

RANCANG BANGUN BALING-BALING TIPE VERTIKAL PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN DENGAN BAHAN SERAT KELAPA SAWIT KAPASITAS 500 WATT

Jamaludin¹, Arief Alfi Ardian² dan Sumarno³

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Tangerang
Jl. Perintis Kemerdekaan I/33 Cikokol-Tangerang
E-mail: jamaludin211183@gmail.com

Submitted Date: Desember 1, 2024
Revised Date: Desember 15, 2024

Reviewed Date: Desember 10, 2024
Accepted Date: Desember 31, 2024

Abstract

Wind energy can be utilized in wind power plants. Wind power generation is a method for generating electrical energy by rotating a wind turbine which is connected to a generator as an electricity generator, then the electrical energy produced by the generator is stored in an electrical energy storage element (battery). The most important part of a Wind Power Plant is in Wind Turbines or commonly called Propellers. The design and manufacture of this propeller uses dried palm oil fiber as a substitute for glass fiber to reduce environmental pollution and utilize waste from palm oil processing. The propellers in this wind power plant (PLTB) are designed in this thesis with the aim of capturing wind which will be converted into electricity. The design of these propellers is taken into account in various aspects, especially in the aspect of the cross-sectional area which has a width of 25 cm and a height of 25 cm. 50 cm. This size produces 68.0945 watts of power at a wind speed of 6.1 m/s.

Keywords: Wind Energy, Propeller, Power.

Abstrak

Energi angin dapat dimanfaatkan pada pembangkit listrik tenaga angin. Pembangkit listrik tenaga angin merupakan suatu metode untuk membangkitkan energi listrik dengan cara memutar turbin angin yang dihubungkan ke generator sebagai pembangkit listrik, kemudian energi listrik yang dihasilkan oleh generator disimpan dalam elemen penyimpanan energi listrik (baterai). Bagian terpenting dari sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA) terdapat pada turbin angin atau biasa disebut dengan baling-baling. Perancangan dan pembuatan baling-baling ini menggunakan bahan dasar serat kelapa sawit yang sudah dikeringkan sebagai pengganti *fiber glass* untuk mengurangi pencemaran lingkungan dan pemanfaatan limbah dari pengolahan kelapa sawit. Baling-baling pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTB) ini dirancang dengan tujuan untuk menangkap angin yang akan dikonversi menjadi listrik. Perancangan baling-baling ini sangat memperhitungkan berbagai aspek, terutama pada aspek ukuran luas penampang yang memiliki lebar 25 cm dan tinggi 50 cm. Ukuran tersebut menghasilkan daya sebesar 68,0945 watt dikecepatan angin 6,1 m/s.

Kata kunci: Energi Angin, Baling-Baling, Daya.

I. Pendahuluan

Semakin meningkatnya kebutuhan energi seiring dengan perkembangan teknologi saat ini mendorong pemerintah Indonesia untuk mengupayakan sumber energi baru dan terbarukan mengingat jumlah ketersediaan energi dari bahan bakar yang bersumber dari fosil makin berkurang (Silla et al., 2022). Krisis energi ini harus ditangani dengan sangat serius, karena jumlah ketersediaan bahan bakar yang bersumber dari fosil yang sudah menipis.

Untuk menjawab hal ini, maka yang dipilih sebagai bahan energi adalah angin.

Untuk mengkonversi energi angin menjadi energi listrik dibutuhkan turbin angin, salah satu jenis turbin angin adalah turbin angin sumbu vertikal (Ismail et al., 2017) dengan menggunakan material komposit dari kelapa sawit. Hal ini dikarenakan baling-baling tipe vertikal dapat meningkatkan efisiensi pembangkit listrik karena dapat memanfaatkan energi kinetik angin secara lebih efektif dan ringan, bisa menahan beban yang lebih baik, dan tahan terhadap korosi jika dilihat secara teknis, sedangkan secara ekonomis dengan efisiensi yang lebih tinggi, baling-baling tipe vertikal dapat menghemat biaya operasional

