

DESAIN TURBIN ANGIN TIPE HORIZONTAL DENGAN 3 SUDU UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK

Sulistiyanto
Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muria Kudus
Email: 201754022@std.umk.ac.id

Rianto Wibowo
Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muria Kudus
Email rianto.wibowo@umk.ac.id

Masruki Kabib
Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Mesin
Universitas Muria Kudus
Email: masruki.kabib68@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu bentuk energi yang ada di alam adalah angin. Oleh karena itu turbin angin mulai dimanfaatkan sebagai pembangkit listrik energi alternative. Tujuan perancangan ini adalah untuk merancang turbin angin sumbu *horizontal* sudu 3. Target perancangan turbin angin adalah turbin angin sumbu *horizontal* mudah dalam pemasangan dan perawatan operasional, sehingga banyak digunakan. Energi angin yang besar (kecepatan dan torsi) akan menggerakkan generator dan menghasilkan listrik. Metode yang dilakukan adalah meliputi perhitungan daya output kincir, desain *blade*, pemilihan perbandingan pemilihan generator. Cara perancangan *blade* tersebut diperlukan perancangan gambar teknik geometris tampak depan, tampak atas, dan tampak samping agar menghasilkan tangkapan angin yang baik dan putaran poros yang optimal. Hasil perancangan adalah turbin angin menunjukkan bahwa data teoritis pada kecepatan angin tertinggi yaitu 4,0 m/s dapat menghasilkan daya mekanik sebesar 8,59 watt keluaran maksimum dari generator tersebut sebesar 31,39 watt. Untuk bentuk sudu *blade* segi panjang dengan ukuran 0,65 meter x 0,25 meter., diameter *blade* 1,60 meter dengan sudut sudu 45° kecepatan putar sudut *blade* sebesar 27,07 rad/s Pada simulasi tegangan dengan beban baling-baling turbin angin seberat 4 kg pada mesin turbin angin tersebut di dapatkan tegangan von mises sebesar 9,098 Mpa, artinya tegangan yang bekerja pada baling-baling tersebut masih aman karena masih di bawah kekuatan luluh (yield strenght) aluminium yaitu 275 Mpa.

Kata Kunci : *turbin angin, sumbu horizontal, daya turbin*

ABSTRACT

One form of energy that exists in nature is wind. Therefore, wind turbines are starting to be used as alternative energy power plants. The purpose of this design is to design a 3blade horizontal axis wind turbine The design target of the wind turbine is that the horizontal axis wind turbine is easy to install and maintain in operation, so it is widely used. The large amount of wind energy (speed and torque) will drive a generator and produce electricity. The method used is the calculation of the turbine's output power, blade design, generator selection comparisons. The blade design method requires the design of the front view, top view, and side view geometric engineering drawings in order to produce a good catch and optimal shaft rotation. The result of the design was that the wind turbine

shows that the theoretical data at the highest wind speed of 4.0 m/s can produce a mechanical power of 8.59 watts, the maximum output of the generator is 31.39 watts. for a rectangular blade shape with a size of 0.65 meters x 0.25 meters, a blade diameter of 1.60 meters with a blade angle of 45°, the rotational speed of the blade angle is 27.07 rad/s. In a stress simulation with a wind turbine propeller load weighing 4 kg on the wind turbine engine, the von Mises voltage of 9,098 Mpa is obtained, meaning that the voltage acting on the propeller is still safe because it is still below the yield strength of aluminum, which is 275 Mpa.

Keywords: wind turbine, horizontal axis, turbine power

1. PENDAHULUAN

Keberadaan wilayah Indonesia yang begitu luas dan beragamnya sumber tenaga alternatif yang dapat dimanfaatkan, yakni tantangan buat kita melakukan penelitian maupun kajian biar memperoleh sumber tenaga alternatif yang dapat digunakan memenuhi kebutuhan tenaga yang terus meningkat. Salah satu sumber tenaga alternatif yang dapat dibesarkan ialah Pembangkit Listrik Tenaga Angin ialah tenaga yang relatif bersih dan ramah lingkungan karena tidak menghasilkan karbon dioksida (CO_2) maupun gas - gas lain yang berperan dalam pemanasan global, sulphur dioksida dan nitrogen oksida (jenis gas yang memunculkan hujan asam) [1].

