

SURAT PENCATATAN CIPTAAN

Dalam rangka perlindungan ciptaan di bidang ilmu pengetahuan, seni dan sastra berdasarkan Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta, dengan ini menerangkan:

Nomor dan tanggal permohonan : EC00202204143, 18 Januari 2022

Pencipta

Nama : **Indra Herlamba Siregar, S.T., M.T**
Alamat : **Jl.Semolowaru Utara I/116B Surabaya , Surabaya, JAWA TIMUR, 60119**
Kewarganegaraan : **Indonesia**

Pemegang Hak Cipta

Nama : **LPPM-Universitas Negeri Surabaya**
Alamat : **Gedung Rektorat Kantor LPPM Lantai 6, Kampus Universitas Negeri Surabaya, Lidah Wetan , Surabaya, JAWA TIMUR, 60213**
Kewarganegaraan : **Indonesia**
Jenis Ciptaan : **Buku**
Judul Ciptaan : **Energi Angin Dan Air: Energi Angin Dan Parameter Uji Model Dan Alat Serta Instrumentasi**
Tanggal dan tempat diumumkan untuk pertama kali : **6 Desember 2021, di Surabaya**
di wilayah Indonesia atau di luar wilayah Indonesia
Jangka waktu perlindungan : **Berlaku selama hidup Pencipta dan terus berlangsung selama 70 (tujuh puluh) tahun setelah Pencipta meninggal dunia, terhitung mulai tanggal 1 Januari tahun berikutnya.**
Nomor pencatatan : **000319416**

adalah benar berdasarkan keterangan yang diberikan oleh Pemohon.

Surat Pencatatan Hak Cipta atau produk Hak terkait ini sesuai dengan Pasal 72 Undang-Undang Nomor 28 Tahun 2014 tentang Hak Cipta.



a.n Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia
Direktur Jenderal Kekayaan Intelektual
u.b.
Direktur Hak Cipta dan Desain Industri

Dr. Syarifuddin, S.T., M.H.
NIP.197112182002121001

ENERGI ANGIN DAN AIR



**Energi Angin dan Parameter
Uji Model dan Alat serta
Instrumentasi**

INDRA HERLAMBA SIREGAR

Prakata

Alhamdulillah penyusun panjatkan kepada ALLAH Subhanahu wa ta'ala, atas karunia yang DIA berikan kepada penulis sehingga buku monografi hasil dari penelitian yang berjudul Pengembangan Turbin Angin Sumbu Vertikal Berbasis Bilah Savonius di Terowongan Angin dapat kita selesaikan.

Buku ini disusun sebagai awalan dalam kerangka yang lebih lengkap terkait pembahasan energi angin dan air, sehingga secara garis besar buku ini memang jauh dari sempurna karena semetara waktu hanya membahas 2 pokok bahasan dari rencana 10 pokok pembahasan yaitu energi angin dan parameter uji model dan alat serta instrumentasi yang digunakan dalam penelitian yang terkait dengan model turbin angin di terowongan angin.

Adapun target dari buku ini adalah mahasiswa tingkat akhir, tenaga pengajar ataupun peneliti yang berminat untuk mengembangkan teknologi yang memanfaatkan angin dan air sebagai sumber.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada LPPM Universitas Negeri Surabaya, Fakultas Teknik Universitas Negeri Surabaya selaku lembaga yang membantu dalam hal perijinan dan pendanaan. Tidak Lupa pula kami ucapkan terima kasih kepada Ahmad hafidz, Moch efendy, Ahmad Dwi Cahya Oktavian, Moch Rizal Adi Irawan, Moch zulianto dan Moch iqbal yang banyak membantu hingga buku ini terwujud.

Surabaya, Oktober 2021

Daftar Isi

Kata Pengantar	
Prakata	
Bab 1. Pendahuluan	1
A. Latar Belakang	1
B. Potensi Energi Angin di Indonesia	2
C. Teknologi Turbin Angin	4
D. Gambaran Umum Buku Ini	7
Bab 2. Parameter Uji Model dan Alat Serta Instrumen	9
A. Parameter Uji Model	9
B. Karakteristik Aerodinamis Model	11
C. Alat Dan Instrumen	13
Daftar Pustaka	21

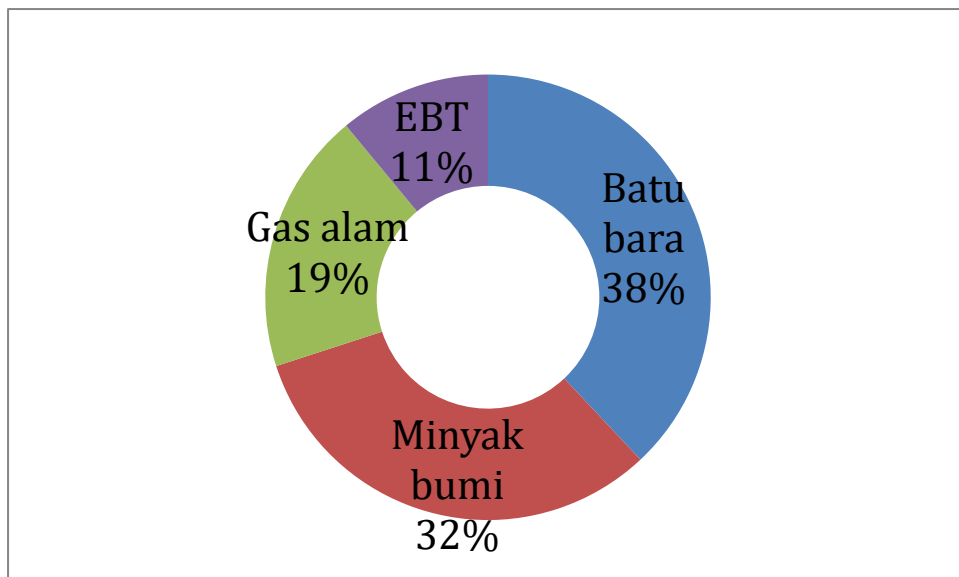
BAB 1.