pembangkit listrik serta dapat mengurangi biaya produksi dan juga bisa mengurangi limbah dilihat dari segi lingkungan (Idris et al., 2020). Turbin jenis ini memanfaatkan gaya dorong (*lift force*) pada sudu. Sudu adalah bagian dari turbin yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik dari fluida (seperti air, angin atau uap) menjadi energi mekanik (Halek, 2022). Sudu-sudu tersebut dirancang untuk memaksimalkan transfer energi dari fluida ke turbin berpenampang *airfoil* untuk berputar. Kecepatan putaran rotor ditentukan dengan besarnya ketersediaan angin dan besarnya gaya dorong sudu, sehingga pengaturan sudut pemasangan sudu menjadi hal yang menarik untuk diteliti. Pada penelitian sebelumnya dengan judul Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sumbu Vertikal, keterbaruan dari penelitian ini adalah dengan menggunakan komposit kelapa sawit sebagai bahan dari baling-baling turbin angin.

Energi angin dapat dimanfaatkan pada pembangkit listrik tenaga angin atau yang lebih dikenal dengan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB). Pembangkit listrik tenaga angin merupakan suatu metode untuk membangkitkan energi listrik dengan cara memutar turbin angin yang dihubungkan ke generator sebagai pembangkit listrik, kemudian energi listrik yang dihasilkan oleh generator disimpan dalam elemen penyimpan energi listrik (Nuryogi & Subiyanto, 2019). Untuk menjaga tegangan keluaran dari generator maka dibutuhkan suatu pengendali atau *controller* agar energi listrik yang masuk kedalam baterai optimal. Bagian terpenting dari sebuah Pembangkit Listrik Tenaga Angin terdapat pada seberapa besar sudu-sudu pada turbin angin menangkap daya angin atau biasa disebut dengan baling-baling (Khusnawati et al., 2022). Baling-baling pada PLTB ini dirancang dalam penelitian ini bertujuan untuk menangkap angin yang akan dikonversi menjadi listrik.

II. Metode Penelitian

Adapun metode penelitian yang dilakukan dalam proses penelitian pada pembangkit listrik tenaga angin tipe vertikal

ini dengan metode perancangan serta pengujian di antaranya yaitu:

1. Studi Lapangan
Mempelajari turbin dan mekanismenya, untuk merancang alat turbin angin ini terlebih dahulu dilakukan pengamatan dan pembelajaran dari turbin angin yang sudah ada untuk pencarian data.
2. Metode *interview*
Metode *interview*, yaitu suatu metode pengumpulan data dimana penulis mengadakan wawancara secara langsung dengan narasumber yang mempunyai keahlian dibidangnya.
3. Studi Literatur
Mempelajari literatur yang membantu dan mendukung proses manufaktur dan perakitan (*assembling*) turbin angin, mempelajari dasar rancangan elemen mesin, langkah-langkah kinerja dari turbin angin, dan literatur lain yang mendukung.

Pada pengujian kali ini data-data yang akan diamati adalah parameter kecepatan angin yang akan diukur dengan menggunakan *anemometer*, putaran poros turbin yang diukur dengan menggunakan *tachometer*, dan mengukur besarnya gaya pengereman yang diperlukan untuk mengerem putaran poros pada turbin angin (Khusnawati, 2022). Data yang diperoleh nantinya akan digunakan untuk menghitung torsi, putaran poros, dan gaya pengereman yang bekerja pada turbin angin, kemudian diolah didalam rumus dan ditampilkan dalam bentuk grafik.

III. Hasil dan Pembahasan

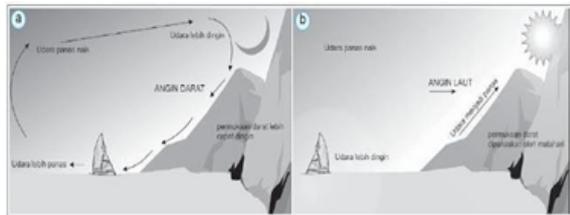
3.1 Angin

Angin merupakan salah satu unsur yang dapat mempengaruhi kondisi cuaca dan iklim. Angin adalah pergerakan udara yang disebabkan adanya perbedaan tekanan udara yang mengakibatkan adanya hembusan atau tiupan disuatu tempat atau daratan (Bachtiar dan Hayattul, 2018).