Kendatipun demikian ada sebagian wilayah dimana sumber tenaga angin bisa jadi besar layak dibesarkan. wilayah tersebut antara lain Nusa Tenggara Timur (NTT) , Nusa Tenggara Barat (NTB) , Sulawesi Selatan dan Tenggara , Tepi laut Utara dan Selatan Jawa dan Karimun Jawa . Skala pemanfaatan tenaga angin pada umumnya dikelompokkan dalam skala kecil, menengah dan besar [2].

Pada saat ini, sistem pembangkit listrik tenaga angin mendapat perhatian yang cukup besar sebagai sumber energi alternatif yang bersih, aman, serta ramah lingkungan. Pemanfaatan energi matahari, angin dan air sudah banyak dilakukan baik dalam skala kecil maupun besar. Salah satu yang sedang populer adalah pemanfaatan tenaga air dan angin. Banyak sekali orang membuat kincir angin dan kincir air untuk dirubah menjadi energi listrik [3].

Kedua tipe turbin angin memerlukan perlengkapan buat merubah tenaga mekanis jadi tenaga listrik yang dinamakan generator Turbin angin (*wind turbine*) tercantum salah satu perlengkapan alternatif untuk pengembangan pembangkitan tenaga listrik yang terdistribusi. Pembangunan pembangkit tenaga listrik skala kecil serta terdistribusi bisa menyokong sistem kelistrikan nasional buat menaikkan energi pembangkitan serta menanggulangi permasalahan perkembangan beban yang makin meningkat [4].

Pertumbuhan tenaga angin di Indonesia buat dikala ini masih terkategori rendah. Salah satu penyebabnya merupakan sebab kecepatan angin rata-rata di daerah Indonesia terkategori kecepatan angin rendah , ialah berkisar antara 3 m/s sampai 5m / s . Disamping itu khususnya di daerah Kota Kudus Jawa tengah, sehingga membolehkan buat dikembangkannya teknologi Turbin angin. Kebutuhan buat merancang turbin angin berasal dari 2 isu global; isu awal merupakan pergantian hawa, serta meningkatnya urgensi buat praktek tenaga berkepanjangan buat dibesarkan serta diimplementasikan. Isu kedua merupakan pasokan bahan bakar fosil terbatas, serta kebutuhan buat mengubah sumber tenaga yang terdapat dengan wujud terbarukan [5]. Pengembangan turbin angin tipe savonius telah dilakukan untuk menghasilkan energi listrik [6].

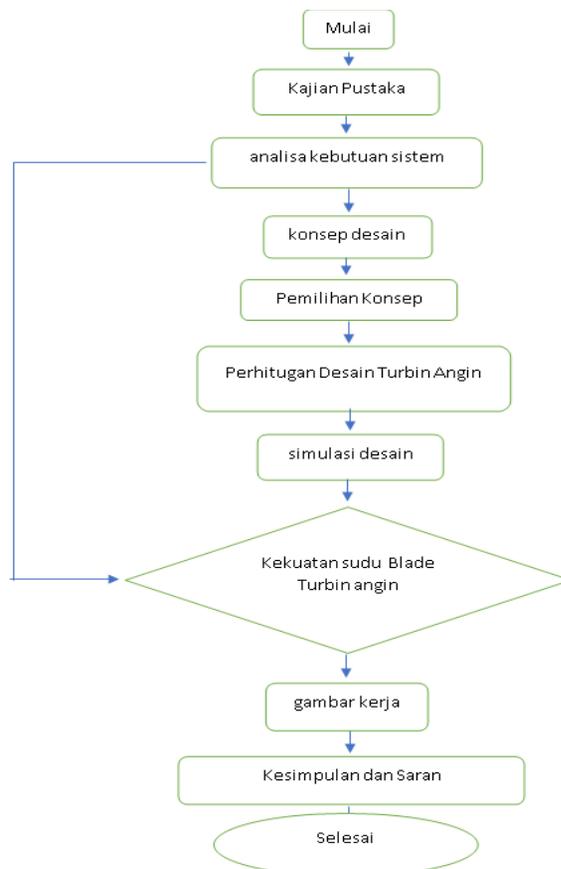
Generator merupakan salah satu media yang berperan penting untuk perubahan energi kinetik menjadi energi listrik. Perkembangan teknologi yang semakin pesat menghasilkan beragam tipe generator dengan bermacam inovasi dan teknologi terbaru untuk digunakan pada pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) skala kecil dan besar, diantaranya yaitu permanent magnet generator (PMG). Keunggulan generator tipe ini yaitu mampu menghasilkan energi listrik dengan kecepatan rotate per minute (RPM) rendah, sehingga akan menghasilkan listrik meskipun hembusan kecepatan angin rendah [7].

