

KEKUATAN SUDU TURBIN ANGIN SAVONIUS DENGAN ANALISA ELEMEN HINGGA

SAVONIUS WIND TURBINE BLADE POWER WITH FINITE ELEMENT ANALYSIS

HENRY PERMANA¹, WAHID DWI PRASETYO¹, DUDUNG HERMAWAN¹,
TUGIMAN FARUDIN¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Sains Dan Teknologi, Universitas Islam Assyafi'iyah Jakarta
Email : henryper2971@gmail.com

ABSTRACT

Energy needs continue to increase from year to year. This encourages various parties to research alternative energy. One alternative energy that is currently being researched and developed is wind energy. The first wind turbine used to generate electricity was built by P. La Cour from Denmark at the end of the 19th century. Wind turbines have various types of blades and different types of materials. One of the materials used for wind turbine blades is Galvalume G550 Zinc Coated Steel. Until now, no testing has been carried out on the zinc coated steel material Galvalume G550. This research aims to determine the value of stress resistance on wind turbine blades and obtain data on the maximum load value that the wind turbine blade can withstand. Testing will be carried out using Finite Element Analysis with Solidworks simulation. The results of the research showed that the maximum and minimum pressure stress resistance values for wind turbine blades from external flow analysis were 101,380 and 101,297Pa for each blade, with calculated data at a height of 2 meters. The maximum load value that a wind turbine blade can withstand based on Finite Element Analysis, the maximum stress is 35.79 Mpa. The results are satisfactory considering the fact that the maximum stress of the material used is 550 Mpa, much lower than the yield strength of the material applied for the blade.

Keywords: FEA, Simulation, Blades, Coated Steel, Galvalume G550

ABSTRAK

Kebutuhan energi dari tahun ke tahun terus meningkat. Hal ini mendorong berbagai pihak untuk meneliti energi alternatif. Salah satu energi alternatif yang tengah diteliti dan dikembangkan saat ini yaitu energi angina. Turbin angin pertama kali digunakan untuk membangkitkan listrik dibangun oleh P. La Cour dari Denmark diakhir abad ke-19. Turbin angin memiliki berbagai macam tipe *sudu* (baling-baling) dan jenis material yang berbeda-beda. Salah satu material yang digunakan untuk sudu turbin angin adalah Baja Lapis Seng Galvalume G550. Hingga saat ini belum pernah dilakukan pengujian terhadap bahan material Baja Lapis Seng tersebut Galvalume G550. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui nilai ketahanan stress pada sudu turbin angin dan mendapatkan data nilai beban maksimum yang mampu ditahan oleh *blade* turbin angin. Pengujian akan dilakukan dengan menggunakan *Finite Elemen Analysis* dengan simulasi solidworks. Hasil dari penelitian didapatkan nilai ketahanan stress pada sudu turbin angin tekanan maksimum dan minimum dari analisis aliran eksternal adalah 101.380 dan 101.297Pa pada masing-masing sudu, dengan data perhitungan pada ketinggian 2 meter. Nilai beban maksimum yang mampu ditahan oleh *blade* turbin angin berdasarkan Finite Element Analisis, tegangan maksimum adalah 35,79 Mpa. Hasilnya memuaskan mengingat fakta bahwa tegangan maksimal dari bahan yang digunakan adalah 550 Mpa, jauh lebih rendah daripada kekuatan hasil material yang diterapkan untuk bilah sudu.

Kata kunci: FEA ,Simulasi, Sudu , Baja Lapis, Galvalume G550

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Energi merupakan bagian penting bagi kehidupan manusia di dunia ini karena hampir semua aktivitas manusia dan industri sangat membutuhkan energi. Indonesia adalah negara

yang memiliki sumber daya yang sangat banyak salah satu nya energi angin.

Dalam memanfaatkan energi angin yang akan di konversikan menjadi energi listrik DC ini yaitu menggunakan turbin angin sebagai komponen pengonversi energi angin menjadi energi gerak (mekanik) kemudian di salurkan untuk

pembangkit energi listrik DC[1]. Turbin angin membangkitkan energi yaitu dengan memanfaatkan tekanan energi angin untuk memutar turbin kemudian putaran turbin ini menggerakkan generator yang akan kemudian akan diproses untuk diubah menjadi energi listrik.

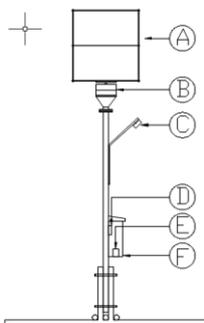
Terdapat dua jenis turbin angin yaitu turbin jenis turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin vertikal. Turbin angin memiliki berbagai macam tipe sudu (baling-baling) dan jenis material yang berbeda-beda. Salah satu material yang digunakan untuk sudu turbin angin adalah Baja Lapis Seng[2].

Bahan baja lapis seng adalah suatu jenis bahan yang terdiri dari dua atau lebih bahan dimana sifat masing masing bahan berbeda satu sama lain nya baik itu sifat kimia maupun sifat fisiknya dan tetap terpisah dalam hasil akhir bahan tersebut, keunggulan baja lapis seng diantaranya berat lebih ringan, kekuatan yang lebih tinggi tahan cuaca dan memiliki biaya perakitan yang lebih murah karena berkurangnya jumlah komponen. Hingga saat ini belum pernah dilakukan pengujian terhadap bahan material Baja Lapis Seng tersebut Berdasarkan latar belakang tersebut maka perlu dilakukan pengujian terhadap bahan material tersebut pada *blade* turbin angin tipe horisontal savionus, sebagai pembangkit listrik berkapasitas rendah[3].

Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi dengan menggunakan metode *Finite Element Analysis* (FEA) berdasarkan detail desain yang telah dihasilkan. Metode ini dapat digunakan untuk memecahkan permasalahan elastisitas yang kompleks dan masalah analisis struktural. Dalam penelitian ini Finite Element Analysis memungkinkan penulis mengetahui kesalahan kesalahan perancangan *blade* pada turbin angin savonius yang telah dibuat menggunakan bahan Baja Lapis Seng Galvalume G550[4].