Pendahuluan

A. Latar Belakang

Seiring dengan tumbuhnya produk domestik bruto perkapita dari penduduk Indonesia yang pada tahun 2021 mencapai Rp 62,2 juta per kapita per tahun (BPS, 2022) dengan jumlah penduduk juga bertambah menurut sensus penduduk tahun 2020 sebesar 270, 2 juta jiwa (BPS, 2021), maka kedua hal ini yaitu tumbuhnya pdb per kapita dan jumlah penduduk berdampak terhadap meningkatnya kebutuhan akan energi.

Energi adalah properties dari suatu zat yang dapat dikonversikan menjadi kerja, panas dan radiasi (Siregar, 2007), dengan tingkat konsumsi energi existing Indonesia tahun 2019 masih didominasi oleh energi fosil sebesar 89 % yang terdiri dari 38 % batu bara, 32 % Minyak bumi, 19 % gas alam, sedangkan energi baru terbarukan menyuplai 11 % dari total konsumsi energi existing Indonesia tahun 2019 (ESDM, 2021).



Sumber foto : Dokumentasi Penulis

Gambar 1. Sumber Energi Primer Indonesia tahun 2020

\cadangan terbukti sebanyak 2,44 miliar barel dan data cadangan yang belum terbukti sebesar 2,44 miliar barel. Sedangkan untuk cadangan gas bumi mencapai 62,4 triliun kaki kubik dengan cadangan terbukti 43,6 triliun kaki kubik (ESDM, 2021). Untuk batu bara cadangan yang terbukti dimiliki oleh Indonesia saat ini sebesar 38,84 milyar ton sedangkan yang belum terbukti sebesar 143,7 milyar ton (ESDM, 2021).

Selain sifat dari energi fosil yang tidak terbaharukan, energi fosil dalam pemanfaatannya sebagai sumber energi berdampak negatif terhadap lingkungan karena dalam pemanfaatannya energi fosil melepas emisi karbon dioksida (CO_2) ke alam, dimana CO_2 adalah termasuk gas rumah kaca dengan nilai *global warming potential* (GWP) sama dengan satu (ESDM, 2018). Pemanasan global berdampak negatif bagi manusia, antaranya adalah mulai dari naiknya suhu permukaan bumi, perubahan curah hujan, naiknya permukaan laut, kebakaran hutan dan lain sebagainya.

Untuk mengatasi hal itu pemerintah Indonesia telah mengeluarkan Peraturan Presiden No.5/2006 tentang Kebijakan Energi Nasional. Perpres menyebutkan kontribusi EBT dalam bauran energi primer nasional pada tahun 2025 adalah sebesar 17% dengan komposisi Bahan Bakar Nabati sebesar 5%, Panas Bumi 5%, Biomasa, Nuklir, Air, Surya, dan Angin 5%, serta batubara yang dicairkan sebesar 2%. Untuk itu langkah-langkah yang akan diambil Pemerintah adalah menambah kapasitas terpasang Pembangkit Listrik Mikro Hidro menjadi 2,846 MW pada tahun 2025, kapasitas terpasang Biomasa 180 MW pada tahun 2020, kapasitas terpasang angin (PLT Bayu) sebesar 0,97 GW pada tahun 2025, surya 0,87 GW pada tahun 2024, dan nuklir 4,2 GW pada tahun 2024 (ESDM, 2008). Sedangkan potensi Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) yang cukup besar antaranya, energi air sebesar 76,67 GW, Biomassa 32,6 GW, energi surya 207,8 GW, energi angin sebesar 60,6 GW, Arus laut sebesar 17,9 GW dan Panas bumi sebesar 23,9 GW (Jayani,2021).

B. Potensi Energi Angin di Indonesia

Indonesia yang memiliki pulau lebih dari 17000 dan garis pantai sepanjang 80.791,42 km, memiliki potensi energi angin yang melimpah, namun salah satu masalah terpenting dalam pengembangan energi angin adalah pengukuran kecepatan angin rata-rata sepanjang tahun. Pengukuran yang tepat terkait kecepatan angin rata-

rata sepanjang tahun harus valid, hal ini sangat penting untuk pemilihan teknologi turbin angin yang akan digunakan.

Indonesia memiliki potensi sumber daya energi angin sekitar 60,6 GW dengan kapasitas terpasang atau yang sudah dimanfaatkan sebesar 0,3% nya yaitu 0,182 GW. Data angin di Indonesia diperoleh dari berbagai pengukuran angin seperti dari National Badan Meteorologi (BMKG) dan dengan pengukuran in-situ dilakukan oleh Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional (LAPAN), *Winrock International USA*, *Wind Guard Germany* bekerja sama dengan Pemerintah Daerah, *Soluziona* bekerja sama dengan ESDM, NipSA_Spain dan institusi terkait lainnya di beberapa area di Indonesia Indonesia. Namun, masih ada lokasi yang belum diakses karena letaknya yang terpencil, besar jumlah lokasi yang terisolasi dan keterbatasan keuangan. Untuk lokasi-lokasi tersebut, kerjasama dengan institusi terkait dan sektor swasta diperlukan. Untuk peningkatan kualitas data, jumlah pengukuran diperluas dengan menggunakan peralatan yang lebih andal dan pengukuran langsung di lokasi pemilihan, Berdasarkan data yang dikumpulkan, sekitar 166 situs di Indonesia telah diukur untuk potensi energi angin dengan data sebaran kecepatan rata-rata angin dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan Data Kecepatan Angin di Berbagai Propinsi

