripada bilah *taperless* dan bilah *parabolic taper* lebih besar daripada bilah *taper.* Bentuk bilah *inverse taper* memiliki efisiensi yang paling kecil (Ismail dan Arrahman, 2017:14).

Menurut Wiratama, *et al*., (2014:111), untuk mendapatkan performa optimal turbin angin selain perubahan jenis bilah yaitu dengan membentuk bilah seperti sekrup atau memuntir *(twist)*, sehingga aerodinamisnya semakin baik. Konsep penggunaan *twist* adalah dengan mengubah sudut serang *(angle of attack)* untuk merespon beban dorong yang dihasilkan oleh energi angin (Lobitz, *et al.*, 2015:1). Dalam banyak kasus, metode ini dapat meningkatkan produksi energi tahunan sebesar 10-15% dengan menggunakan dua sudut puntir 5-7% untuk satu sudut puntir maksimum (Lobitz, *et al.*, 2015:3).



Gambar 2. 10 Jenis-jenis bentuk bilah
(Sumber: Wiratama, *et al*., 2014:111)

Menurut (Sifa, *et al.*, 2014:168), bilah dibagi dalam beberapa konsep sesuai jumlahnya, yaitu:

a. Satu bilah

Konsep ini membutuhkan angin kencang untuk menghasilkan gaya angkat putar, karena sulit untuk setimbang.

b. Dua bilah

Konsep ini dapat menangkap angin secara efektif dengan desain kelengkungan yang tajam. Konsep dua bilah ini lebih setimbang dari konsep satu bilah, akan tetapi mudah bergeser dan sulit berputar pada kecepatan angin rendah.

c. Tiga bilah

Konsep ini merupakan konsep yang umumnya digunakan karena kesetimbangannya dan gaya tangkap angin yang efektif hanya dengan desain kelengkungan yang halus.

d. Multi bilah

Konsep ini menghasilkan momen gaya awal yang besar untuk memulai berputar pada kecepatan angin rendah, tetapi efisiensi yang dihasilkan rendah.

Terdapat beberapa elemen penting dalam merancang bentuk bilah, lebar bilah *(chord)*, jari-jari, tebal bilah, dan sudut *pitch*. Untuk menentukan *chord* sebagai fungsi jarak dari pusat rotasi dengan menggunakan pendekatan Betz seperti persamaan berikut (Ismail & Arrahman, 2017:14):

$$c = \frac{16\pi R(R/r)}{9\lambda^2 B} \quad \text{.....} \quad (2.9)$$

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 digunakan persamaan:

$$\beta = \arctan\left(\frac{2R}{3r\lambda}\right) - \alpha \quad \text{.....} \quad (2.10)$$

Dimana:

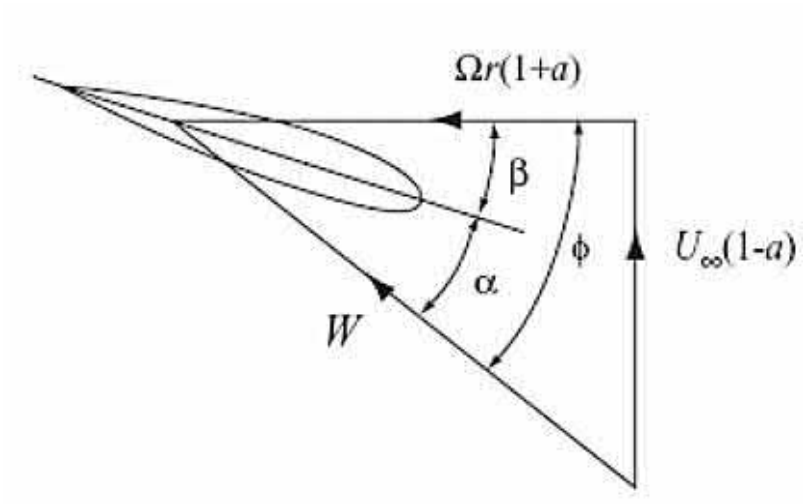
β = sudut *twist*

R = jari-jari bilah (m)

r = jarak dari pusat rotasi (m)