MATERIAL TURBIN ANGIN SAVONIUS 'S'

Turbin Angin terdiri dari berbagai komponen, tetapi komponen utama pada alat ini sebagai berikut :



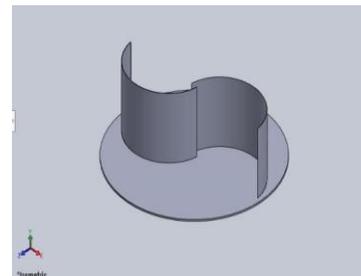
Gambar 1. Turbin Angin Savonius 'S'[3]

A : Sudu savonius S
B : Generator

C : Lampu
D : Switch Controller
E : Baterai
F : Box Panel Control

Sudu Turbin Angin Savonius

Blade/sudu adalah baling-baling pada turbin angin. Sudu pada turbin angin biasanya dihubungkan dengan *rotor* pada turbin angin. Baling-baling merupakan salah satu bagian dari turbin angin yang memiliki fungsi menerima energi kinetik dari angin dan merubahnya menjadi energi gerak (mekanik) putar pada poros penggerak, angin yang menghembus menyebabkan turbin tersebut berputar [5].



Gambar 2. Blade Savonius Isometri [4]

Kategori Bahan Penyusun Baja Ringan

Material baja ringan adalah sejenis baja karbon yang bersifat kaku dan kuat. Sehingga, sering digunakan untuk keperluan konstruksi, rangka mobil, membuat peralatan listrik, hingga senjata api.

Tiap baja ringan memiliki standar *high tensile strength* 550 Mpa (5500 kg/cm²) yang dipengaruhi oleh tegangan tarik.

Bahan dasar baja ringan adalah *Carbon Steel*. *Carbon Steel* adalah baja yang terdiri dari elemen-elemen yang prosentase maksimum selain bajanya sebagai berikut: 1.70% *Carbon*, 1.65% *Manganese*, 0.60% *Silicon*, 0.60% *Copper*. *Alloy* ini kemudian diberi *coating* untuk melindungi baja ringan dari potensi korosi.

Dengan kalimat penjelasan yang lebih simpel, Baja ringan terbuat dari *galvalum*, atau *zincalume* yaitu material baja dengan pelapisan yang mengandung unsur karbon, aluminium dan zinc yang tahan terhadap korosi dan sesuai standar.



Gambar 3. Baja Ringan [1]

Komponen Bagian Dalam Baja Ringan

Komponen dalam adalah bagian yang tidak dapat terlihat, komponen ini berupa baja yang bertugas untuk menahan semua beban yang bekerja pada struktur. Baja yang digunakan umumnya adalah baja mutu tinggi dengan grade G-550, yang berarti tegangan tarik minimum adalah 550MPa (5500kg/cm²), baja ini biasa disebut baja 'Hi-Ten' atau High Tensile. Baja Hi-Ten biasa digunakan untuk komponen struktural [6].

Komponen Bagian Luar Baja Ringan

Lapisan terluar adalah lapisan yang paling terlihat yaitu pelapis tahan karat atau biasa disebut dengan coating. Pelapis diperlukan karena baja rentan terhadap karat/teroksidasi. Sehingga jika baja mengalami karat, maka kemampuan menahan beban yang bekerja berkurang karena luas permukaannya semakin berkurang. Jenis pelapis yang digunakan adalah material yang mampu untuk melindungi baja, biasanya diistilahkan sebagai material yang lebih elektronegatif daripada baja. Contoh bahan ini adalah: Seng (Zn), Aluminium (Al), Magnesium (Mg). Inilah mengapa baja ringan sering disebut aluminium, karena yang tampak dari luar adalah tekstur aluminium [7].

Baja Ringan Zincalume/Galvalume

Baterai Baja ringan dibuat dari lembaran baja atau pelat baja tipis yang dipotong-potong dan terbuat dari baja murni kemudian dibentuk dengan mesin *roll-forming*. Proses pengerjaan dilakukan dalam kondisi dingin, sehingga sering dikenal dengan nama baja canai dingin (*cold-formed* atau *cold-rolled*). Proses *rolling* kompres dan membenteng baja, pemberian gaya atau tegangan terjadi dalam proses tersebut. Sedangkan kekakuan didapat dari proses memberi tekukan (pemberian gaya) itulah sebabnya mengapa baja ringan mempunyai mutu tinggi. Sedangkan baja yang biasa dibentuk dalam keadaan masih panas dinamakan baja canai panas (*hot-rolled*). Berikut ini adalah spesifikasi singkat dari baja ringan zincalume [4].

Tabel 1. Spesifikasi Zincalume/Galvalume [3]

Ketebalan	0,5 mm
Massa jenis	9.89kg/m ³
Tensile strength	590 mpa
Yield strength	560 mpa
Poisson's ratio	0.337

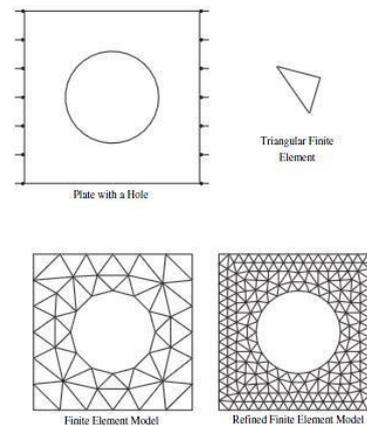
Finite Element Analysis

Finite Element Analysis (FEA), adalah prosedur numeris yang dapat dipakai untuk menyelesaikan masalah-masalah dalam bidang

rekayasa (*engineering*), seperti analisa tegangan pada struktur, frekuensi pribadi dan *mode shape*-nya, perpindahan panas, elektromagnetis, dan aliran fluida (*Moaveni*).