Kategori	Kec Angin (m/s)	Propinsi
Rendah	< 3 m/s	Sumatera Utara, Sumatera Barat, Sumatera Selatan, Bengkulu, Banten, Jawa Barat, DI Yogyakarta, Kalimantan Tengah, Kalimantan Utara dan Gorontalo
Marginal	3,0 - 4,0	Jambi, Lampung, DKI Jakarta, Kalimantan Timur, Kalimantan Selatan, Sulawesi Tengah, Sulawesi Selatan, Sulawesi Tenggara, Sulawesi Barat, Maluku Utara dan Papua Barat
Cukup	4,0 - 5,0	Aceh, Riau, Kep Bangka Belitung, Nusa Tenggara Barat dan Timur, Kalimantan Barat, Sulawesi Utara, Maluku dan Papua
Baik	$\geq 5,0$	Kep Riau, Jawa Tengah, Jawa Timur dan Bali

Sumber : (BPS, 2017)

Tabel 1. menunjukkan bahwa kepulauan Riau, Jawa Tengah, Jawa Timur dan Bali memiliki potensi energi angin yang baik dengan kecepatan angin rata-rata di atas

5 m / s. Selain itu propinsi Aceh, Riau, Kep Bangka Belitung, Nusa Tenggara Barat dan Timur, Kalimantan Barat, Sulawesi Utara, Maluku dan Papua memiliki potensi yang cukup dengan kecepatan rata-rata berkisar antara 4 - 5 m / s, jika diplot dalam gambar sebaran kecepatan angin di Indonesia dapat dilihat pada gambar 2.

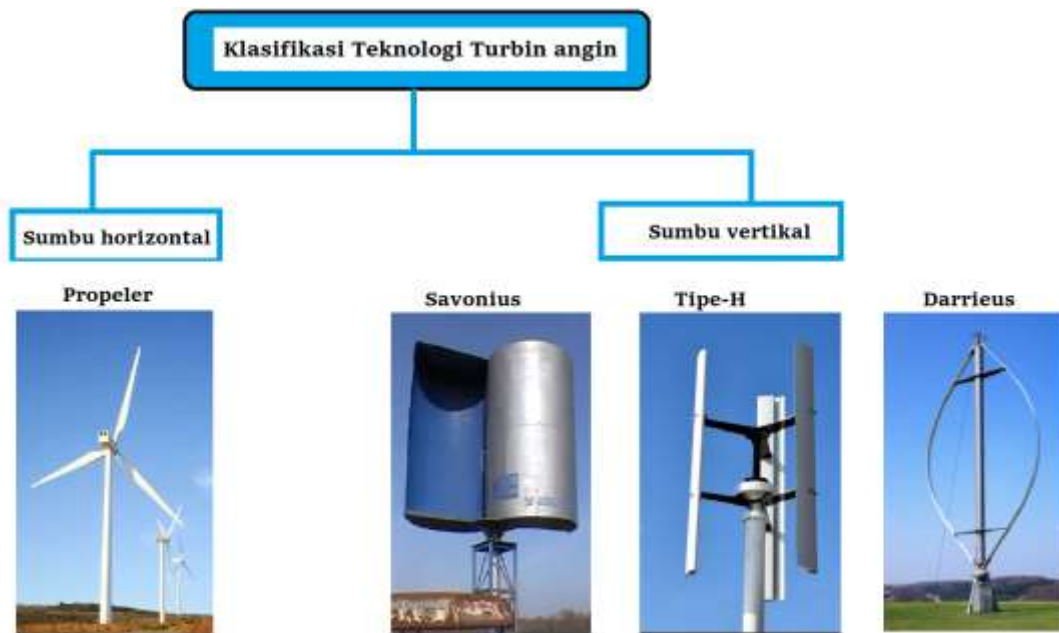


Sumber foto : (P3TKEBT, 2021)

Gambar 2. Peta Angin Indonesia pada ketinggian 50 m.

C. Teknologi Turbin Angin

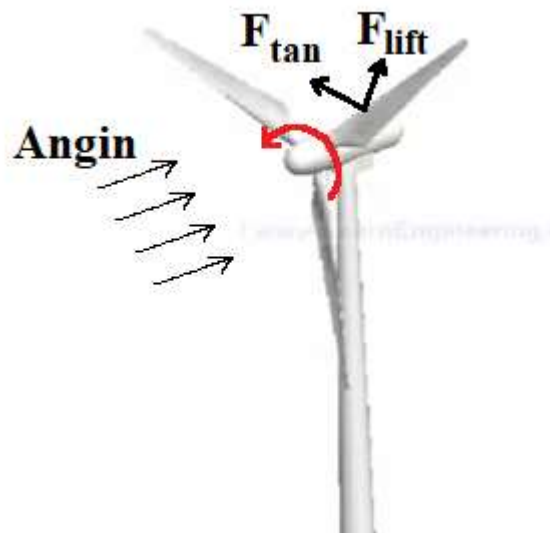
Pemanfaatan energi angin akhir-akhir ini cukup gencar terutama di Indonesia yang memiliki potensi 60,6 GW dengan kapasitas terpasang atau yang sudah dimanfaatkan sebesar 0,3% nya yaitu 0,182 GW. Teknologi yang memanfaatkan energi angin ini disebut turbin angin yang secara garis besar dengan acuannya arah angin dengan poros turbin, maka turbin angin di klasifikasikan menjadi dua bagian yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertikal dimana turbin angin sumbu vertikal dibagi lagi menjadi tiga yaitu turbin angin savonius, darrieus dan turbin angin tipe-H seperti terlihat pada gambar 3.



Sumber foto : Dokumentasi Penulis

Gambar 3. Klasifikasi Turbin angin.