Rangka pengembangan turbin angin poros horizontal (*Horizontal Axis Wind Turbin*) telah dilakukan banyak penelitian untuk menghasilkan sistem yang mampu bekerja secara optimal. Dimana kincir ini dapat ditingkatkan efisiensinya untuk mendapat koefisien daya yang maksimal. Salah satunya dengan menggunakan sudu berjumlah banyak. Koefisien daya yang maksimal ini akan meningkatkan jumlah Watt (daya) yang dihasilkan sehingga untuk mendapatkan jumlah watt tertentu cukup dengan menggunakan jumlah kincir angin yang lebih sedikit. Dari hasil penelitian yang dilakukan diharapkan mampu dijadikan sebagai acuan dalam penelitian selanjutnya selain itu juga diharapkan mampu menghasilkan sistem yang ramah lingkungan dan dapat di aplikasikan skala kecil di daerah yang belum tersentuh listrik [8]. Untuk desain rotor coaxial dengan sumbu vertikal telah dilakukan uji performasi [9].

Tujuan penelitian adalah untuk merancang turbin angin sumbu *horizontal* sudu 3. Dengan menggunakan turbin angin. Turbin angin mampu mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik dengan bantuan generator lalu sambungan investor bisa alirkan listrik ke warga kekurangan listrik.

2. METODOLOGI

Diagram alir penelitian dijelaskan pada gambar 1 sebagai berikut :



Gambar 1. Diagram alir penelitian

1. Sebelum dilakukan pengerjaan dimulai dari studi literatur untuk mencari sumber – sumber yang terkait dan pedoman awal dalam proses pengerjaan
2. Melakukan analisa kebutuhan mesin pada desa pedalaman kekurangan listrik
3. Melakukan perancangan konsep desain mesin turbin angin, dan menentukan konsep yang disetujui
4. Membuat desain mesin turbin angin
5. Mulai perancangan alat, melakukan perancangan rangka, perancangan tranmisi blade , sistem kontrol arus listrik dan tower

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa kebutuhan

Dalam rancang turbin angin ini analisa kebutuhan yang dibutuhkan meliputi:

1. Aspek teknik

Aspek teknik meliputi tentang cara kerja komponen yaitu, Energi angin akan diserap oleh blade, kemudian gerakan dari blade akan memutar generator sehingga menghasilkan listrik dc kemudian listrik di simpan ke accu / aki.

2. Aspek manufaktur

- a. Konstruksi perancangan turbin angin Mampu menghasilkan kualitas yang baik
- b. Kebutuhan komponen turbin angin : Blade, Poros, Gear gigi, Generator, Kabel, Duel volt meter, Accu /Aki

3. Aspek ergonomi

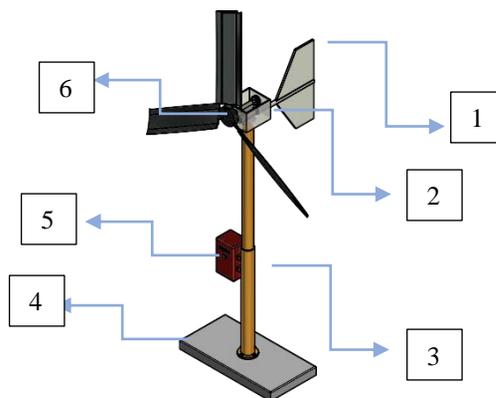
Keselamatan kerja sangat penting dalam melakukan pekerjaan dengan pemilihan jenis material. Mesin turbin angin yang digunakan bersifat aman tidak membahayakan dan kuat, perancangan tiap komponen dapat dilepas sehingga memudahkan dalam proses perawatan penggantian *component*. Tinggi tower sesuai tinggi manusia.