Metode ini digunakan pada masalah-masalah rekayasa dimana *exact solution/analytical solution* tidak dapat menyelesaikannya. Inti dari FEA adalah membagi suatu benda yang akan dianalisa, menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (*finite*). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (*node*). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut *meshing*

Untuk menggambarkan dasar pendekatan FEA perhatikan gambar 4. Gambar 4 adalah gambar sebuah plate yang akan dicari distribusi temperturnya. Bentuk geometri plate di "meshing" menjadi bagian-bagian kecil bentuk segitiga



Gambar 4. Meshing Pada Plate [8]

untuk mencari solusi yang berupa distribusi temperatur *plate*. Sebenarnya kasus ini dapat diselesaikan dengan cara langsung yaitu dengan persamaan kesetimbangan panas (*heat balance equation*). Namun untuk geometri yang rumit seperti *engine block* diperlukan FEA untuk mencari distribusi temperatur [7].

Komponen mekanis dalam bentuk batang atau balok sederhana, dapat dianalisis dengan metode dasar mekanika. Namun kenyataannya sangat jarang komponen mekanis berbentuk sederhana, sehingga membutuhkan metode numerik yang lebih kompleks. Oleh sebab itulah tercipta metode elemen hingga. Metode elemen hingga adalah metode numerik yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan teknik dan problem matematis dari suatu gejala fisis.

Metode elemen hingga membagi (*discretizes*) struktur menjadi kecil tetapi terbatas, yang didefinisikan dengan baik, substruktur elastis (elemen). Dengan menggunakan fungsi polinomial dan dengan operasi matriks, perilaku elastis setiap elemen terus menerus

dikembangkan dalam hal material elemen dan sifat geometris. Beban dapat diterapkan dalam elemen (gravitasi, dinamis, termal, dll), pada permukaan elemen, atau di nodal elemen [4].

Sebuah nodal memiliki derajat kebebasan (DOF). Derajat kebebasan adalah gerak translasi dan rotasi independen yang ada di nodal. Sebagian besar, nodal dapat memiliki tiga gerak translasi dan tiga gerak rotasi dari derajat kebebasan. Setelah setiap elemen dalam struktur didefinisikan secara lokal dalam bentuk matriks, kemudian elemen di satukan secara global melalui nodal (DOF) mereka ke dalam sistem matriks secara keseluruhan. Kemudian penerapan beban dan kondisi batas ditentukan melalui operasi matriks, nilai dari semua perpindahan derajat kebebasan tidak diketahui sehingga harus ditentukan. Setelah hal itu dilakukan, hal ini menjadi masalah sederhana untuk menggunakan perpindahan dalam menentukan regangan dan tegangan didalam persamaan konstitutif melalui elastisitas. Metode elemen hingga adalah metode numerik domain diskritisasi dari struktur secara berkelanjutan sehingga kesalahan pun mungkin terjadi. Kesalahannya yaitu :

- Kesalahan komputasi Kesalahan ini adalah karena perhitungan komputer dan formulasi dari skema integrasi numerik yang digunakan. Untuk tujuan komersial kebanyakan kode batasan elemen adalah berkonsentrasi pada pengurangan dalam kesalahan ini dan akibatnya analisis umumnya berkaitan dengan diskritisasi faktor.
- Kesalahan diskritisasi geometri dan distribusi perpindahan struktur yang sebenarnya terus menerus bervariasi. Menggunakan jumlah elemen terbatas untuk model struktur dapat menerangkan kesalahan dalam pencocokan geometri dan distribusi perpindahan karena keterbatasan matematika yang melekat pada elemen.

Konsep Elemen Hingga

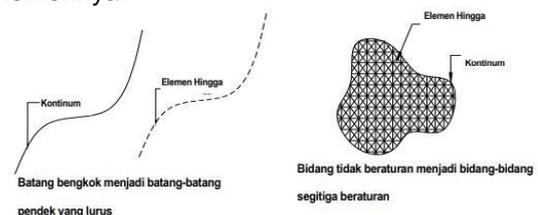
Struktur dalam istilah teknik adalah rangkaian elemen-elemen yang sejenis maupun yang tidak sejenis. Elemen adalah susunan materi yang mempunyai bentuk relatif teratur. Elemen ini akan mempunyai sifat-sifat tertentu yang tergantung kepada bentuk fisik dan materi penyusunnya. Bentuk fisik dan materi penyusun elemen tersebut akan menggambarkan totalitas dari elemen tersebut. Totalitas sifat elemen inilah yang disebut dengan kekakuan elemen. Jika diperinci maka sebuah struktur mempunyai Modulus Elastis (E), Modulus Geser (G), Luas Penampang (A), Panjang (L) dan Inersia (I). Inilah satu hal yang perlu dipahami didalam pemahaman elemen hingga nantinya, bahwa kekakuan adalah fungsi dari E, G, A, L, I [9].

Sebagaimana telah didefinisikan pada pendahulu-pendahulu, bahwa energi itu adalah kekal dan jika aksi (energi) dilakukan terhadap suatu materi, maka materi akan melakukan suatu reaksi sebesar aksi tersebut. Reaksi dari pada materi ini akan disebut dengan gaya dalam. "GAYA DALAM " yang ada dalam struktur didefinisikan yaitu: Gaya Normal, Gaya Lintang, dan Gaya Momen yang akan mempengaruhi bentuk fisik materi tersebut. Perubahan bentuk fisik materi ini disebut dengan peralihan (*displacement*). Metode elemen hingga adalah suatu metode pemaparan bagaimana perjalanan aksi hingga timbul reaksi dalam materi, atau metode untuk memperkirakan besar reaksi dan reaksi apa yang timbul dari materi tersebut.

Kontinum dibagi-bagi menjadi beberapa bagian yang lebih kecil, maka elemen kecil ini disebut elemen hingga. Proses pembagian kontinum menjadi elemen hingga disebut proses "diskritisasi" (pembagian). Dinamakan elemen hingga karena ukuran elemen kecil ini berhingga (bukannya kecil tak berhingga) dan umumnya mempunyai bentuk geometri yang lebih sederhana dibanding dengan kontinumnya.

Suatu bidang yang luas dengan dimensi yang tidak teratur, dipotong-potong berbentuk segi tiga atau bentuk segi empat yang beraturan. Bidang yang dengan dimensi tidak beraturan tadi disebut kontinum, bidang segitiga atau segi empat beraturan disebut elemen hingga. Dan banyak lagi persoalan yang identik dengan hal diatas. Maka dari sini dapat dikatakan bahwa elemen hingga merupakan elemen diskrit dari suatu kontinum yang mana perilaku strukturnya masih dapat mewakili perilaku struktur kontinumnya secara keseluruhan.