Prinsip kerja turbin angin turbin angin horizontal adalah angin yang mengenai permukaan bilah akan menimbulkan gaya lift dan drag yang resultannya menghasilkan gaya tangensial yang memutar turbin lihat gambar 4.

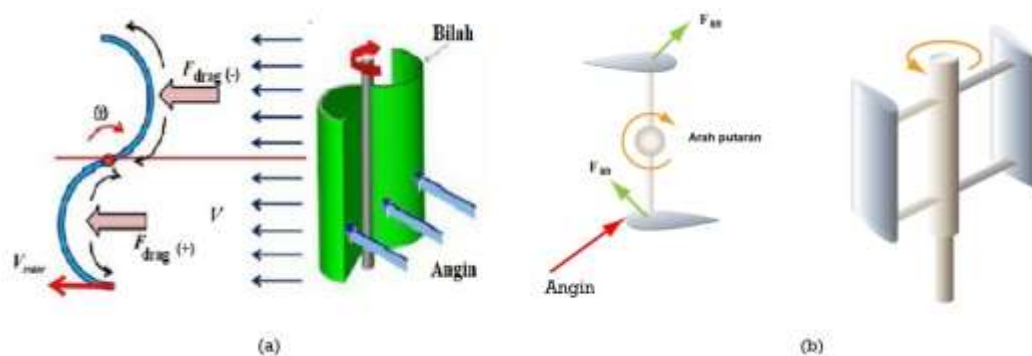


Sumber foto : Dokumentasi Penulis

Gambar 4. Prinsip Kerja Turbin Angin Horizontal.

Pada turbin angin horizontal gaya lift adalah gaya yang dominan yang menyebabkan bilah berputar.

Untuk turbin angin vertikal yang terbagi menjadi tiga yaitu Savonius dimana pada bilah ini gaya drag merupakan gaya yang dominan untuk memutar bilah. Gaya drag negatif adalah gaya drag yang tercipta ketika angin mengenai permukaan bilah yang cembung sedangkan gaya drag positif adalah gaya drag yang tercipta ketika angin mengenai permukaan bilah savonius yang cekung selisih gaya drag positif dan negatif yang menyebabkan turbin angin berputar lihat gambar 5.a, sebaliknya untuk turbin angin vertikal jenis Darrieus dan Tipe-H gaya liftlah yang dominan yang menyebabkan turbin angin berputar lihat gambar 5.b



Sumber foto : Dokumentasi Penulis

Gambar 5. Prinsip Kerja Turbin Angin Vertikal.

Secara umum perbandingan antara turbin angin sumbu horizontal dengan sumbu vertikal antara lain dari sisi efisiensi turbin, turbin angin sumbu horizontal lebih baik daripada turbin angin sumbu vertikal, oleh karena efisiensi turbin angin sumbu horizontal tinggi maka jenis turbin ini banyak dikembangkan dan di aplikasikan di berbagai negara sebagai sistem yang memanfaatkan angin sebagai sumber energi. Selain itu banyak kelemahan turbin angin sumbu horizontal dibandingkan dengan turbin sumbu vertikal antara lain bahwa turbin angin horizontal harus selalu diarahkan ke arah angin agar dapat bekerja secara efisien, dengan arah angin yang tidak dapat diprediksi, diperlukan mekanisme ekstra untuk memastikan baling-baling akan selalu menghadap ke arah angin untuk mengekstrak output daya maksimum. Sedangkan turbin angin sumbu vertikal dapat bekerja dismeua arah angin disebabkan desain porosnya yang tegak lurus dengan datangnya arah angin. Polusi suara yang dihasilkan oleh turbin angin horizontal lebih tinggi daripada turbin angin sumbu vertikal. Dari sisi kecepatan awal angin agar turbin berputar atau Cut in Speed maka kecepatan awal angin yang dibutuhkan oleh turbin angin sumbu horizontal lebih

besar daripada kecepatan awal angin yang dibutuhkan oleh turbin angin sumbu vertikal untuk berputar. Desain turbin angin sumbu horizontal lebih rumit dari turbin angin sumbu vertikal hingga dari sisi manufaktur turbin angin sumbu vertikal lebih mudah dengan biaya lebih rendah daripada turbin angin sumbu horizontal (Johari et.al, 2018).

D. Gambaran Umum Buku Ini

Oleh karena berbagai alasan mulai dari kecepatan angin rata-rata di Indonesia rendah, arah angin yang berubah-ubah karena letak posisi Indonesia di garis katulistiwa dan dari sisi manufaktur lebih mudah dengan biaya lebih rendah maka penulis fokus dalam mengembangkan turbin angin sumbu vertikal terutama sumbu vertikal berbasis turbin angin Savonius yang dilakukan dalam skala model pada lingkungan uji berupa simulasi dengan terowongan angin.

Pada edisi perdana ini BAB 1 berisikan latar belakang mengapa kita perlu memanfaatkan angin sebagai sumber energi, kemudian diikuti dengan uraian terhadap potensi energi angin di Indonesia dari sub ini kita dapat memetakan daerah-daerah yang memiliki potensi yang besar untuk dibangun turbin angin. Kemudian pembahasan dilanjutkan dengan teknologi turbin angin dimana disub bab ini diuraikan mengapa penulis fokus pada turbin angin sumbu vertikal dan BAB 1 ini ditutup dengan gambaran umum buku ini.

BAB 2 berisikan uraian terkait dengan persamaan-persamaan yang terkait dengan kinerja suatu model turbin angin seperti daya angin, daya turbin, densitas daya, koefisien kinerja dan koefisien torsi dari model turbin. Agar persamaan ini dapat dipergunakan maka diperlukan peralatan dan instrumen yang berfungsi untuk mendapatkan suatu data dari parameter-parameter dari persamaan terkait. Adapun peralatan yang terkait berupa terowongan angin, beban, *scale*, kipas, inverter dan motor listrik. Sedangkan instrumen yang dipergunakan berupa anemometer, Thermo-hygrometer digital, tachometer dan manometer.