$\boldsymbol{\lambda}$ = *tip speed ratio*

α = sudut serang *(angle of attack)*



Gambar 2. 11 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 dalam persamaan:

$$W_r = v\ x \sqrt{1 + (\frac{r}{R}\lambda)^2} \quad \text{.....} \quad (2.11)$$

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*

Arah *apparent wind* dihitung dengan persamaan:

$\phi = arctan\ R/r\lambda$ ..... (2.12)

Dimana:

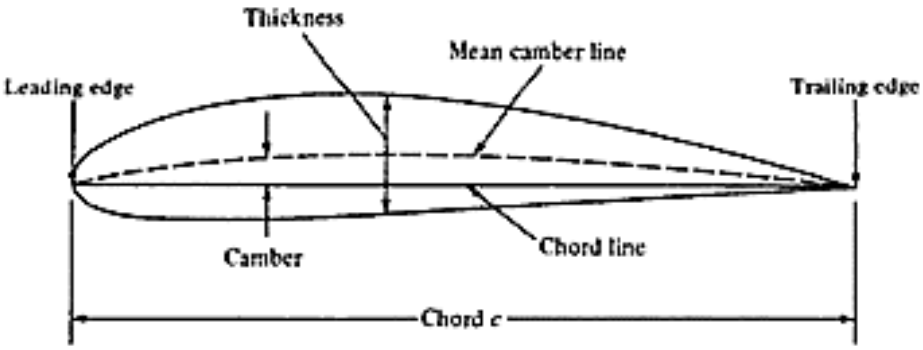
ϕ = sudut *apparent wind*

R = jari-jari bilah (m)

r = jarak dari pusat rotasi (m)

λ = *tip speed ratio*

2.2.5 Airfoil

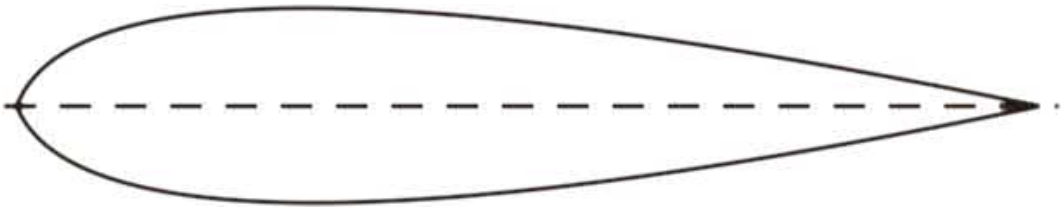


Gambar 2. 12 Nomenklatur *airfoil*
(Sumber: Wiratama, 2016)

Dalam dunia konversi energi angin, profil *airfoil* adalah elemen yang paling penting karena memberikan nilai koefisien *drag* yang lebih kecil dibandingkan dengan *lift* yang diberikan (Ismail dan Arrahman, 2017:14). Karena bilah adalah komponen yang bersentuhan langsung dengan angin, maka pemilihan penggunaan *airfoil* menjadi sangat penting (Wiratama, 2016). Sebelum membahas lebih lanjut, gambar dibawah menjelaskan beberapa variabel dari *airfoil*.

Menurut Wiratama, (2016), berdasarkan bentuknya *airfoil* dibagi menjadi beberapa kategori, yaitu:

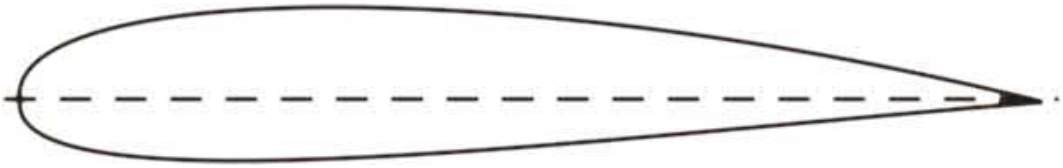
a. *Symmetrical*



Gambar 2. 13 *Symmetrical airfoil*
(Sumber: Wiratama, 2016)

Airfoil ini memiliki *chamber* yang selalu bernilai nol, yaitu simetris pada bagian atas dan bawah. *Airfoil* ini biasa digunakan untuk TASV, untuk ekor pesawat serta untuk pesawat dengan manuver ekstrim.

b. *Semi-symmetrical*



Gambar 2. 14 *Semi-symmetrical*
(Sumber: Wiratama, 2016)