Pendekatan dengan elemen hingga merupakan suatu analisis pendekatan yang berdasarkan asumsi peralihan atau asumsi tegangan, bahkan dapat juga berdasarkan kombinasi dari kedua asumsi tadi dalam setiap elemennya.



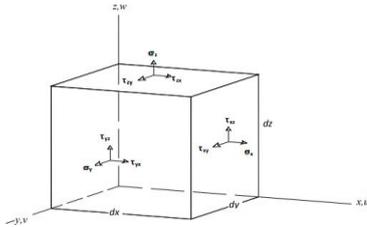
Gambar 5. Diskretisasi Suatu Koninum pada Metode Elemen Hingga [9]

Tegangan dan Regangan dalam Kontinum Elastis

Dalam pembahasan ini diasumsikan bahwa kontinum yang dianalisis terdiri atas material elastis dengan regangan kecil. Hubungan antara regangan dan tegangannya dapat digambarkan dalam suatu sistem koordinat ortogonal yang

mengikuti kaidah tangan kanan misalnya dalam sebuah koordinat cartesius.

Gambar.6 memperlihatkan sebuah elemen yang amat kecil dalam sumbu koordinat Cartesius yang panjang sisi-sisinya dinyatakan dengan dx , dy , dan dz . Tegangan normal dan tegangan geser digambarkan dengan anak panah pada permukaan elemen tadi. Tegangan normal diberi notasi x , y , dan z , sedangkan tegangan geser diberi notasi txy , tyz , dan seterusnya. Dari persamaan keseimbangan elemen tadi didapatkan hubungan sebagai berikut :



Gambar 6. Tegangan Pada Sebuah Elemen Kecil [9]

Langkah Dasar dalam Metode Elemen Hingga

Langkah-langkah dasar dalam finite element analysis adalah sebagai berikut [9]:

A. Processing Phase

- Membuat dan menentukan daerah yang akan diselesaikan menggunakan elemen hingga, kemudian menguraikan masalah menjadi nodal-nodal dan elemen-elemen.
- Mengasumsikan bentuk fungsi untuk menggambarkan sifat fisik dari sebuah elemen, yang merupakan pendekatan fungsi kontinyu yang diasumsikan untuk menggambarkan solusi dari sebuah elemen.
- Menyelesaikan persamaan untuk sebuah elemen
- Menyatukan elemen-elemen untuk menghadirkan keseluruhan masalah. Membentuk matrik kekakuan global discretize.
- Terapkan kondisi batas, kondisi awal dan pembebananukur untuk mengukur kecepatan angin.

B. Solution Phase

Memecahkan satu set persamaan aljabar linier atau non linier secara cepat untuk mendapatkan hasil nodal seperti nilai perpindahan pada nodal-nodal yang berbeda atau nilai temperatur pada nodal-nodal yang berbeda dalam masalah perpindahan panas.

C. Post processing Phase

Pada sesi ini kita akan mendapatkan informasi penting lainnya. Seperti nilai tegangan (*stress*) dalam analisa statik,

distribusi kecepatan mekanika fluida, distribusi temperatur dan lain-lain.

1.2 Tujuan Penelitian

Adapun penelitian ini adalah untuk menguji ketahanan material *blade* yang digunakan pada turbin angin tipe savionus dengan penggunaan metode *Finite Element Analysis* yaitu software yang dapat dijadikan dasar untuk menganalisa dengan tujuan :

1. Secara umum untuk mengetahui nilai ketahanan stress pada *blade* turbin angin.
2. Secara khusus untuk mendapatkan data nilai beban maksimum yang mampu ditahan oleh *blade* turbin angin.

2. BAHAN DAN METODE

2.1 BAHAN

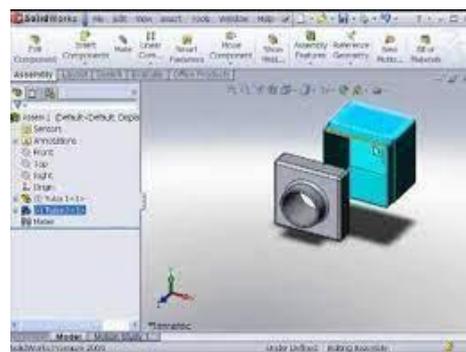
Blade Turbin Angin Savonius

Blade merupakan bagian dari turbin angin yang berfungsi menerima energy kinetik dari angin dan merubahnya menjadi energy gerak (mekanik) putar pada poros penggerak.

- a. Qty *Blade* : 4 (Empat)
- b. Tipe : *Blade* savonius S
- c. Material : Acrylic 5 mm bawah
Acrylic 3 mm tengah dan atas
- d. Dimensi : Diameter 50cm, Jari-jari 25cm

Software SolidWorks

SolidWorks adalah apa yang kita sebut “parametrik” modelling yang solid yang diperuntukan untuk pemodelan desain 3-D. Parametrik sendiri itu berarti bahwa dimensi dapat memiliki hubungan antara satu dengan yang lainnya dan dapat diubah pada saat proses desain dan secara otomatis mengubah part solid dan dokumentasi terkait (blueprint).



Gambar 7. Software Solid Works

2.2 METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Finite Elemen Analysis (FEA). Komponen analisa yang digunakan diantaranya;

A. Luas sapuan *blade*

Luas sapuan dihitung dengan rumus yang diberikan :

$$A = D \times H \dots\dots\dots [9]$$

Dimana :

D = diameter rotor

H = tinggi rotor

Output daya akan tergantung pada area yang disapu. Area sapuan yang besar memberikan output daya yang besar.

B. Koefisien daya

Persamaan tenaga angin mewakili daya ideal turbin angin savonius, seperti jika tidak ada kerugian selama proses konversi yaitu pada saat energy mekanik diubah menjadi energy listrik tetapi tidak ada kemungkinan untuk mengubah semua energy menjadi energy kerja yang berguna. Hanya ada 45% energy yang diubah menjadi energi kerja yang berguna, beberapa energi mungkin hilang di kotak roda gigi, transmisi, bantalan dan lain – lain.