3.2 Konsep desain

Pemilihan konsep sehingga diperoleh suatu gambaran yang akan dibangun untuk konsep terpilih. Untuk pemilihan konsep tidak dapat diukur secara langsung. Agar konsep terpilih dapat diukur, maka konsep tersebut harus diuraikan terlebih dahulu menjadi variabel-variabel. Untuk pemilihan konsep perencanaan mesin turbin angin dapat melihat dari analisa kebutuhan, dimensi, prinsip kerja, serta material yang digunakan untuk gear box generator Dari hasil observasi dihasilkan beberapa konsep mesin turbin angin seperti berikut :

Keterangan :

1. Ekor
2. Gear box
3. Tower
4. Dudukan
5. Sistem kontrol listrik
6. blade



Gambar 2. Mesin turbin angin tipe horisontal

Cara Kerja:

1. Angin meniup Blade turbin angin sehingga baling-baling bergerak.
2. Blade kincir angin akan memutar.
3. Kemudian di hubungkan ke generator, generator merubah energi mekanik menjadi energi listrik.
4. Dari generator energi listrik menuju Regurator untuk setabilkan arus tegangannya kemudian menuju power inverter baru didistribusikan ke konsumen.

3.3 Perhitungan perancangan

1. potensi kecepatan angin
Untuk mempermudah dalam proses desain dan analisa turbin angin maka dipilih dilaboratorium teknik mesin Universitas Muria Kudus Kota Kudus. Untuk mempermudah dalam perhitungangan maka, kecepatan angin sebesar 4,0 m/s.
2. Penentuan Daya Angin
Dalam perancangan turbin angin daya *output* turbin pada kecepatan angin 4.0 m/s. Daya 35 watt cukup digunakan untuk skala lampu jalan didesa yang tidak terlalu membutuhkan daya listrik yang besar.

1. Daya turbin angin dan luas area rotor

a. Daya Turbin Angin dan luas *area rotor*

Untuk memproduksi listrik diharapkan turbin dapat menghasilkan daya sebesar 35 watt pada kecepatan angin sebesar 4,0 m/s. Asumsi penggunaan generator dengan efisiensi sebesar 85%. Perhitungan menggunakan persamaan 1.

$$P_{turbin} = P_{output} \times (100\% + (100\% - \eta_{Rencana})) \quad (1)$$

Dimana : P_{turbin} adalah daya rotor turbin (watt), $P_{out generator}$ adalah daya generator (watt), $\eta_{Rencana}$ adalah efisiensi rencana penggunaan generator (%)

Berdasarkan teori Betz yang menyatakan bahwa tidak semua energi angin dapat dimanfaatkan sebagai sumber daya pemutar turbin angin dan maksimal efisiensi yang diperoleh maksimal 59,3% . Maka daya angin yang dibutuhkan menggunakan persamaan 2.

$$Cp = \frac{P}{P_0} \quad (2)$$

Dimana : P_{turbin} adalah daya rotor turbin (watt) , P_0 adalah daya mekanik (watt), Cp adalah konfisien daya (%)

Jadi maksimal konfisien daya turbin angin tersebut adalah 67,87 watt Temperatur di daerah dilaboratorium teknik mesin Universitas Muria Kudus Kota Kudus jawa tengah secara geografis temperature $T_{udara} = 21 - 30^\circ C$, Asumsi $T_{udara} = 25^\circ C$

Dari tabel propertis udara pada tekanan 1 atm (terlampir) diperoleh: $P_{udara} = 1,145 \text{ kg/m}^3$, perhitungan emnggunakan persamaan 3.

$$P = 0,5 p . A . v^3 \quad (3)$$

Dimana : P adalah efisiensi daya turbin angin (Watt) : 67,87 watt, p adalah propertis udara (kg/m³)
A adalah luas area rotor turbin angin (m²), v adalah kecepatan angin (m/s)

2. Penentuan diameter

Berdasarkan luas area rotor, maka diameter *rotor* dihitung menggunakan persamaan 4 :

$$A = \frac{1}{4} \pi D^2 \quad (4)$$

dimana : D adalah diameter *rotor* (m), A adalah luas area *rotor blade* (m²)

3. Penentuan diameter

Dengan didapatkannya luas area *rotor* (A) sebesar 1,85 m², karena penulis ingin menggunakan 3 buah sudu, maka dapat diperoleh perhitungan sebagaimana persamaan 5.

$$A = 6 \frac{1}{2} \pi \cdot d \cdot L \quad (5)$$

Dimana L adalah lebar sudu: 0,30 meter, A adalah luas area rotor: 1,85 m², Jumlah sudu: 3 buah
Luas 1 buah sudu = $\frac{A}{3}$