BAB 3 berisikan desain model turbin angin berbasis savonius dengan celah dibilah. Desain pertama adalah dengan celah dibilah dengan bukaan sudut tertentu, bilah berupa plat berukuran 30 mm x 30 mm. Desain kedua bukaan bilah tidak pada bukaan sudut tertentu tetapi bukaan bilah berayun bebas pada engsel, kemudian kedua desain model turbin angin dibandingkan. Hasil terbaik dari perbandingan kedua

desain tersebut akan di uji lanjut dengan menambahkan pengarah angin berupa pluit box dan *omnidirectional guide vane*. Pada pengujian model turbin angin dengan penambahan pengarah angin berupa *omnidirectional guide vane* selain diukur kinerjanya juga diukur tekanan dipermukaan bilah dari model turbin angin.

BAB 4 berisikan desain model turbin angin berbasis savonius dengan bilah pengganggu. Desain pertama adalah model turbin dengan bilah pengganggu tandem dengan variasi jarak celah bilah pengganggu tandem dengan bilah utama. Desain berikutnya adalah variasi dari sudut busur dari bilah pengganggu tandem yang mana desain yang menghasilkan kinerja yang terbaik diujikan lagi dengan menambahkan pengarah angin statis berupa *Omnidirectional Guide Vanes*. Kemudian desain terakhir pada bab ini adalah berupa bilah pengganggu jenis *moveable Omnidirectional Guide Vanes* yaitu pengarah angin jenis *Omnidirectional Guide Vanes* yang ikut bergerak dengan bilah utama.

BAB 5 berisikan desain model turbin angin berbasis savonius dengan bilah tandem, desain ini sebenarnya termasuk seperti bab sebelumnya berupa bilah pengganggu dengan perbedaan pada bab ini luasan bilah pengganggu yang disusun tandem dengan bilah utama luasannya lebih dari bilah utama yang bertujuan untuk mendapatkan celah antara bilah tandem dan bilah utama, sehingga ketika aliran udara melintasi celah tersebut mampu mengakselerasi angin dan membantu mendorong bilah cembung seraha putaran model turbin angin atau mereduksi torsi negatif.

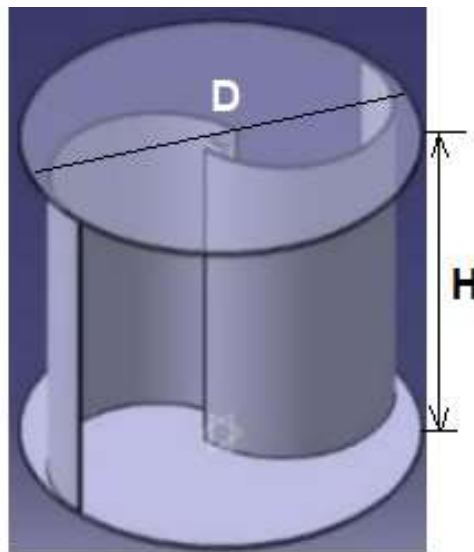
BAB 6 merupakan bab penutup dari buku ini yang berisikan ringkasan kinerja dari desain yang dibahas dalam buku ini.

BAB 2.

Parameter Uji Model Dan Alat Serta Instrumen

A. Parameter Uji Model

Kinerja suatu model turbin angin sumbu vertikal berbasis bilah savonius seperti gambar 6 dapat dianalisa dengan persamaan-persamaan berikut ini.



Sumber foto: Dokumentasi Penulis

Gambar 6. Model Turbin Angin Vertikal Berbasis Bilah Savonius

1. **Daya Angin** adalah laju energi kinetik udara yang menimpa permukaan model dari turbin angin

$$P_w = \frac{1}{2} \dot{m} V^2$$

$$\dot{m} = \rho A V$$

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

Dimana

P_w : Daya angin (W)

ρ : Densitas udara (kg/m^3)

A = tinggi (H) x diameter turbin (D)

: Luas sapuan turbin angin (m^2)

V : Kecepatan angin (m/s)

2. **Daya Turbin** adalah kemampuan turbin mengkonversi laju energi kinetik angin yang dapat dihasilkan oleh yang diformulasikan sebagai berikut :

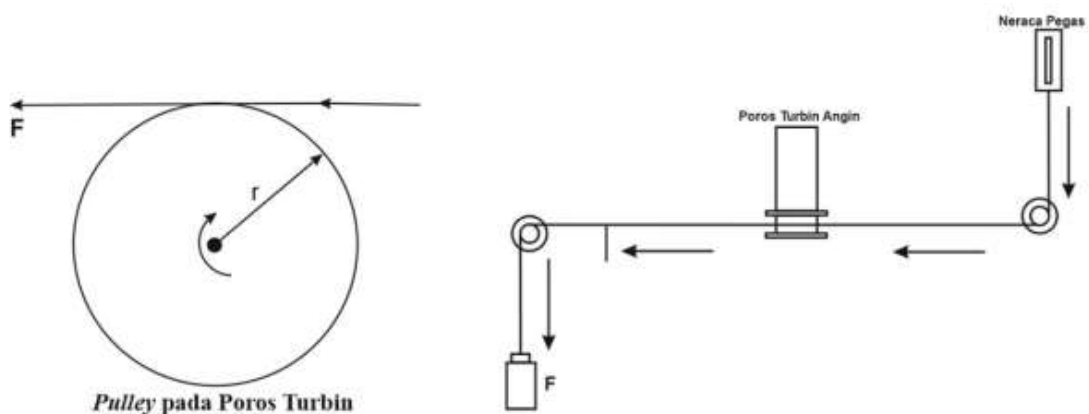
$$P_T = T \cdot \omega \dots\dots\dots (2)$$