Airfoil ini mempunyai bentuk kurva bagian atas lebih melengkung dibandingkan bagian bawah. Umumnya digunakan pada TASH, pesawat konvensional seperti *trainer, sailplane* dan beberapa aerobatik.

c. *Flat bottom*

Gambar 2. 15 *Flat bottom*
(Sumber: Wiratama, 2016)

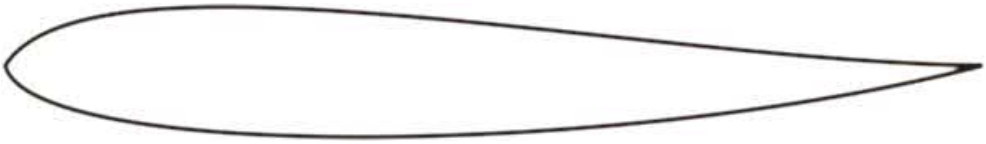
Airfoil ini mempunyai permukaan atas melengkung dan permukaan bawah yang rata. Jenis ini mempunyai nilai *drag* relatif besar dan mudah dari segi konstruksi. Umumnya digunakan pesawat berkecepatan rendah *aeromodeling*.

d. *Under chambered*

Gambar 2. 16 *Under chambered*
(Sumber: Wiratama, 2016)

Memiliki bentuk permukaan bawah yang cenderung melengkung keatas, sehingga rataan *chamber* relatif tinggi. *Airfoil* jenis ini biasanya digunakan untuk *scale model* dan pesawat *high flight.*

e. *Reflecxed*



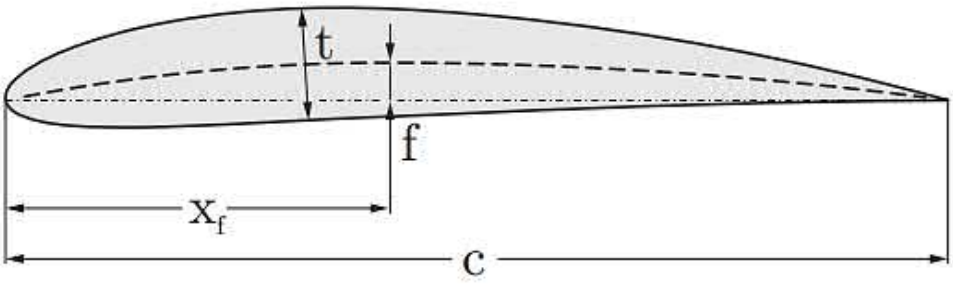
Gambar 2. 17 *Reflexed*
(Sumber: Wiratama, 2016)

Airfoil ini memiliki bentuk *trailling edge* melengkung keatas, sehingga dapat menghasilkan efek momen (rotasi) positif. Umumnya digunakan untuk pesawat *flying wing (tail less)*.

Terdapat banyak data yang dapat ditemukan untuk penggunaan *airfoil* NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) yang telah banyak digunakan untuk pesawat terbang, turbin angin dan helikopter (Hansen, 2008:13). Menurut Hepperle,

(2011), *airfoil* NACA mempunyai beberapa opsi dengan berbagai kelengkungan pada permukaan bentuknya, diantaranya:

a. *Airfoil* NACA 4-digit



Gambar 2. 18 *Airfoil* NACA 4-digit
(Sumber: Hepperle, 2011)

Perhitungan *airfoil* ini sangat mudah karena selain bentuknya, garis *chamber* dapat ditentukan dengan formula yang sederhana, seperti gambar 2.18.

Parameter:

- *Free* : t/c, f/c, x_f/c
- *Fixed* x_t/c : 0.3

Skema penamaan:

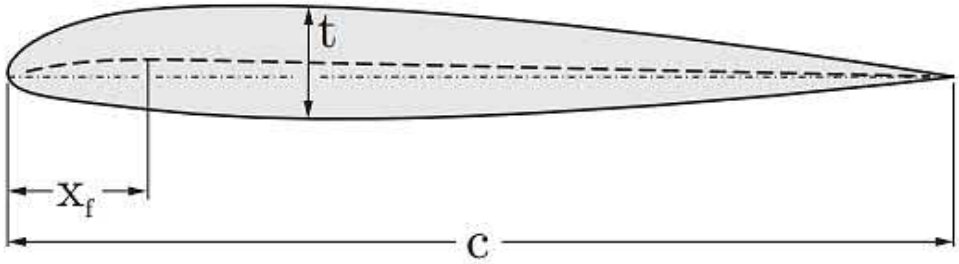
Dua bilangan pertama menentukan garis *chamber*, dua bilangan terakhir menentukan ketebalan.