Macam-macam angin di antaranya yaitu:

1. Angin Darat dan Angin Laut
Angin darat terjadi pada malam hari, karena suhu di laut pada malam hari sangat tinggi karena air laut dapat menahan panas matahari

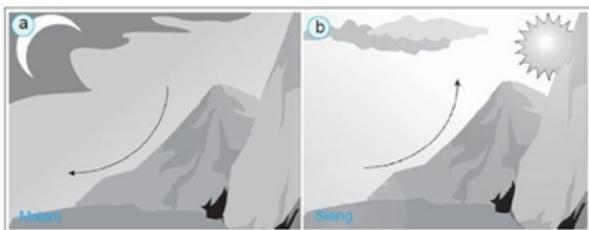
pada siang hari. Angin laut terjadi pada siang hari, karena suhu di darat lebih tinggi karena pantulan panas matahari merenggangkan udara di daratan. Proses terjadinya angin darat dan angin laut ini ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Angin Darat dan Angin Laut

2. Angin Gunung dan Angin Lembah

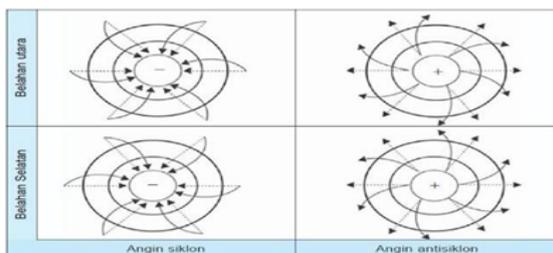
Malam hari pegunungan lebih dulu mendingin sedangkan lembah masih hangat. Siang hari pegunungan lebih dulu mendapat pemanasan dibandingkan lembah. Proses terjadinya angin ini ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Angin Gunung Dan Angin Lembah

3. Angin Siklon dan Angin Antisiklon

Angin siklon adalah udara yang bergerak dari beberapa daerah bertekanan udara tinggi menuju titik pusat tekanan udara rendah. Angin antisiklon bergerak dari suatu daerah sebagai pusat bertekanan udara tinggi menuju daerah bertekanan rendah yang mengelilinginya seperti ditunjukkan pada Gambar 3.

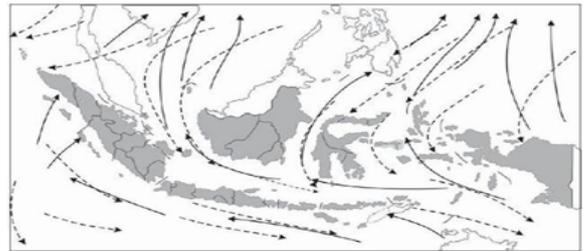


Gambar 3. Angin Siklon Dan Angin Antisiklon

4. Angin Fohn

Angin fohn terjadi karena udara yang turun mendapatkan pemanasan secara dinamis yang

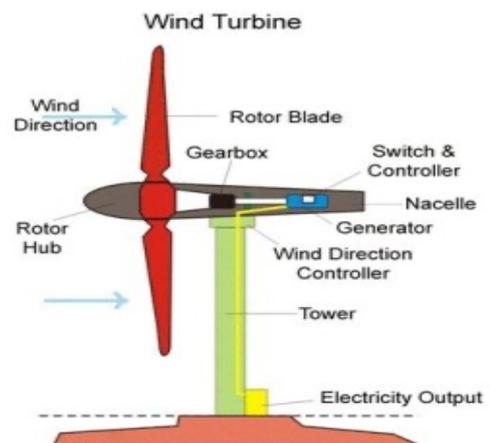
diikuti turunnya kelembapan nisbi seperti Gambar 4.



Gambar 4. Angin Fohn

3.2 Turbin Angin

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik (Khusnawati et al., 2022). Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain-lain. Turbin angin terdahulu banyak dibangun di Denmark, Belanda, dan negara-negara Eropa lainnya dan lebih dikenal dengan *Windmill* (Alit et al., 2016). Turbin angin lebih banyak digunakan untuk mengakomodasi kebutuhan listrik masyarakat, dengan menggunakan prinsip konversi energi dan menggunakan sumber daya alam yang dapat diperbaharui yaitu angin. Walaupun sampai saat ini pembangunan turbin angin masih belum dapat menyaingi pembangkit listrik konvensional (Contoh: PLTD, PLTU, dan lain-lain), turbin angin masih dikembangkan oleh para ilmuwan karena dalam waktu dekat manusia akan dihadapkan dengan masalah kekurangan sumber daya alam tak terbaharui (Contoh : batubara, minyak bumi) sebagai bahan dasar untuk membangkitkan listrik.