Dimana

P_T : Daya turbin (W)

ω : Putaran poros turbin (rps)

T : Torsi poros (N.m) yang diperoleh dengan mengerem poros dengan tali yang dibebani seperti terlihat pada gambar 7



Sumber foto: Dokumentasi Penulis

Gambar 7. Skema pengereman tali pada poros turbin angin untuk mendapatkan torsi

3. **Densitas Daya Turbin Angin** adalah suatu nilai yang menunjukkan daya yang dapat dibangkitkan oleh model turbin angin per luasan sapuan turbin angin yang diformulasikan sebagai berikut :

$$P_T'' = \frac{P_T}{A} \dots\dots\dots (3)$$

4. **Koefisien Kinerja Turbin Angin** adalah suatu nilai yang menunjukkan efisiensi turbin angin dalam mengkonversi potensi daya angin menjadi daya turbin angin yang diformulasikan sebagai berikut :

$$C_p = \frac{P_T}{P_W} \dots\dots\dots (4)$$

5. **Tip Speed Ratio** adalah perbandingan kecepatan di ujung bilah turbin (tip) dengan kecepatan udara yang diformulasikan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{\omega R}{U} \dots\dots\dots (5)$$

6. **Koefisien Torsi Turbin Angin** adalah suatu nilai yang menunjukkan kemampuan turbin angin menghasilkan torsi yang diformulasikan sebagai berikut :

$$C_T = \frac{C_p}{\lambda} \dots\dots\dots (6)$$

B. Karakteristik Aerodinamis Model

Selain kinerja suatu model turbin angin sumbu vertikal berbasis turbin angin savonius perlu juga menganalisa karakteristik aerodinamisnya yang diuraikan berdasarkan gambar x.3 dengan persamaan-persamaan berikut ini.

1. **Koefisien Tekanan** adalah suatu nilai yang menunjukkan selisih tekanan statik pada permukaan bilah dengan tekanan udara yang diformulasikan sebagai berikut :

$$C_{Pr} = \frac{2(P - P_a)}{\rho V^2} \dots\dots\dots (7)$$

Dimana

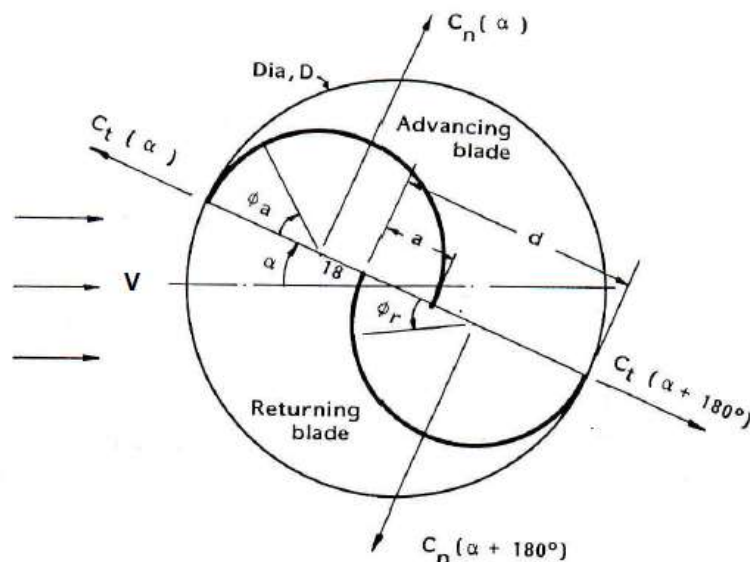
C_{Pr} : Koefisien Tekanan

P : Tekanan statis pada bilah (Pa)

P_a : Tekanan atmosfer (Pa)

ρ : Densitas udara (kg/m^3)

V : Kecepatan angin (m/s)



Sumber foto: Dokumentasi Penulis

Gambar 8. Skema gaya yang bekerja pada bilah Savonius

2. **Gaya yang bekerja pada bilah** adalah gaya normal (F_n) dan tangensial (F_t) terhadap bilah. Gaya normal dan tangensial ini diperoleh dari data tekanan statis pada pressure tap yang ada dipermukaan bilah yang diformulasikan sebagai berikut :

$$F_n = \int_0^{\pi} \Delta P \frac{d}{2} \cos \Phi d\Phi = \sum_{i=1}^n \Delta P_i \frac{d}{2} \cos \Phi_i \Delta \Phi_i \dots\dots\dots(8)$$

$$F_t = \int_0^{\pi} \Delta P \frac{d}{2} \sin \Phi d\Phi = \sum_{i=1}^n \Delta P_i \frac{d}{2} \sin \Phi_i \Delta \Phi_i \dots\dots\dots(9)$$

Hasil integral dari gaya normal dan tangensial di dekati dengan formulasi numerik.

3. **Koefisien Drag** yang bekerja pada bilah terdiri dari arah normal dan tangensial yang diformulasikan sebagai berikut :

$$C_n = \frac{2 F_n}{\rho V^2 d} \dots\dots\dots (10)$$

$$C_t = \frac{2 F_t}{\rho V^2 d} \dots\dots\dots (11)$$

4. **Torsi pada poros** adalah efek dari perkalian gaya normal dengan jari-jari bilah yang diformulasikan seperti terlihat pada persamaan 12:

$$T = F_n * \frac{d}{2} * (1 - S) \dots\dots\dots (12)$$

Persamaan 12 dapat disederhanakan untuk mendapatkan koefisien torsi untuk satu bilah pada sudut tertentu

$$C_q(\alpha) = C_n(\alpha) \frac{1 - S}{2 - S} \dots\dots\dots (13)$$

Torsi statik yang dihasilkan koefisien torsi pada rotor dapat diformulasikan sebagai berikut :