- Digit 1 : ordinat *chamber* maksimal 100f/c
- Digit 2 : letak *chamber* maksimal 10x_f/c
- Digit 3 dan 4 : ketebalan maksimal 100t/c

Contoh:

NACA 3612: 3% *chamber* pada 60% *chord*, 12% ketebalan

b. *Airfoil* NACA 5-digit



Gambar 2. 19 *Airfoil* NACA 5-digit
(Sumber: Hepperle, 2011)

Airfoil ini menggunakan distribusi ketebalan yang sama dengan NACA 4-digit, tetapi memiliki garis *chamber* baru yang berbentuk kubik pada bagian depan dan garis lurus pada bagian belakang sehingga memudahkan untuk menurunkan puncak momen. Meskipun *chamber* f/c, desain koefisien *lift* $C_{l\ design}$ digunakan untuk menentukan tinggi maksimum *chamber*. Pada aplikasinya, *airfoil* ini sering menggunakan *chamber* maksimum x/c= 0.15.

Parameter:

- *Free* : t/c, x_f/c, $C_{l\ design}$
- *Fixed* x_t/c : 0.3

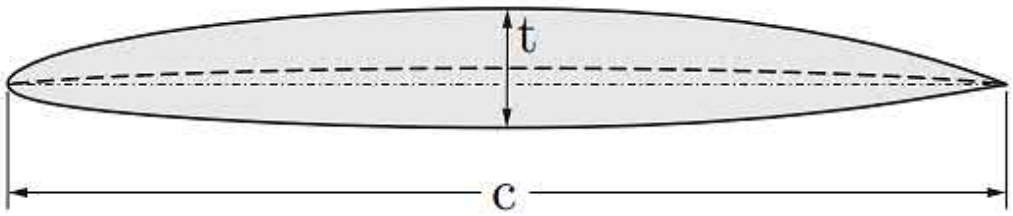
Skema penamaan:

- Digit 1 : desain 10.2/3. $C_{l\ design}$
- Digit 2 dan 3 : 2.100. x_f/c. Catatan bahwa digit ke 3 biasanya nol (0), posisi *chamber* maksimum adalah perkalian dari 5%.
- Digit 4 dan 5 : ketebalan maksimal 100t/c

Contoh:

NACA 23012: desain koefisien *lift* 0.3, *chamber* maksimum pada 15% *chord*, 12% ketebalan

c. *Airfoil* NACA seri-1



Gambar 2. 20 *Airfoil* NACA seri-1
(Sumber: Hepperle, 2011)

Pengembangan *airfoil* ini bertujuan untuk aplikasi pada kecepatan tinggi subsonik seperti penggunaan *propeller*. Bentuk ini didesain dengan bantuan metode numerik terbaru. Ketebalan maksimum dan *chamber* maksimum berada pada 50% *chord*, dimana tekanan minimum terjadi pada 60% dari panjang *chord*.

Parameter:

- *Free* : t/c, $C_{l\ design}$
- *Fixed* x_t/c : 0.5

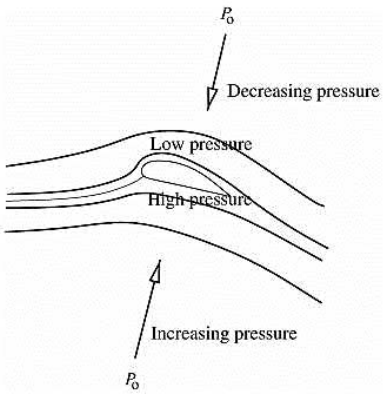
Skema penamaan:

- Digit 1 : penunjukan seri
- Digit 2 : posisi distribusi tekanan minimum terhadap ketebalan 10.x/c
- Tanda garis (*dash*)
- Digit 3 : 10. $C_{l\ design}$
- Digit 4 dan 5 : ketebalan maksimal 100t/c

Contoh:

NACA 16-212: seri-1, tekanan minimum pada 60% *chord*, desain koefisien *lift* 0.2, 12% ketebalan

2.2.6 Aerodinamik



Gambar 2. 21 Tekanan yang terjadi pada permukaan *airfoil*
(Sumber: Hansen, 2008)

Profil *airfoil* menyebabkan perbedaan tekanan kecepatan udara. Penggunaan *airfoil* pada turbin angin memungkinkan mendapatkan efisiensi yang tinggi..