Koefisien daya maksimum untuk turbin angin savonius adalah 0,45. jadi dalam proyek ini penulis menggunakan nilai koefisien daya maksimum adalah 0,45. Akhirnya persamaan tenaga angin dapat dikembalikan dengan mempertimbangkan kerugian dibawah ini :

$$C_p = 0.45 \dots\dots\dots [9]$$

C. Kecepatan angin

Kecepatan angin adalah komponen penting utama yang mempengaruhi output daya. Parameter kecepatan angin yang termasuk dalam perhitungan ini adalah kecepatan angin cut in , kecepatan angin terukur, dan kecepatan cut out. Jain [10] menyatakan bahwa kecepatan angin berhubungan dengan kinerja daya sebagai berikut :

$$V_{cut\ in} = 0,5 V_{avg}$$

$$V_{rate} = 1.5 V_{avg}$$

$$V_{cut-out} = 3.0 V_{avg}$$

Berdasarkan dengan kecepatan rata - rata yang diperoleh dilapangan nilai kecepatan angin rata rata ditemukan 4m/s

D. Torsi

Torsi yang digunakan pada penelitian ini , juga sebagai aspek utama dalam penentuan stress analisis menggunakan solidwork adalah torsi dinamis , yang mana menggunakan persamaan :

$$T_d = F_d \cdot R_d \dots\dots\dots [9]$$

Dimana :

T_d = torsi yang dihasilkan dari putaran poros

F_d = gaya pada poros akibat puntiran

R_d = jarak lengan *blade*

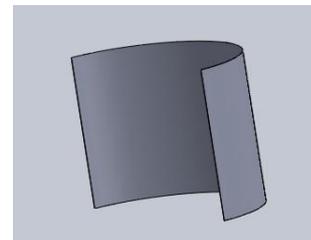
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gambar rancang sudu turbin angin savonius

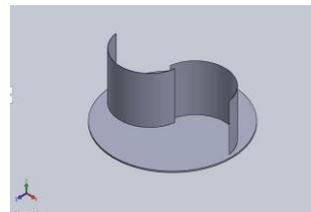
Berikut adalah gambar dan spesifikasi dari sudu turbin angina savonius yang direncanakan, dimana gambar menggunakan software autocad dan solidwork :

Tabel 2. Spesifikasi Sudu Turbin Angin

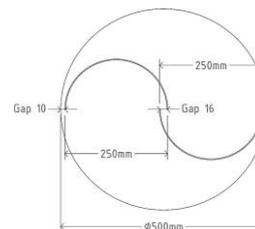
Parameter	Nilai
Area yang tersapu (A)	2 m ²
Diameter rotor (D)	50 cm
Tinggi rotor (H)	40 cm
Panjang akord (d)	250 mm
Jarak overlap (e)	160 mm
Ketebalan <i>blade</i> (t)	0,5 mm



Gambar 8. Gambar Design Blade Menggunakan Autocad



Gambar 9. Dimensi Bentuk Blade Savonius



Gambar 10. Bagian Sudu Yang Dipergunakan Untuk Analisa Stress

3.2 Kekuatan dan Tegangan Pada Alat Uji

a. Gaya

Bila suatu batang material mengalami pembebanan dari luar yang bekerja sejajar sumbu batang, maka dalam material tersebut akan timbul gaya-gaya perlawanan yang dihasilkan oleh gaya antar molekul itu sendiri.

Tabel 3. Parameter Kecepatan Angin

Parameter Kecepatan angin	Persamaan	Kalkulasi
Cut in speed	$V_{cut\ in} = 0,5 V_{avg}$	2 m/s
Rate wind speed	$V_{rate} = 1.5 V_{avg}$	6 m/s
Cut-out speed	$V_{cut-out} = 3.0 V_{avg}$	12 m/s

Gaya yang terdapat pada material secara umum adalah:

- Gaya Normal**
Gaya yang arahnya tegak lurus terhadap penampang batang.
- Gaya Tangensial**
Gaya yang arahnya sejajar pada penampang batang.

2. Tegangan

Adanya gaya-gaya yang timbul diasumsikan terbagi rata pada seluruh penampang. Jadi gaya-gaya bekerja pada suatu luasan penampang dinamakan tegangan disimbolkan dengan huruf Yunani sigma (σ). Dengan persamaan berikut.

$$\sigma = P/A \text{ (N/m}^2\text{) [9]}$$

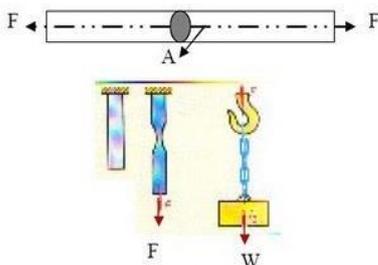
Dimana :

- σ = Tegangan (N/m²) atau (Pa)
- P = Gaya yang bekerja (N)
- A = Luas Penampang (m²)

Bila ditinjau dari cara dan arah pembebanan atau pemberian gaya yang terjadi pada bagian-bagian yang direncanakan maka tegangan yang terjadi pada bahan terbagi beberapa macam yaitu:

a. Tegangan Tarik

Tegangan tarik pada umumnya terjadi pada rantai, tali, paku keeling, dan lain-lain. Rantai yang diberi beban W akan mengalami tegangan tarik yang besarnya tergantung pada beratnya.



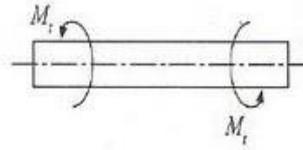
Gambar 11. Tegangan Tarik

Persamaan tegangan tarik dapat dituliskan :

$$\sigma_t = P/A \text{ (N/m}^2\text{) [9]}$$

Dimana :

- σ_t = Tegangan Tarik (N/m²)
- P = Gaya Tarik (N)
- A = Luas Penampang (m²)



b. Tegangan Tekan

Tegangan tekan terjadi bila suatu batang diberi gaya F yang saling berlawanan dan terletak dalam satu garis gaya. Misalnya, terjadi pada tiang bangunan yang belum mengalami tekukan, poros sepeda, dan batang torak ⁽⁹⁾.