4. Tip speed ratio

Untuk turbin angin tipe horizontal memiliki nilai koefien daya maksimum pada nilai *tip speed ratio* sehingga dapat dirumuskan dalam persamaan 6.

$$\lambda = \frac{\pi \times 4}{n} \quad (6)$$

dimana : λ adalah tip speed ratio, n adalah jumlah blade =3

5. Tentukan putaran *rotor* (Rpm)

Kecepatan angin rancangan dan diameter secara langsung mempengaruhi besarnya putaran *rotor* (rpm). Dengan demikian dapat dirumuskan dengan persamaan 7.

$$n = \frac{60 \cdot v \cdot TSR}{\pi \cdot D} \quad (7)$$

Dimana : v adalah kecepatan angina, λ adalah *tip speed ratio*, D = adalah diameter *rotor* (m²)

6. Rotor Solidity

Solidity adalah perbandingan antara luas sudu dengan luas sapuan rotor. Perhitungan rotor solidity menggunakan persamaan 8.

$$Solidity = \frac{n \cdot C}{2 \pi \cdot R} \quad (8)$$

Dimana : R adalah panjang sudu turbin angin (m), n adalah jumlah *blade*, D adalah diameter *rotor* (m²)

7. Aliran massa udara

Laju aliran massa udara dapat dihitung secara matematis menggunakan persamaan berikut :

$$m = \rho \times A \times V^3 \quad (9)$$

Dimana : m adalah aliran massa udara (kg/s), ρ adalah propertis udara (kg/m³), A adalah luas *rotor* (m²), V adalah kecepatan angin (m/s)

8. Kecepatan sudu

Dari rumus mencari daya mekanik dapat digunakan untuk mencari kecepatan sudut sebagaimana persamaan 10.

$$\omega = \frac{2 \pi \times n \times N_1}{60} \quad (10)$$

dimana : ω adalah kecepatan sudut (rad/s), n adalah putaran turbin (rpm)

9. Torsi

Untuk kecepatan putar yang sama, semakin besar torsi yang diberikan sudu, maka akan semakin besar daya yang diserap, demikian juga sebaliknya. Sehingga torsi dapat dirumuskan dengan persamaan 11.

$$T = \frac{60 \times P_{total}}{2 \times \pi \times rpm} \quad (11)$$

Dimana : T adalah torsi (Nm), P_{total} adalah daya turbin angin (watt), Rpm adalah putaran *blade*.

10. Pemilihan dan perhitungan bantalan

Bantalan di kembangkan untuk meningkatkan kemampuan dalam menahan pergerakan dari poros yang berputar dan juga menahan beban yang ditanggungnya. Jenis bantalan yang akan digunakan adalah bantalan gelinding Pemilihan bantalan Berdasarkan tabel pemilihan bantalan gelinding menurut Sularso & K.Suga (1997: 143) untuk poros dengan diameter 14,71 mm, maka dipilih bantalan gelinding jenis terbuka nomor 6005, dengan ukuran sebagai berikut:

1. Diameter dalam bantalan (d) = 17 mm
2. Diameter luar bantalan (D) = 35 mm
3. Lebar (b) = 10 mm
4. Kapasitas nominal dinamis spesifik (C)= 470 kg
5. Kapasitas nominal statis spesifik (C0) = 296 kg

Berdasarkan n prinsip kesetimbangan diperoleh beban pada tiap bantalan yang digunakan, sebagai berikut.

- a. Beban bantalan

$$R_B(AB) - Wp \left(\frac{d}{2} \right) = 0 \quad (12)$$

Dimana AB adalah panjang poros (mm), Wp adalah berat poros (kg), d adalah diameter poros

- b. Penentuan beban ekuivalen

Untuk memperkirakan umur bantalan dihitung beban ekuivalen berdasarkan jenis bantalan yang digunakan sebagaimana persamaan 13 :

$$P = (x \cdot F_R \cdot v) + (cb \cdot F_A) \cdot ks \quad (13)$$

Dimana : x adalah Kapasitas nominal statis spesifik (C0), F_R adalah Gaya radial (N), F_A adalah gaya aksial (N), ks=service faktor untuk beban kejut ringan, V = faktor putaran (konstan) bernilai = 1,2 untuk ring luar yang berputar. cb =faktor untuk beban aksial