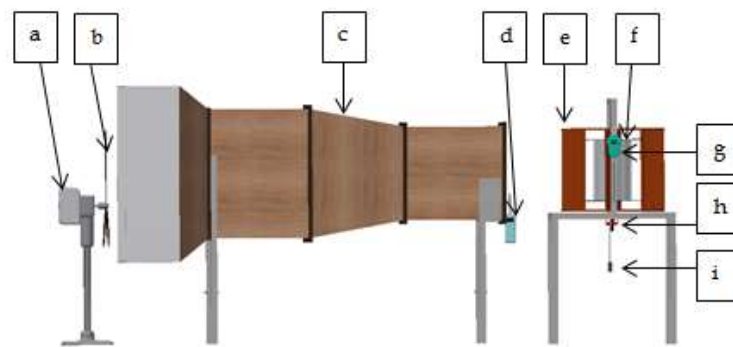
$$C_Q(\alpha) = [C_n(\alpha) + C_n(\alpha + 180)] \frac{1 - S}{(2 - S)^2} \dots\dots(14)$$

Dimana $C_n(\alpha)$ merujuk kepada koefisien drag bilah cekung dan $C_n(\alpha + 180)$ merujuk kepada koefisien drag bilah cembung.

C. Alat Dan Instrumen

Selain parameter uji model diperlukan juga peralatan dan instrument yang terkait agar parameter yang diuji dapat dianalisa adapun peralatan dan instrument yang digunakan sebagai berikut:

1. Rangkaian Terowongan angin

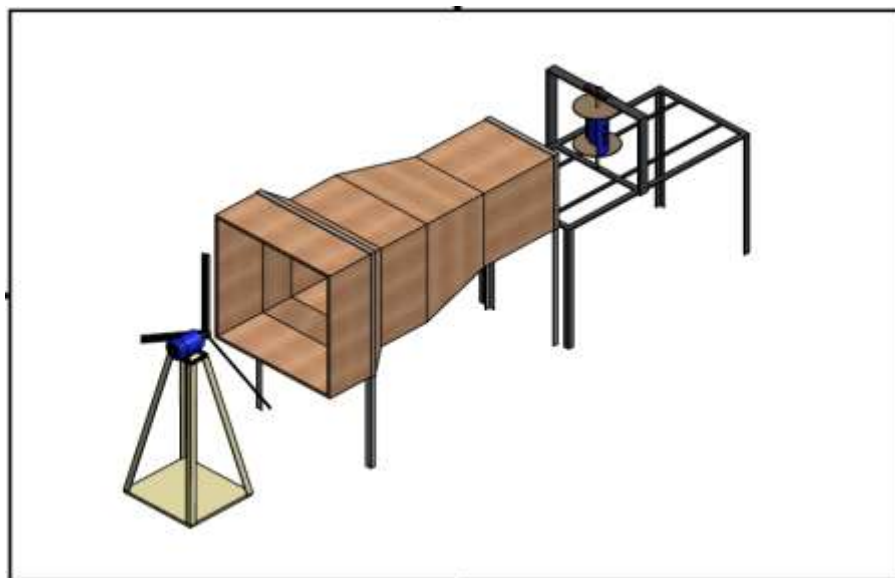


Sumber foto: Dokumentasi Penulis

Gambar 9. Rangkaian penelitian terowongan angin tampak samping

Keterangan :

- a. Inverter
- b. Kipas
- c. Terowongan
- d. Anemometer
- e. Deflektor
- f. *Swirling Savonius*
- g. Neraca
- h. Puly
- i. Beban



Sumber foto: Dokumentasi Penulis

Gambar 10. Rangkaian penelitian terowongan angin tampak isometri

Adapun spesifikasi terowongan angin yang digunakan adalah sebagai berikut:

Lubang Masuk : 65 x 65 cm
Lubang Keluar : 50 x 50 cm
Luasan Keluar : 2025 cm²
Kisi Pemecah Angin : Tersedia

2. *Tachometer*

Tachometer adalah sebuah alat pengujian yang dirancang untuk mengukur kecepatan rotasi dari sebuah objek seperti mengukur putaran permenit (RPM) dari poros turbin.

Spesifikasi:

Measurement & Range : Photo *Tachometer*: 10 to 99,999 rpm.

Contact Tachometer : 0.5 to 19,999 RPM.

Resolution : 0.1 RPM (< 1,000 RPM).
1 RPM (> 1,000 RPM).

Accuracy : $\pm (0.05\% + 1 \text{ digit})$, RPM only.



Sumber foto: Dokumentasi Penulis

Gambar 11. *Tachometer*

3. Kipas

Kipas adalah sebuah alat yang digunakan untuk membangkitkan angin yang diarahkan ke terowong angin sebagai simulasi keadaan angin di lapangan.



Sumber foto: Dokumentasi Penulis

Gambar 12. *Tachometer*

Spesifikasi:

Size	: 26" (inch)
Power Input	: 142 – 187 W
Rotation Speed (RPM)	: up to 1400

4. Anemometer

Anemometer adalah sebuah alat ukur yang digunakan untuk mengukur atau menentukan kecepatan angin.



Sumber foto: Dokumentasi Penulis

Gambar 13. Anemometer

Spesifikasi:

Air Velocity : m/s (meter per second)

Range : 0.6 – 30.00

Resolution : 0.01

Basic Accuracy : $\pm 3\% \pm 0.20 \text{ m/s}$

5. Neraca Digital

Alat Ukur yang di gunakan untuk mengukur gaya reaksi akibat pengereman poros turbin Angin lihat gambar 14.