Jika *airfoil* didesain untuk *aircraft*, maka rasio *L/D* harus bisa dimaksimalkan. Gaya angkat (*lift*) adalah gaya yang digunakan untuk menanggulangi gravitasi. Semakin besar gaya angkat, semakin besar pula *massa* yang dapat diangkat dari permukaan seperti pada gambar 2.21.

Koefisien *lift* (C_l) dan *drag* (C_d) dapat dinotasikan sebagai berikut:

$$C_l = \frac{L}{\frac{1}{2}\rho V^2 c} \quad \text{.....} \quad (2.13)$$

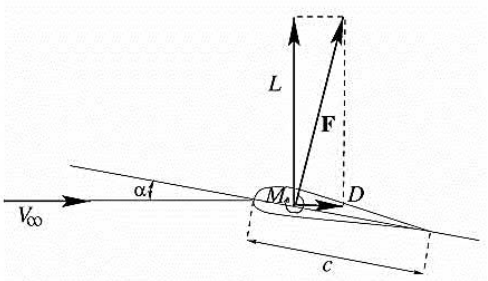
dan:

$$C_d = \frac{D}{\frac{1}{2}\rho V^2 c} \quad \text{.....} \quad (2.14)$$

Dimana:

ρ = massa jenis angin (kg/m^3)

c = panjang *chord* (m)



Gambar 2. 22 Gaya yang bekerja pada penampang *airfoil*
(Sumber: Hansen, 2008)

Untuk mendeskripsikan gaya secara lengkap juga perlu untuk mengetahui titik momen (*M*) pada *airfoil*. Titik ini biasanya terletak pada garis *chord* c/4 dari *trailing edge*. Momen akan bernilai positif jika *airfoil* berputar searah jarum jam seperti pada gambar 2.22. Koefisien momen (C_m) dapat dinotasikan sebagai berikut:

$$C_m = \frac{M}{\frac{1}{2}\rho V^2 c^2} \quad \text{.....} \quad (2.15)$$

Dimana:

ρ = massa jenis angin (kg/m^3)

c = panjang *chord* (m)

2.2.7 *Prony Brake Dynamometer*

Prony brake adalah salah satu jenis *dynamometer* berjenis penyerapan yang bergantung pada pengaturan torsi tarikan (Yahya, *et al.*, 2016:418). Menurut Hadiputranto, *et al.*, (2015:12) prinsip dasarnya adalah pemanfaatan hambatan dari gesekan mekanik rem *drum*. Torsi merupakan perkalian berat beban dengan panjang tuas. Sehingga persamaannya adalah (Wiratama, *et al.*, 2014:111):

$$P = T.\omega \quad \text{.....} \quad (2.16)$$

Dimana

$\omega = 2\pi \frac{n}{60}$..... (2.17)

Dimana:

T = Torsi (Nm)

2.3 Kerangka Berpikir

Bilah adalah salah satu komponen yang paling penting dalam teknologi turbin angin, karena dapat bersentuhan langsung dengan angin. Energi angin dapat dikonversi oleh bilah menjadi energi putar sebelum diteruskan menjadi energi listrik oleh generator.

Desain bilah sangat mempengaruhi hasil penangkapan energi angin, semakin tinggi efisiensi rancangan bilah, semakin tinggi juga performa yang dapat dihasilkan oleh turbin angin. Dalam penelitian ini, untuk mendapatkan nilai komparasi yang seimbang, bilah di variasikan berdasarkan jenis dan jumlah bilah dengan luas, massa dan panjang yang sama.

Selain itu, perbedaan pengujian dengan dan tanpa menggunkan *prony brake* juga dapat mempengaruhi performa TASH. *Prony brake* merupakan salah satu alat ukur tambahan untuk mengetahui nilai torsi, tetapi mempunyai kekurangan dalam konversi energi listik karena merupakan beban tambahan pada TASH.