Gambar 5. Turbin Angin

Prinsip Kerja Turbin Angin

Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada baling-baling, lalu putaran baling-baling digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik (Bachtiar & Hayyatul, 2018).

Prinsip kerja pada turbin angin terbagi dalam beberapa sub-sistem di antaranya yaitu:

1. Gearbox

Alat ini berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi. Biasanya *gearbox* yang digunakan sekitar 1:60.

2. Break System

Digunakan untuk menjaga putaran pada poros setelah *gearbox* agar bekerja pada titik aman saat terdapat angin yang besar. Alat ini perlu dipasang karena generator memiliki titik kerja aman dalam pengoperasiannya. Generator ini akan menghasilkan energi listrik maksimal pada saat bekerja pada titik kerja yang telah ditentukan.

Jenis- Jenis Baling-Baling

Turbin angin memiliki beberapa jenis di antaranya adalah turbin angin sumbu vertikal dan turbin angin sumbu horizontal (Khusnawati et al., 2022).

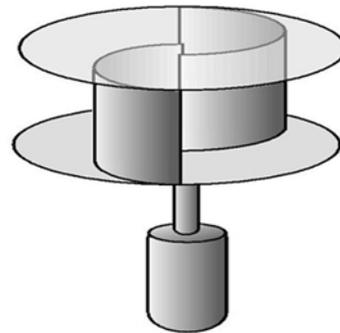
1. Turbin Angin Sumbu Vertikal

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (atau TASV) memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama susunan ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin agar menjadi efektif. Kelebihan ini sangat berguna di tempat-tempat yang arah anginnya sangat bervariasi. VAWT mampu mendayagunakan angin dari berbagai arah. Dengan sumbu yang vertikal, generator serta *gearbox* bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah diakses untuk keperluan perawatan. Tapi ini menyebabkan sejumlah desain menghasilkan tenaga putaran yang berdenyut. *Drag* (gaya yang menahan pergerakan sebuah benda padat melalui fluida baik zat cair atau gas bisa saja tercipta saat kincir berputar.

Turbin angin vertikal terbagi menjadi beberapa jenis antara lain:

a. Kincir angin tipe *savonius*

Kincir angin *savonius* merupakan alat untuk mengubah energi kecepatan angin menjadi energi gerak dengan poros vertikal yang mudah dibuat, dapat menerima angin dari segala arah dan dapat bekerja pada kecepatan angin yang rendah. Kincir angin *savonius* pada umumnya didesain silinder terbelah yang digeser sehingga membentuk seperti huruf S seperti gambar di bawah ini:



Gambar 6. Kincir Angin Type Savonius

b. Kincir angin vertika tipe *darrius*

Kincir angin tipe ini ditemukan oleh seorang insinyur perancis bernama George Jeans Maria Darrieus yang dipatenkan pada tahun 1931. Ia memiliki 2 bentuk turbin di antaranya adalah *eggbeater/curved bladed* dan *straight-bladed* seperti ditunjukkan pada gambar di bawah ini. Kincir angin tipe *darrieus* mempunyai bilah sudu yang disusun dalam posisi simetri dengan sudu bilah yang diatur relatif terhadap poros.



Gambar 7. Kincir Angin tipe vertikal *darrieus*

c. Turbin Angin Tipe Horizontal

Turbin angin sumbu horizontal memiliki poros rotor utama dan generator listrik di

puncak menara. Turbin berukuran kecil diarahkan oleh sebuah baling-baling angin (baling-baling cuaca) yang sederhana, sedangkan turbin berukuran besar pada umumnya menggunakan sebuah sensor angin yang digandengkan ke sebuah servo motor. Turbin angin sumbu horizontal sebagian besar memiliki sebuah *gearbox* yang mengubah perputaran kincir yang pelan menjadi lebih cepat berputar.