Gambar 12. Tegangan Tekan

Persamaan tegangan tarik dapat dituliskan :

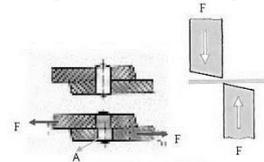
$$\sigma_c = P/A \text{ (N/m}^2\text{)[9]}$$

Dimana :

- σ_c = Tegangan Tekan (N/m²)
- P = Gaya Tarik (N)
- A = Luas Penampang (m²)

c. Tegangan Geser

Tegangan geser terjadi jika suatu benda bekerja dengan dua gaya yang berlawanan arah, tegak lurus sumbu batang, tidak segaris gaya namun pada penampangnya tidak terjadi momen. Tegangan ini banyak terjadi pada konstruksi. Misalnya: sambungan keling, gunting, dan sambungan baut .



Gambar 13. Tegangan Geser

Persamaan tegangan geser dapat dituliskan :

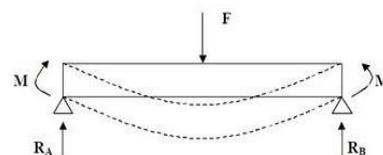
$$\tau = P/A \text{ (N/m}^2\text{) [9]}$$

Dimana :

- τ = Tegangan Geser (N/m²)
- P = Gaya Tangensial (N)
- A = Luas Penampang (m²)

d. Tegangan Lengkung

Tegangan lengkung adalah tegangan yang diakibatkan karena adanya gaya yang menumpu pada titik tengah suatu beban sehingga mengakibatkan benda tersebut seakan-akan melengkung.



Gambar 14. Tegangan Lengkung

$$F = Ra + Rb \dots\dots[9]$$

$$\sigma_b = Mb/Wb \dots [9]$$

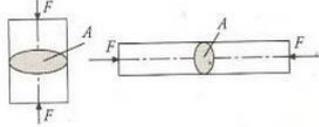
Dimana :

Mb = Momen lengkung

Wb = Momen tahan lengkung

e. Tegangan Puntir

Tegangan puntir merupakan tegangan yang diakibatkan oleh akibat putar. Tegangan puntir sering terjadi pada roda gigi dan batang-batang torsi pada mobil, juga saat melakukan pengeboran. Jadi tegangan puntir merupakan tegangan tangensial.



Gambar 15. Tegangan Puntir

Benda yang mengalami beban puntir akan menimbulkan tegangan puntir sebesar :

$$\sigma_t = Mt/Wp \dots\dots\dots [9]$$

Dimana :

Mt = Momen puntir

Wp = Momen tahanan polar (benda puntir)

3.3 Jenis Pembebanan

Dalam suatu perencanaan bagian-bagian mesin dalam perhitungan-perhitungannya selalu diberikan factor keamanan sehingga hasil-hasilnya memberikan suatu tegangan yang diijinkan untuk keamanan konstruksi yang direncanakan. Besarnya faktor keamanan yang diambil tergantung dari jenis pembebanannya. Jenis pembebanan dapat dibagi atas:

1. Pembebanan Statis

Pembebanan ini sebenarnya tidak langsung mengalami beban statis melainkan mulai dari nol, kemudian baru menerima beban statis (beban tidak berubah lagi). Pada pembebanan ini pengaruh yang diakibatkan dari luar sangat kecil dibandingkan dengan besar pembebanan statis.

2. Pembebanan Dinamis

Pembebanan dinamis adalah akibat pembebanan yang berubah ubah dalam suatu interval waktu. Pembebanan dinamis, yang terdiri dari :

- Pembebanan berulang
- Pembebanan berganti
- Pembebanan kejut

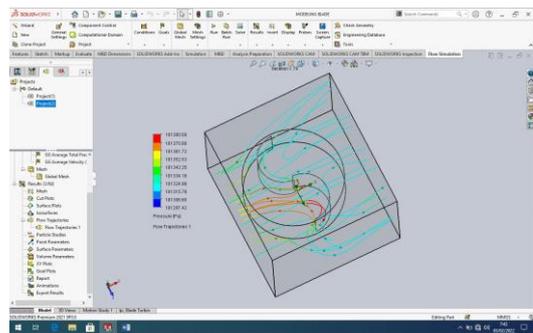
Alat uji yang akan digunakan pada penelitian kali ini, sudah memenuhi spesifikasi sesuai kebutuhan dan fungsi, dimana alat yang akan digunakan berupa.

3.4 Simulasi Penggunaan Solidworks

Simulasi dilakukan dengan menggunakan solidwork, dengan dua tahap yaitu analisa aliran udara yang mengenai *blade* dan stress analisa dengan langkah sebagai berikut :

1. Analisa Flow Direction

Tahapan tahapan dalam analisa *flow direction* melalui beberapa tahapan yang mana akan disertakan tangkapan layar dari solidwork sebagai acuan penjelasan

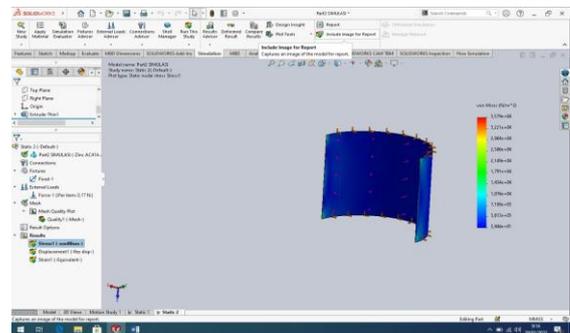


Gambar 16. Analisa Flow Direction

2. Simulasi Stress Analisis

Tahapan tahapan dalam analisa stress melalui beberapa tahapan yang mana akan disertakan tangkapan layar dari solidwork sebagai acuan penjelasan. Pada analisa ini dilakukan simulasi hanya pada satu sudu dengan asumsi semua sudu seragam dari segi material dan perlakuan