2.4 Hipotesis

a. Terdapat pengaruh perbedaan performa TASH dengan dan tanpa menggunakan *prony brake;*

b. Terdapat pengaruh variasi jenis dan jumlah bilah terhadap performa TASH.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berikut adalah hasil kesimpulan eksperimen dengan variasi jenis dan jumlah bilah NACA 3612 yang sesuai dengan kecepatan angin di Indonesia yang berkisar antara 2 m/s sampai 6 m/s (Rachman, 2012).

1. Terdapat perbedaan performa TASH dengan dan tanpa menggunakan *prony brake*. Pengujian tanpa menggunakan *prony brake* dapat menghasilkan kecepatan angin maksimum 52%, daya maksimum 64% dan efisiensi 69% lebih tiggi dari pada pengujian dengan menggunakan *prony brake,* yaitu dengan kecepatan angin maksimum 48%, daya maksimum 36% dan efisiensi 31%.
2. Terdapat pengaruh variasi jenis dan jumlah bilah terhadap performa TASH. Bilah dengan jumlah 2 jenis *taperless* mempunyai putaran bilah maksimum sebesar 876,3 rpm yang menghasilkan daya *output* maksimum sebesar 0,846 Watt untuk pengujian tanpa *prony brake* pada kecepatan angin 6,11 m/s. Bilah dengan jumlah 3 jenis *taper* mempunyai nilai TSR maksimum sebesar 6,256 pada kecepatan angin 3,74 m/s yang berkisar antara 0 sampai 6,256. Bilah dengan jumlah 4 jenis taper mempunyai efisiensi maksimum yang dihasilkan TASH sebesar 2,9% pada kecepatan angin 3,74 m/s untuk pengujian tanpa *prony brake,* sedangkan torsi maksimum yang dihasilkan TASH adalah jenis *taperless* dengan jumlah 2 bilah sebesar 0,0098 Nm untuk pengujian dengan *prony brake* pada kecepatan angin 6,11 m/s.

5.2 Saran

1. Perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut dengan variasi sudut *pitch* dan *twist* untuk mengetahui apakah dapat mempengaruhi performa TASH dan penggunaan generator dengan kapasitas yang lebih besar dengan efisiensi yang tinggi agar dapat hasil yang lebih optimal.
2. Dalam pengembangan penelitian yang sama, perlu adanya teknologi *data logger* yang berfungsi untuk *display and record* dengan menggunakan *micro controller* untuk hasil pengukuran yang lebih akurat.
3. Perlunya pengembangan penelitian TASH dengan menggunakan *prony brake* yang pada umumnya digunakan untuk pengujian performa motor penggerak. Hal ini menjadi perlu karena salah satu *output* pengujian ini yang tidak dimiliki pengukuran lainnya adalah dapat diketahui nilai torsi TASH.

DAFTAR PUSTAKA

Al-Abadi, A., O. Ertune, P. Epple, W. Koerbel, and A. Delgado. 2012. Development of an Experimental Setup for Double Rotor HAWT Investigation. *Proceedings ASME Turbo Expo*. Copenhagen. 1-10.

Aryanto, F., I. M. Mara, dan M. Nuarsa. 2013. Pengaruh Kecepatan Angin dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kinerja Turbin Angin Poros Horizontal. *Dinamika Teknik Mesin* 3(1): 50-59.

Asy'ari, H., A. Budiman, dan W. Setiyawan. 2012. Desain Prototipe Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan Turbin Horizontal dan Generator Magnet Permanen Tipe Axial Kecepatan Rendah. *Prosiding Seminar Nasional Aplikasi Sains & Teknologi (SNAST) Periode III*. Yogyakarta. 42-47

Faqihuddin, M. F., M. Nizam, dan D. D. Tjahjana. 2014. Karakteristik Model Turbin Angin Untwisted Blade dengan Menggunkan Tipe Airfoil NREL S833 pada Kecepatan Angin Rendah. *Mekanika* 12(2): 84-88.

Gulo, W. 2010. *Metodologi Penelitian.* Jakarta: Grasindo.

Hansen, M. O. 2008. *Aerodynamics of Wind Turbine.* 2nd ed. London: Earthscan.