Karena sebuah menara menghasilkan turbulensi di belakangnya, turbin biasanya diarahkan melawan arah anginnya menara. Bilah-bilah turbin dibuat kaku agar mereka tidak terdorong menuju menara oleh angin berkecepatan tinggi. Sebagai tambahan, bilah-bilah itu diletakkan di depan menara pada jarak tertentu dan sedikit dimiringkan.

Karena turbulensi menyebabkan kerusakan struktur menara, dan realibilitas begitu penting, sebagian besar turbin angin sumbu horizontal merupakan mesin *upwind* (melawan arah angin). Meski memiliki permasalahan turbulensi, mesin *downwind* (menurut jurusan angin) dibuat karena tidak memerlukan mekanisme tambahan agar mereka tetap sejalan dengan angin, dan karena di saat angin berhembus sangat kencang, bilah-bilahnya bisa ditekuk sehingga mengurangi wilayah tiupan mereka dan dengan demikian juga mengurangi resintensi angin dari bilah-bilah itu.



Gambar 8. Kincir Angin Horizontal

3.3 Sabut (Serabut Kelapa Sawit)

Sabut merupakan bagian mesokarp (selimut) yang berupa serat-serat kasar kelapa. Sabut biasanya disebut sebagai limbah yang

hanya ditumpuk di bawah tegakan tanaman kelapa lalu dibiarkan membusuk atau kering.

Pemanfaatannya paling banyak hanyalah untuk kayu bakar. Sabut kelapa ini dapat dikembangkan menjadi beragam produk, antara lain *cocopeat*, *cocofibre*, *cocomesh*, *cocopot*, *coco fiber board* dan *cococoir*. Bahan tersebut merupakan bahan baku pada industri matras, pot, kompos kering dan sebagainya. Kalau hanya memfokuskan pengolahan buah kelapa pada daging buah saja menyebabkan harga kelapa tertinggi masih merupakan pendapatan yang sangat rendah untuk petani dapat hidup layak. Salah satu usaha untuk meningkatkan pendapatan petani kelapa adalah dengan mengolah semua komponen buah menjadi produk yang bernilai tinggi (Harmiansyah et al., 2023).

Dengan melihat potensi tersebut kami sebagai peneliti mencoba membuat suatu percobaan dengan membuat terobosan baru yaitu membuat sudu atau baling-baling untuk sistem pembangkit listrik tenaga bayu (angin) dengan memanfaatkan serat kelapa sawit sebagai bahan utamanya seperti pada gambar di bawah ini:



Gambar 9. Fiber Serat Kelapa Sawit

Perancangan Baling-Baling Tipe Vertikal

Sebelum merancang baling-baling harus diperhatikan tentang faktor kecepatan angin. Hembusan angin tercipta karena adanya perbedaan tekanan udara yang mengakibatkan adanya hembusan atau tiupan di suatu tempat atau daratan (Bachtiar & Hayyatul, 2018). Semakin besar perbedaan tekanan di suatu tempat, maka semakin besar juga hembusan

angin yg tercipta. Angin dengan kecepatan menengah hingga tinggi mudah ditemukan di daerah pesisir pantai, karena disana terdapat angin laut dan angin darat. Lingkungan di daerah pesisir pantai juga turut mendukung terjadinya hembusan angin yang berkecepatan tinggi karena tidak terhalang oleh bangunan-bangunan tinggi. Selain faktor angin, banyak faktor yang mempengaruhi putaran baling-baling pada sebuah turbin angin, terutama pada tahap perancangan baling-baling. Penggunaan baling-baling tipe vertikal yang mempunyai 4 buah sudu ini dikarenakan agar baling-baling selalu mendapat terpaan angin ketika arah angin berubah-ubah (Kurniasandy, 2024). Sedangkan 4 buah sudu itu berfungsi agar terpaan angin dari satu sudu ke sudu lain tidak terlalu jauh yang menyebabkan *lost energy*.