Gambar 17. Simulasi Stres Analisis



3.5 Perhitungan dan Langkah analisa FEA

Hasil perhitungan dalam table dibawah :

Tabel 4 Spesifikasi Singkat Blade Dan Perhitungan

Parameter	Nilai
Kecepatan angin terukur	6 m/s
Yield' strength	560 Mpa
Torsi	0,17 N/m
Percepatan grafitasi	9.8 m/s
Material	Zincalume
Jumlah sudu	4 buah (2 atas 2 bawah)

3.6 Analisa dan Pembahasan

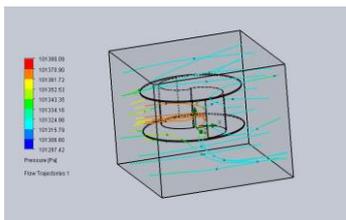
Ada dua macam simulasi dan analisis yang dilakukan dalam penelitian kali ini yaitu , analisis flow simulation dan analisis struktural dengan menggunakan simulasi struktur solidworks.

3.7 Analisis Flow Direction

Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui tekanan angin yang terjadi pada baling baling turbin angina Perbedaan tekanan antara permukaan cembung dan cekung dari rotor menginduksi gaya drag gaya drag memutar pisau. Perbedaan tekanan diperoleh dengan menggunakan.

3.8 Analisis Aliran Eksternal

Jenis aliran bilah rotor Savonius dianggap dalam analisa ini sebagai aliran eksternal, karena melibatkan padatan model yang sepenuhnya dikelilingi oleh aliran. Aliran fluida tidak dibatasi oleh permukaan luar mana pun, alirannya adalah dibatasi oleh batas domain komputasi. Domain komputasi tidak seragam didefinisikan hingga 3m itu berarti rotor Savonius tertutup oleh daerah ini dan volume tetap di daerah ini. Lihat pada gambar dibawah.



Gambar 18. Gambar Flow Analisis Menggunakan Solidwork

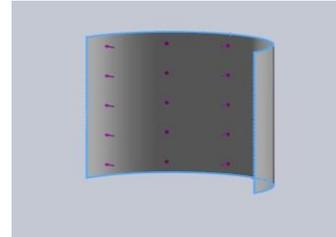
Pada gambar Distribusi tekanan di sekitar rotor Savonius dilihat dengan plot potongan kontur dari pandangan depan, di atas gambar menunjukkan tampilan plot kontur. Daerah bertekanan tinggi sebagai merah dan daerah bertekanan rendah sebagai warna biru. Tekanan tinggi di dekat permukaan cekung dan rendah di dekat permukaan cembung adalah diamati dari gambar di atas. Tekanan maksimum 101380,09 Pa dan minimum adalah 101297,42 Pa, dengan asumsi nilai kecepatan angin yang digunakan adalah 6/ms, maka terlihat perbedaan tekanan yang terjadi pada sudu, dimana daerah ceung mendapat lebih banyak tekanan daripada daerah cembung.

3.9 Analisis Struktural

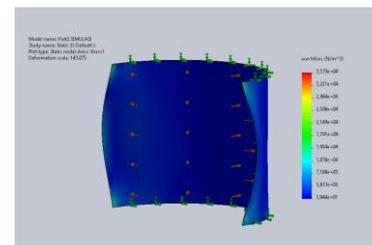
Struktur sudu rotor dianalisis menggunakan metode statik *Finite Element Analysis* (FEA) dengan, Software simulasi SolidWorks. Analisis FEA dilakukan hanya pada satu sudu karena dua sudu rotor adalah simetri. Hasil FEA statis diterjemahkan dalam dua kriteria: distribusi tegangan dan deformasi. Langkah awal analisis

FEA adalah bahan yang dialokasikan untuk model bilah rotor di mana paduan ZINC ALLOY adalah bahan yang dipilih. Kemudian batasan tetap diterapkan di bagian atas, dan bawah tepi *blade* seperti yang ditunjukkan pada langkah analisa , Pisau tetap dalam posisi statis saja. Beban yang diterapkan untuk analisis ini adalah Torsi 0.17 N/m diperoleh dari perhitungan gaya yang bekerja pada *blade*. Dan gaya tersebut terdistribusi secara merata pada daerah sudu cekung.

Gambar 19. Distribusi gaya pada sudu

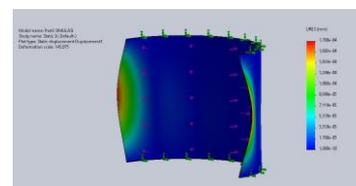


Gambar 20. menunjukkan hasil distribusi tegangan sudu rotor. Tegangan Von Mises maksimum dan minimum untuk bilah rotor masing-masing adalah maximum adalah 35.790.000 Pa dan minimum 38.460 Pa. Hasilnya memuaskan mengingat fakta bahwa tegangan Von Mises maksimum jauh lebih rendah daripada kekuatan luluh material yang digunakan untuk sudu rotor.

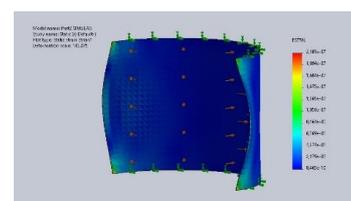


Gambar 20. Distribusi Stress Pada Sudu

Gambar 21. menunjukkan deformasi bilah rotor di bawah beban yang diberikan, deformasi terjadi pada bagian sisi kanan dan kiri, yang tidak memiliki sambungan sebagai penahan beban