- c. Umur bantalan

Perhtungan umur bantalan menggunakan persamaan 14.

$$L = \left(\frac{C}{P} \right)^3 \times 10^6 \quad (14)$$

11. Mur dan baut pada *blade*

Baut yang digunakan adalah M10 tipe A307 sebanyak 1 buah, terbuat dari baja ST 37 . Dari ukuran baut diketahui mengenai spesifikasi baut M10 antara lain sebagai berikut :

- a. Diameter mayor (d) = 10 mm
- b. Diameter minor (dc) = 8,16 mm
- c. Tegangan tarik (σ) = 370 N/mm²
- d. Tegangan geser (t) = 240 N/mm²
- e. Faktor keamanan (sf) = 12

Beban baut dihitung menggunakan persamaan 15.

$$F_{total} = m_{bb} \times g \quad (15)$$

Dimana : F total adalah beban baut (N) , mbb adalah Massa front (kg) =0,02 kg, g adalah Percepatan Gravitasi (m/s²) = 9,81m/s²

3.4 Data Pembenanan Pada Sudu turbin

Titik kebebanaan



Gambar 3 Baling- baling kincir angin *horizontal* 3 sudu

Digunakan pada analisa menggunakan aplikasi *autodes inventor* 2019 yaitu Untuk beban baling baling kincir angin . Seperti yang terlihat pada Gambar 3 dengana data :

Massa Mesin Kincir Angin *Horizontal* = 42 Kg
 Massa Baling baling (masa baling- baling) = 1.22 Kg
 Percepatan gravitas = 9.81 m/s²

- a. Gaya kerja baling baling di mesin kincir angin horizontal

$$F_{\text{baling}} = (m_{\text{baling-baling}} + m_{\text{kincir angin}}) \times g$$

$$F_{\text{baling}} = (42 + 1,22) \times 9,81$$

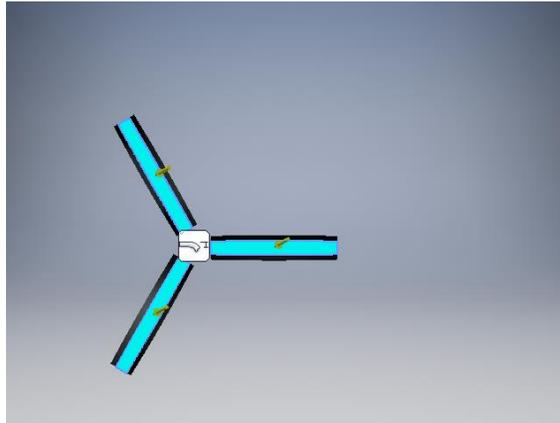
$$F_{\text{baling}} = 502,66 \text{ N}$$

Tabel 1. Hasil perhitungan

No	Beban (N)	Tegangan von mises (MPa)	Tegangan principal stress (MPa)	Regangan Strain (MPa)	Defleksi (mm)	Faktor keamanan
1	4.414,5	9,098	9,298	1,309	0,7126	15

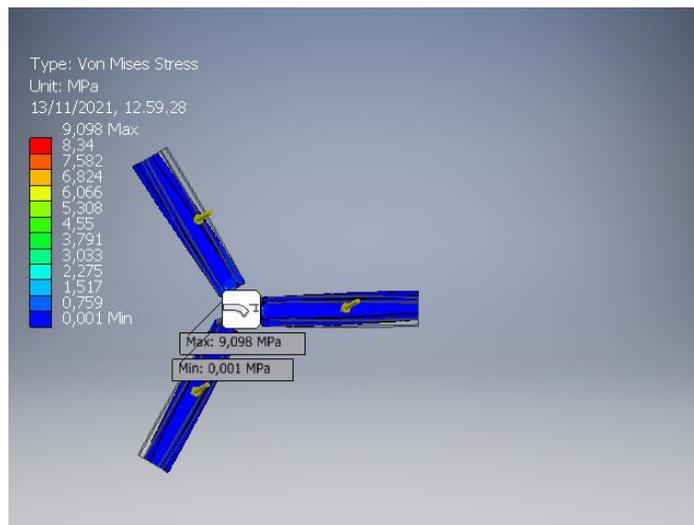
3.5 Analisa Tegangan pada sudu turbin angin

Simulasi pembebanan diaplikasi *Autodesk Inventor Professional* 2019.