Perhitungan Luasan Baling-Baling

$$P = 68 \text{ watt}$$

$$v = 6,1 \frac{m}{s}$$

$$n = 60 \text{ rpm (asumsi)}$$

$$D = 0,8 \text{ m}$$

Daya pada Turbin

$$P = C_{pr} \frac{1}{2} \rho A v^3$$

Menentukan *Tip Speed Ratio* (TSR)

$$D = 0,8 \text{ m}$$

$$n = 60 \text{ rpm (asumsi)}$$

$$v = 6,1 \frac{m}{s}$$

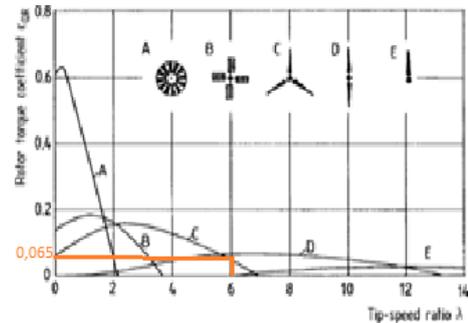
Tip Speed Ratio (λ)

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 v}$$

$$\lambda = \frac{\pi \cdot 0,8 \cdot 60}{60 \cdot 6,1}$$

$$\lambda = \frac{150,72}{366}$$

$$\lambda = 0,41$$



Gambar 10. Koefisien Rotor Dari Beberapa Turbin Angin

Berdasarkan dari gambar hubungan koefisien rotor dari beberapa turbin angin didapat untuk rotot turbin jenis *darieus* pada daerah C jika $\lambda_1 = 6$ $C_{q1} = 0,065$ jadi jika $\lambda_2 = 0,41$

$$\text{maka } C_{q2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2} \times C_{q1}$$

$$\text{maka } C_{q2} = \frac{6}{0,41} \times 0,065 = 0,95$$

menentukan *rotor power coefficient* (C_{pr}) diketahui $\lambda_2 = 0,41$ dan $C_{q2} = 0,95$

$$C_{pr} = \lambda \times C_{qr} = 0,41 \times 0,95 = 0,389$$

Luasan baling-baling

$$P = C_{pr} \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \cdot A$$

$$A = \frac{2 \times P}{C_{pr} \times \rho \times v^3}$$

$$A = \frac{2 \times 68}{0,95 \times 1,2 \times (6,1)^3}$$

$$A = \frac{136}{258,75} = 0,5 \text{ m}^2$$

Dengan didapatkannya luas penampang 4 buah sudu (A) sebesar $0,5 \text{ m}^2$, maka dengan menggunakan 4 buah sudu diperoleh dimensi sudu sebagai berikut:

Luas selimut

Diketahui :

Tinggi = $0,5 \text{ m}$

Jumlah sudu = 4 buah

$$\text{Luas 1 buah sudu } \frac{0,5}{4} = 0,125 \text{ m}^2$$

$$A = 4 \times \frac{1}{2} \times \pi \times d \times L$$

$$d = \frac{2 \times A}{4 \times \pi \times L}$$

$$d = \frac{2 \times 0,5}{4 \times \pi \times 0,5} = 0,15 \text{ m}$$

3.4 Analisis Kekuatan Bahan Komposit Serat Kelapa Sawit

Bahan dasar dari baling-baling tipe vertikal ini adalah komposit serat kelapa sawit. Dan berikut ini adalah tabel hasil pengujian dari komposit serat kelapa sawit yang dilakukan di Sentra Teknologi Polimer (STP) PUSPIPTEK.

Tabel 1. Data Hasil Pengujian Tarik Komposit Serat Kelapa Sawit

Name	Thickness	Width	Gauge_Length	Max-Force	Max_Stress	Break_Strain
Parameters				Calc. at Entire Areas	Calc. at Entire Areas	Sensitivity: 10
Unit	mm	mm	mm	N	MPa	%
Sample 1_1	6.3000	12.9800	115.0000	699.369	8.55246	0.54636
Sample 1_2	6.2600	12.8400	115.0000	950.877	11.8300	1.76859
Sample 1_3	6.4300	13.1000	115.0000	1123.68	13.3401	1.09399
Sample 1_4	6.2200	12.9600	115.0000	969.688	12.0292	1.41312
Sample 1_5	6.3300	12.6300	115.0000	1067.34	13.3505	0.86130
Average	6.3080	12.9020	115.0000	962.191	11.8205	1.13667
Standard Deviation	0.07981	0.17782	0.00000	163.091	1.96047	0.47483

Pada *Max_Stress* (Tekanan Maksimal) yang didapatkan nilai terbesar terdapat pada Komposit Serat (KS) kelapa sawit pada spesimen KS_5 dengan kekuatan (13,3505 MPa) lebih besar dari pada KS_1, KS_2, KS_3 dan KS_4 yaitu dengan nilai: 8,55246 Mpa, 11,8300 Mpa, 12,0292 Mpa, dan 13,3401 Mpa.