Spesifikasi:

Kapasitas Total : 5 Kg/5000 gr



Sumber foto: Dokumentasi Penulis

Gambar 14. Neraca Digital

6. Beban anak neraca.

Anak neraca adalah sebagai beban pengereman yang diberikan pada poros turbin angin



Sumber foto: Dokumentasi Penulis

Gambar 15. Anak neraca

7. *Manometer*

Manometer berfungsi untuk mengetahui tekanan angin yang terjadi dipermukaan bilah turbin ketika angin menabrak permukaan bilah

Spesifikasi:

Fluida : minyak diberi pewarna

Sudut : 15°

Bahan Selang : Plastik



Sumber foto: Dokumentasi Penulis

Gambar 16. *Manometer*

8. Thermo-Hygrometer Digital

Thermo-Hygrometer Digital berfungsi untuk mengukur temperatur angin yang menerpa bilah turbin angin sekaligus juga untuk mengukur densitas dari udara pada temperatur yang terukur.



Sumber foto: Dokumentasi Penulis

Gambar 17. Thermo-Hygrometer Digital

Spesifikasi sebagai berikut :

Model	: HANNA HI 9565 Thermo-Hygrometer
Rentang suhu	: 0 s.d 60° C
Rentang Dew Point	: -20 s.d 60° C
Rentang RH	: 20.0 to 95.0%
Resolusi	: 0.1% RH
Baterai	: 1x 9 V

9. Inverter Kendali Kipas.

Inverter berfungsi untuk mengatur frekuensi arus listrik yang masuk kemotor sehingga putaran motor bisa dikendalikan, tujuan pengendalian putaran motor terkait dengan simulasi nilai kecepatan yang menerpa bilah turbin angin dapat berubah-ubah sehingga dapat mensimulasikan rentang kecepatan angin real dilapangan di Indonesia.



Sumber foto: Dokumentasi Penulis

Gambar 18. Inverter

Spesifikasi sebagai berikut :

Model	: CT-2002ES-A75
Kw/Hp	: 0,75KW/1HP
Input	: 220V 50/60HZ
Rated Current	: 4.2A
Lot No	: 700598-006

Daftar Pustaka

- Siregar, I. H. (2007). *Mesin Konversi energi*. Surabaya: Unipress UNESA.
- ESDM. (2021, Juli 15). *Eksisting Kondisi Energi Indonesia*. Retrieved September 29, 2022, from <https://www.esdm.go.id/id/publikasi/infografis>.
- ESDM. (2018). *Pedoman Perhitungan dan Pelaporan Inventaris Gas Rumah Kaca*. Retrieved September 29, 2022, from https://www.gatrik.esdm.go.id/assets/uploads/download_index/files/56959-buku-pedoman-igrk-pembangkit-2018.pdf
- BPS. (2022). *Statistik Indonesia 2022*. Jakarta BPS-Statistics Indonesia.
- BPS. (2021, Januari 21). *Hasil Sensus Penduduk 2020*. Retrieved September 30, 2022, from www.bps.go.id: <https://www.bps.go.id/galeri#>.
- ESDM. (2008, Agustus 24). *Potensi Energi Baru Terbarukan (EBT) Indonesia*. Retrieved September 30, 2022, from <https://www.esdm.go.id:https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/potensi-energi-baru-terbarukan-ebt-indonesia>.
- ESDM. (2021, Januari 19). *Menteri ESDM: Cadangan Minyak Indonesia Tersedia untuk 9,5 Tahun dan Cadangan Gas 19,9 Tahun*. Retrieved September 30, 2022, from <https://www.esdm.go.id:https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/menteri-esdm-cadangan-minyak-indonesia-tersedia-untuk-95-tahun-dan-cadangan-gas-199-tahun>.
- ESDM. (2021, Juli 21). *Menteri ESDM: Cadangan Batubara Masih 38,84 Miliar Ton, Teknologi Bersih Pengelolaannya Terus Didorong*. Retrieved September 30, 2022, from <https://www.esdm.go.id:https://www.esdm.go.id/id/media-center/arsip-berita/cadangan-batubara-masih-3884-miliar-ton-teknologi-bersih-pengelolaannya-terus-didorong>.
- Jayani, D. H. (2021). *Potensi Besar Energi Terbarukan*. Retrieved September 30, 2022, from <https://katadata.co.id:https://katadata.co.id/ariayudhistira/infografik/60506b1591242/potensi-besar-energi-terbarukan-indonesia>.
- BPS. (2017, Nopember 15). *Kecepatan Angin dan Kelembaban di Stasiun Pengamatan BMKG, 2011-2015*. Retrieved Oktober 01, 2022, from www.bps.go.id: <https://www.bps.go.id/statictable/2017/02/08/1960/kecepatan-angin-dan-kelembaban-di-stasiun-pengamatan-bmkg-2011-2015.html>.
- P3TKEBT. (2021, Januari 20). *Potensi Energi Angin Indonesia 2020*. Retrieved Oktober 01, 2022, from https://p3tkebt.esdm.go.id:https://p3tkebt.esdm.go.id/pilot-plan-project/energi_angin/potensi-energi-angin-indonesia-2020.

Johari, M.K., Jalil, M.A. A., Shariff, M.F.M. (2018). *Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT).* *International Journal of Engineering & Technology*, 7 (4.13) (2018) 74-80. <https://doi.org/10.14419/ijet.v7i4.13.21333>.

Plourde, B.D., Abraham, J.P., Mowry, G.S., and Minkowycz, W.J. (2011). *An experimental investigation of a large, vertical-axis wind turbine: Effects of venting and capping.* *Wind Engineering*, 35(2), 213-222. <https://doi.org/10.1260/0309-524X.35.2.213>.

Dumitrescu, H., Dumitrache, A., Popescu, C. L., Popescu, M. O., Frunzulică, F., & Crăciunescu, A. (2014). Wind tunnel experiments on vertical-axis wind turbines with straight blades. In *International conference on renewable energies and power quality*.