Gambar 4. Pembebanan baling-baling kincir angin

Analisa tegangan yang dilakukan dengan Autodesk Inventor menggunakan metode FEA (*Finite Element Analyze*). Pada analisa tegangan, beban diasumsikan dan di fokuskan pada kincir angin. Simulasi pada proses analisis yaitu sifat material setelah menerima tegangan, regangan, dan defleksi.



Gambar 5. Tegangan *Von Mises*

Pada gambar 5 ditunjukkan hasil analisa dengan metode FEA (*Finite Element Analysis*) untuk *von mises* stress dengan beban 4.414,5 N. Hasil dari analisis menunjukkan bahwa tegangan terdistribusi ke baling baling kincir angin dan dapat dilihat tegangan von mises maksimum pada bagian bawah sebesar 9,098 Mpa dan tegangan minimum 0 Mpa.

4. KESIMPULAN

Hasil rancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin menggunakan mesin turbin angin tipe *horizontal* Untuk maksimal kapasitas daya generator 35 watt ini memiliki bagian dudukan, yaitu dengan menggunakan *material Steel Plate*. Untuk mekanisme pemindah daya rancangan ini menggunakan blok laker dan roda gigi, untuk generator yang digunakan adalah generator DC lalu disimpan dan untuk menstabilkan arus listrik nya di baterai dengan kapasitas 12 V dan untuk rangka utama menggunakan baja panjang 130 cm. Material blade yang digunakan adalah material akrilik untuk blade yang berdimensi 0,67 meter x 0,25 meter. Diameter blade 1,18 sedangkan untuk poros menggunakan material Carbon Steels-45 C dengan dimensi 10 × 40 cm dan pada kecepatan angin tertinggi yaitu 4,0 m/s dapat menghasilkan daya mekanik sebesar 8,59 watt . Pada simulasi tegangan dengan beban baling-baling turbin angin seberat 4 kg pada mesin turbin angin tersebut di dapatkan tegangan von mises sebesar 9,098 Mpa, artinya tegangan yang bekerja pada baling-baling tersebut masih aman karena masih di bawah kekuatan luluh (yield strength) aluminium yaitu 275 Mpa.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ardiatma Brian, Dkk. (2017) *Rancang Bangun Mesin Turbin Angin Savonius Sebagai Penggerak Pompa Air*. Jurnal Ilmiah, Surabaya: Jurusan Teknik Pemersinan Kapal, Politeknik Negeri Surabaya.
- [2] Bahri W Syamsul, Dkk. (2014) *Unjuk Kerja Turbin Angin Savonius Dua Tingkat Empat Sudu Lengkung L*. Jurnal Ilmiah, Langsa: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Samudera.
- [3] Hasrofiddin, Dkk. (2019) *Perancangan Turbin Angin Tipe Hybrid Savonius Darrieus Sumbu Vertikal*. Jurnal Ilmiah, Riau: Teknik Elektro, UniversitasMaritim Raja Ali Haji.
- [4] Ikhsan Arfie Firmansyah dan Zulkarnain. (2) *Perancangan Bilah Turbin*
- [5] Machrus Ali, Dkk. (2015) *Desain Pitch Angle Controller Turbin Angina Dengan Permanent Magnetic Synchronus Generator (PMSG) cc Menggunakan Imperialist Competitive Algorithm (ICA)*. Prosiding SENTIA, Malang: Politeknik Negri Malang.
- [6] Parenden Daniel dan Ferdi H.Sumbung. (2013) *Rancang Model Turbin Savonius Sebagai Sumber Energi Listrik*. Jurnal Ilmiah, Merauke: Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Musamus.
- [7] itteloud JD. Global wind installations, World Wind Energy Assoc. (2020) 7. <https://library.wwindea.org/global-statistics/> (accessed January20, 2021).
- [8] Ansen AD, Michalke G. Modelling and control of variable-speed multi-pole permanent magnet synchronous generator wind turbine. *Wind Energy*.2008;11(5):537-554. Doi:10.1002/we.278
- [9] Kurniawan Adi, Amin Rois, Rochmad Winarso, Masruki Kabib, (2018), Uji Performa Sistem Coaxial Rotor Terhadap Generator Turbin Angin Sumbu Vertikal, Prosiding SNATIF 2018, volume 5, No. 1,Fakultas Teknik UMK.