Modulus Elastisitas

dimana : $\epsilon = \text{Modulus elastisitas} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$

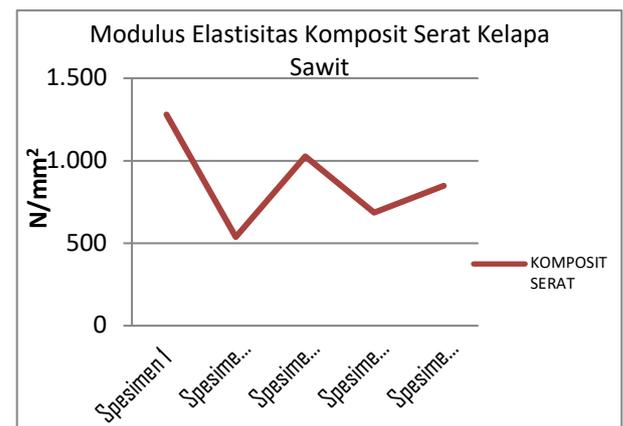
$\sigma = \text{Tegangan tarik} \left(\frac{N}{mm^2} \right)$

$\epsilon = \text{Tegangan} - \text{regangan} (\%)$

$\sigma = 699,369 \left(\frac{N}{mm^2} \right)$

$\epsilon = 0,54636 (\%)$

$\epsilon = \frac{\sigma}{\epsilon} = \frac{699,369}{0,54636} = 1280,051 \frac{N}{mm^2}$



Gambar 11. Modulus Elastisitas Komposit Serat Kelapa Sawit

Dari gambar grafik di atas dapat disimpulkan bahwa Spesimen 1 mendapatkan modulus elastisitas terbesar dengan 1280,051 N/mm² dan spesimen 2 mendapatkan modulus elastisitas terendah yaitu 537,64 N/mm² sedangkan modulus elastisitas rata-rata dari komposit serat kelapa sawit adalah 875,48 N/mm².

Tabel 2. Spesifikasi Dari Baling-Baling Tipe Vertikal

No	Jenis Turbin	Darieux H Vertikal
1	Lebar	25 cm
2	Tinggi Blade	50 cm
3	Berat Blade	700 gram
4	Material Blade	Serat Kelapa Sawit
5	Jumlah Blade	4
6	Panjang Poros	100cm
7	Diameter baling-baling	80 cm
8	Kekuatan rata-rata material	163,091 N

Menghitung Daya Angin yang Diterima Oleh Baling-Baling

Setelah melakukan pengujian di Pantai Tanjung Kait, penulis memperoleh data sebagai berikut:

Tabel 3. Waktu Dan Kecepatan Angin

Waktu	12:00	13:00	13:30	14:00	15:00-17:30
Kec (knot)	5,8	6,8	7,7	8,7	10,1 - 11,85
Kec (m/s)	3,0	3,5	4,0	4,5	5,2 - 6,1

Tabel 4. Hasil Pengujian

Kecepatan angin (m/s)	Putaran (rpm)	Input generator (volt)	Output generator (volt)
3,3	63,3	6,6	14 - 14,6
4,5	85,9	9	
5,2	99,3	10,4	
6,1	116,6	12,2	

Berdasarkan data hasil pengujian di atas, cara menghitung daya angin yang diterima oleh baling-baling tipe vertikal adalah:

$$P_{in} = 0,5 \times \rho \times A \times v^3$$

$$P_{in} = 0,6 \times A \times v^3$$

$$P_{in} = 0,6 \times 0,5 \times (6,1)^3$$

$$P_{in} = 68,0943 \text{ watt}$$

Jadi hasil daya yang dapat diterima oleh baling-baling tipe vertikal dengan luas penampang 25 cm x 50 cm dan kecepatan angin maksimal 6,1 m/s adalah 68,0943 watt. Berikut ini adalah hasil dari perhitungan dari daya angin yang diterima baling-baling.