Hepperle, M. 2011. *JavaFoil User's Guide.*

Hidayatullah, N. A., dan H. N. Ningrum. 2016. Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Angin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker. *Journal of Electrical Electronic Control and Automotive Engineering (JEECAE)* 1(1): 7-12.

Ismail, dan T. Arrahman. 2017. Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu Dengan Kapasitas 3 MW. *Presisi* 18(2): 10-19.

Jha, A. 2011. *Wind Turbine Technology.* USA: CRC Press.

Kadir, A. 1995. *Energi "Sumberdaya, Inovasi, Tenaga Listrik dan Potensi Ekonomi"*. Jakarta.

Kinachi, E. 2011. Numerical and Experimental Investigation of the Rotor Blades of an HAWT with a Profile HKAS Inspired by a Maple Seed. *Thesis.* Universitat Duisburg-Essen. North Rhine-Westphalia.

Lanzafame, R., S. Mauro, and M. Messina. 2016. Numerical and Experimental Analysis of Micro HAWTs Designed for Wind Tunnel Aplications. *International Jurnal of Energy and Enviromental Engineering*.

Lobitz, D., P. Veers, and P. Migliore. 1996. Enhanced Performance of HAWTs Using Adaptive Blades. *Researchgate*. 1-8.

Maizi, M., M. Mohamed, R. Dizene, and M. Milhoubi. 2017. Noise Reduction of a Horizontal Wind Turbine Using Different Blade Shapes. *Renewable Energy*: 1-35.

Nakhoda, Y.I. dan C. Saleh. 2015. Rancang Bangun Kincir Angin Sumbu Vertikal. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi Terapan III.* Institut Teknologi Adhi Tama. Surabaya. 59-68

Piggot, H. *Wind Power Workshop.* British: Centre for Alternative Technology.

Priyono. 2016. *Metode Penelitian Kuantitatif.* Sidoarjo: Zifatama.

Rachman, A. 2012. *Analisis dan Pemetaan Potensi Energi Angin di Indonesia.* Depok: Universitas Indonesia.

Robertson, C. R. 2008. *Fundamental Electrical and Electronic Principles.* UK: Newnes.

Sang, L. Q., J. Murata, M. Morimoto, Y. Kamada, T. Maeda, and Q. Li. 2017. Experimental Investigation of Load Fluctuation on Horizontal Axis Wind Turbine for Extreme Wind Direction Change. *Journal of Fluid Science and Technology* 12(1): 1-11.

Sayoga, I. M., I. K. Wiratama, I. M. Mara, dan A. D. Catur. 2014. Pengaruh Variasi Jumlah Blade Terhadap Aerodinamik Performan Pada Rancangan Kincir Angin 300 Watt. *Dinamika Teknik Mesin* 4(2): 103-109.

Sifa, A., Casiman, dan H. Rizqon. 2014. Pengujian Kincir Angin Horizontal Type di Kawasan Tambak sebagai Energi Listrik Alternatif untuk Penerangan. *IRWNS*. 167-171.

Spera, D. A. 2009. *Wind Turbine Technology Fundamental Concept of Wind Turbine Engineering.* New York: ASME.

Suryana. 2010. *Metodologi Penelitian Model Praktis Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif.* Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia.

Wang, W., S. Caro, B. Fouad, and O. R. Mejia. 2013. A Simplified Morphing Blade for Horizontal Axis Wind Turbines. *Journal of Solar Energy Engineering*.

Wijendra, S. A., dan A. Ansori. 2017. Kemiringan Sudut Baling-baling Turbin Angin Sumbu Horizontal dan Kecepatan Angin Terhadap Performa Turbin Angin Sumbu Horizontal. *JTM* 5(1): 119-124.

Wiratama, C. 2016. *Pemilihan Airfoil Pesawat Aeromodeling*. http://aeroengineering.co.id. 15 Juli 2018.

Wiratama, I. K., I. M. Mara, dan L. E. Prina. 2014. Pengaruh Jumlah Blade dan Variasi Panjang Chord Tehadap Performasi Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH). *Dinamika Teknik Mesin* 4(2): 110-116.

Zahra, I. N. 2016. Dasar - Dasar Perancangan Bilah. *Tutorial Perancangan.* PT. Lentera Angin Nusantara.