Gambar 21. Deformasi Yang Terjadi

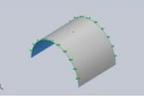


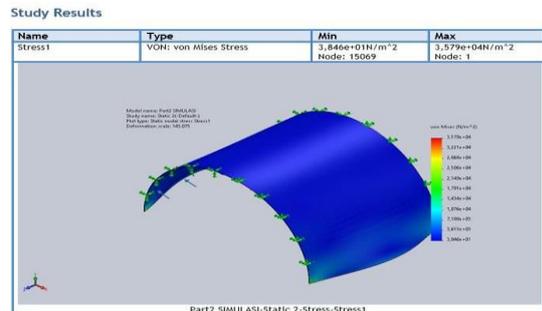
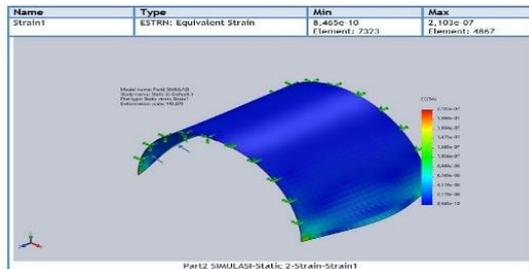
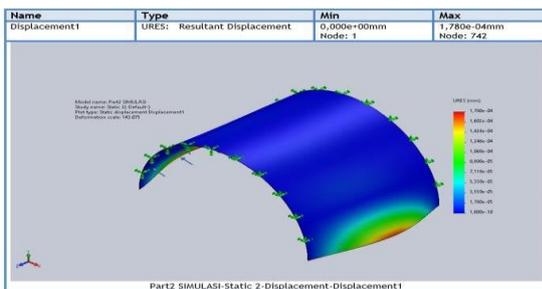
Gambar 22. Strain Yang Terjadi Pada Blade

Gambar 23 dibawah ini. menunjukkan deformasi maksimum yang terjadi pada bilah sudu , deformasi maksimum sudu rotor Savonius adalah 0.178mm. Berikut hasil report dari analisa stress , deflection yang terjadi dan strain yang terjadi pada yang didapatkan dari software solidwork

Material Properties		
Model Reference	Properties	Components
	Name: Zmc AC41A Alloy, As Cast Model type: Linear Elastic Isotropic Default failure criterion: Unknown Tensile strength: $3,3e+08$ N/m ² Compressive strength: $6e+08$ N/m ² Elastic modulus: $8,5e+10$ N/m ² Poisson's ratio: 0,3 Mass density: $6,700$ kg/m ³ Thermal expansion coefficient: $2,74e-05$ /Kelvin	SolidBody.1 (Extrude-Thin.1) (Part2, SIMULAS1)
Curve Data: N/A		

Loads and Fixtures			
Fixture name	Fixture Image	Fixture Details	
Fixed-1		Entities: 2 edge(s) Type: Fixed Geometry	
Resultant Forces			
Components	X	Y	Z
Reaction force(N)	-7,72998e-08	-0,108237	-1,30385e-08
Reaction Moment(N.m)	0	0	0

Load name	Load Image	Load Details
Force-1		Entities: 1 face(s) Type: Apply normal force Value: 0,17 N



Gambar 23. Analisa Stress

Mesh information	
Mesh type	Solid Mesh
Mesher Used:	Standard mesh
Automatic Transition:	Off
Include Mesh Auto Loops:	Off
Jacobian points for High quality mesh	16 Points
Element Size	7,83973 mm
Tolerance	0,391987 mm
Mesh Quality	High

Mesh information - Details	
Total Nodes	15496
Total Elements	7523
Maximum Aspect Ratio	50,255
% of elements with Aspect Ratio < 3	0
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	84,9
Percentage of distorted elements	0
Time to complete mesh(hh:mm:ss):	00:00:09
Computer name:	

Gambar 24. Hasil Analisa Stress

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengamatan, pengujian dan analisa kekuatan sudu pada turbin angin menggunakan software solidwork yang dibuat dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut ini :

- Analisa kekuatan/ *stress analysis* pada simulasi memiliki kemampuan yang cukup baik dalam memprediksi tegangan yang terjadi pada sudu turbin. Dari hasil simulasi didapat bahwa tegangan terjadi disemua bagian sudu turbin. Dari analisis CFD, diketahui bahwa daerah cekungan sudu memiliki tekanan tinggi dan daerah cembung memiliki tekanan rendah untuk dua bilah rotor Savonius. Dari Finite Element Analisis, tegangan maksimum adalah 35,79 Mpa. Hasilnya memuaskan mengingat fakta bahwa tegangan maksimal dari bahan yang digunakan adalah 550 Mpa , jauh lebih rendah daripada kekuatan hasil material yang diterapkan untuk bilah sudu.
- Tekanan maksimum dan minimum dari analisis aliran eksternal adalah 101.380 dan 101.297 Pa pada masing-masing sudu, dengan data perhitungan pada ketinggian 2 meter.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Pudjanarso, "Kincir Angin," *Den. Hal*, vol. 21, 2006.
- [2] P. Jain, *Wind energy engineering*. McGraw-Hill Education, 2016.
- [3] J. F. Manwell, J. G. McGowan, and A. L. Rogers, *Wind energy explained: theory, design and application*. John Wiley & Sons., 2009.
- [4] P. Musgrove, "Wind power," *Camb. Books*, 2009, Accessed: Nov. 24, 2023. [Online]. Available: <https://ideas.repec.org/b/cup/cbooks/9780521762380.html>

- [5] C. Johnson, "Practical wind-generated electricity." 1998.
- [6] W. S. Widodo, A. C. Chin, H. Sihombing, and M. Y. Yuhazri, "Design and analysis of 5 kW Savonius rotor blade," *Glob. Eng. Technol. Rev.*, vol. 2, no. 8, pp. 1–8, 2012.
- [7] A. Dhote and V. Bankar, "Design analysis and fabrication of Savonius vertical axis wind turbine," *Int. Res. J. Eng. Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 2048–2054, 2015.
- [8] J. F. T. Belytschko, *A first course in finite elements*. 2007. Accessed: Nov. 24, 2023. [Online]. Available: <https://ds.amu.edu.et/xmlui/bitstream/handle/123456789/16535/A%20first%20course%20in%20finite%20element%20analysis.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [9] D. Dahlan, "Elemen mesin," *Jkt. Citra Harta Prima*, 2012.
- [10] W. S. Widodo, A. C. Chin, H. Sihombing, and M. Y. Yuhazri, "Design and analysis of 5 kW Savonius rotor blade," *Glob. Eng. Technol. Rev.*, vol. 2, no. 8, pp. 1–8, 2012.