Tabel 5. Hasil Daya Angin Terhadap Baling-Baling

Kecepatan angin (m/s)	Daya angin (watt)
3,3	10,7811
4,5	27,3375
5,2	42,1824
6,1	68,0943

IV. Kesimpulan

1. Tipe vertikal bisa menggunakan *software* AutoCAD. Ukuran baling-baling yang di buat juga mempertimbangkan kecepatan angin, agar dapat berputar maksimal.
2. Pembuatan baling-baling tipe vertikal bisa memanfaatkan serat kelapa sawit untuk menggantikan *fiber glass* agar lebih murah dan ramah lingkungan. Spesimen 1 mendapatkan modulus elastisitas terbesar dengan 1280,051 N/mm² dan spesimen 2 mendapatkan modulu selastisitas terendah yaitu 537,64 N/mm² sedangkan modulus elastisitas rata-rata dari komposit serat kelapa sawit adalah 875,48 N/mm².
3. Hasil dari perhitungan daya angin yang diterima baling-baling adalah 10,784 watt untuk kecepatan angin 3,3 m/s, 27,3375 watt untuk kecepatan angin 4,5 m/s, 42,1842 watt untuk kecepatan angin 5,2 m/s dan 68,0943 watt untuk kecepatan angin 6,1 m/s. Dengan ini menyatakan bahwa luas penampang dan kecepatan angin sangat mempengaruhi daya yang diterima oleh baling-baling.

DAFTAR PUSTAKA

- Alit, I. B., Nurchayati, N., & Pamuji, S. H. (2016). Turbin Generator. *Dinamika Teknik Mesin*, 6(2), 107–112.
- Bachtiar, A., & Hayyatul, W. (2018). Analisis Potensi Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT. Lentera Angin Nusantara (LAN) Ciheras. *Jurnal Teknik Elektro ITP*, 7(1), 34–45. <https://doi.org/10.21063/jte.2018.3133706>
- Halek, A. (2022). Pengaruh Sudut Pengarah Angin pada Turbin Angin Sumbu Vertikal terhadap Unjuk Kerja Turbin. *DINAMIKA Jurnal Teknik Mesin*, 7(2), 37–42. <https://doi.org/10.33387/dinamik.v7i2.6053>
- Harmiansyah, H., Dari, P. W., Wahyuni, S., Rahmawati, S. D., Wati, N. M. T., & Putri, A. K. (2023). Karakteristik arang dari cangkang kelapa sawit sebagai bahan dasar utama pembuatan biobriket. *Sultra Journal of Mechanical Engineering (SJME)*, 2(1), 29–36. <https://doi.org/10.54297/sjme.v2i1.442>
- Idris, A. R., Siampa, F., A. Noor, N., & Thaha, S. (2020). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Sumbu Vertikal. *Jurnal Teknologi Elekterika*, 4(1), 28. <https://doi.org/10.31963/elekterika.v4i1.2251>
- Ismail, Pane, E., & Triyanti. (2017). Optimasi Perancangan Turbin Angin Vertikal Tipe Darrieus Untuk Penerangan Di Jalan Tol. *Seminar Nasional Sains Dan Teknologi*, 1(November), 12.
- Khusnawati, N., Wibowo, R., & Kabib, M. (2022). Analisa Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu. *Jurnal Crankshaft*, 5(2), 35–42. <https://doi.org/10.24176/crankshaft.v5i2.7683>
- Kurniasandy, B. (2024). Analisis Pengaruh Sudut Blade L Terhadap Performa Turbin Angin Savonius-Darrieus Menggunakan Computational Fluida Dynamic (CFD). *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, 19(1), 112–117. <https://doi.org/10.36289/jtmi.v19i1.478>
- Nuryogi, M., & Subiyanto. (2019). Performa Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Terhubung Grid Pada Pembebanan Dinamis. *Renewable Energy Journal*, 8(2), 50.
- Silla, I. O., Sanusi, A., & Pell, Y. M. (2022). Analisis Kinerja Turbin Savonius Sebagai Sumber Energi Alternatif. *Jurnal Fisika*, 7(1), 64–68.