

PERANCANGAN STRUKTUR MENARA *LATTICE* UNTUK TURBIN ANGIN DARRIEUS TIPE-H DAYA KECIL

Jericho Christian Mongkol¹⁾, Stenly Tangkuman²⁾, Irvan Rondonuwu B.Eng, M.T³⁾

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sam
Ratulangi Jl. Kampus Unsrat Bahu, Manado
Email : igomongkol@gmail.com

ABSTRAK

Struktur menara lattice dirancang untuk mampu menahan beban yang terjadi yaitu gaya angin, dan gaya berat yang terjadi pada turbin angin darrieus tipe-H. Perhitungan struktur dapat dilakukan dengan mempertimbangkan semua gaya maksimum yang bekerja lalu menganalisisnya untuk setiap bagian atau komponen struktur. Menara yang dirancang dengan dimensi $t \times l \times p$ yaitu 2500 mm x 500 mm x 500 mm, batang besi siku 5, dimensi dari baja plat panjang 500 mm x lebar 500 mm x tebal 3 mm, dengan bahan yang digunakan baja karbon.

Tegangan von mises dari hasil simulasi sebesar 0,110526 MPa harus sama atau dibawah nilai tegangan izin dimana tegangan izin sebesar 83,3 MPa, hasil dari simulasi menunjukkan nilai tegangan memenuhi syarat perancangan. Spesifikasi besi siku sesuai dengan persyaratan dari baja karbon ASTM A36 dengan yeild strength (250 MPa). Perhitungan pengecekan tegangan von mises.

Kata Kunci: Menara, Tegangan, Bahan .

ABSTRACT

The structure of the lattice tower is designed to be able to withstand the loads that occur, namely the wind force, and the gravity that occurs in the H-type Darrieus wind turbine. Structural calculations can be carried out by considering all the maximum forces affecting and then analyzing them for each part or structural component. The tower is designed with dimensions $t \times l \times p$, namely 2500 mm x 500 mm x 500 mm, 5 angle iron rods, the dimensions of the steel plate are 500 mm long x 500 mm wide x 3 mm thick, with ASTM A36 carbon steel as the material.

The stress from the simulation outcomes must be equal to or below the allowable stress value where the allowable stress is 83.3 MPa, the von mises stress is 0.110526 MPa, and the results of the simulation show that the stress value fulfills the design requirements. Angle iron specifications yield with the requirements of ASTM A36 carbon steel with a yield strength (250 MPa). Calculation of checking the von mises stress.

Keywords: Tower, Stress, Materials.

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangkit listrik tenaga angin yang mudah dirakit dan berbiaya rendah dibutuhkan di daerah terpencil, menara jenis Lattice sebagai struktur pendukung pembangunan turbin angin mampu memenuhi kriteria tersebut, bisa dirakit dari batang-batang kecil, aman, ringan dan membutuhkan biaya yang murah.

Pembangunan menara yang berfungsi sebagai tiang penopang seluruh komponen sistem pembangkit listrik tenaga angin pada ketinggian tertentu. Selain memiliki pondasi yang kuat dan dibangun di atas tanah dengan kestabilan yang memadai, menara harus memiliki konstruksi yang cukup kuat untuk menerima beban yang ditopangnya.

Struktur menara juga dirancang untuk dapat menahan beban dari gaya angin dan gaya berat. Perhitungan struktur dapat dilakukan dengan mempertimbangkan semua gaya maksimum yang bekerja lalu dianalisa untuk setiap bagian atau komponen struktur.

Penelitian mengenai menara untuk penyangga turbin angin Darrieus dilakukan perancangan menara *lattice* dengan tinggi menara 2,5 m dan lebar menara $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$ pemodelan menara

menggunakan besi siku 5 pada Solidworks 2019 dan disimulasikan pada Ansys APDL (*Ansys Parametri Design language*), menara dirancang untuk turbin angin Darrieus tipe-H daya kecil.

1.2. Rumusan Masalah

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah bagaimana merancang struktur menara Lattice untuk turbin angin Darrieus tipe-H daya kecil.

1.3. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Struktur menara diterapkan untuk turbin angin Darrieus tipe-H;
2. Struktur menara yang diterapkan memiliki empat tiang;
3. Pemodelan struktur Menara turbin angin dilakukan dengan perangkat lunak Solidworks 2016 dan simulasi struktur menara turbin angin dilakukan dengan perangkat lunak Ansys APLD

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian adalah melakukan perancangan meliputi proses pemodelan dan simulasi struktur menara *lattice* untuk turbin angin Darrieus tipe-H daya kecil.

II. LANDASAN TEORI

2.1 Menara Lattice

Menara merupakan struktur yang berdiri vertikal yang digunakan untuk menahan beban dari rumah gear, bilah, dan beban akibat variasi terpaan angin. Dengan melihat beban yang diterima oleh menara, maka stuktur menara haruslah kuat.

Menara jenis *lattice* merupakan rangkaian dari besi siku yang dihubungkan dengan menggunakan baut dan mur disetiap ujungnya. berbentuk segi empat (*square*). Struktur menara ini merupakan tipe *Self Supporting Tower* (SST), yang memiliki struktur pola batang yang disusun dan dibaut sehingga membentuk rangka yang berdiri sendiri tanpa adanya sokongan lainnya.



Gambar 2.1 Menara Lattice Dengan Turbin Angin Darrieus Tipe-H

2.1 Bahan struktur Menara

Bagian dari struktur menara ada dua bagian. Pertama tempat dudukan *geabox* terbuat dari besi plat, struktur tiang tersebut terbuat dari besi siku dengan 4 tiang penyangga, dan tempat tumpuan berdirinya besi siku dari beton cor yang di tanam di tanah. Berikut adalah dari bahan-bahan yang digunakan:

2.2 Plat ASTM A-36

Besi Plat ASTM A-36 adalah material yang mempunyai *tensile* lebih besar dari material dengan spesifikasi standar ss400. Material ini lebih keras sehingga cocok digunakan dan dipadukan dengan material. Selain itu material dengan spesifikasi ASTM A-36 ini bisa juga digunakan sebagai bantalan atau dudukan dengan beban sesuai kapasitasnya.

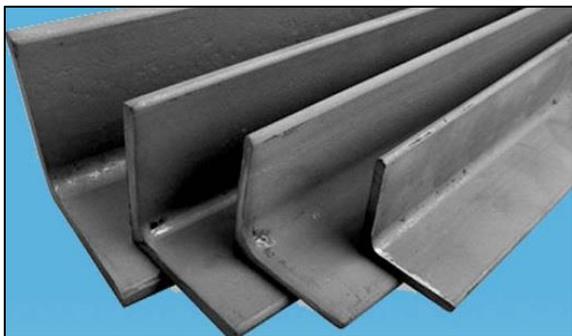


Gambar 2.2 Besi Plat ASTM 36 (Steel Adi Surva 2022)

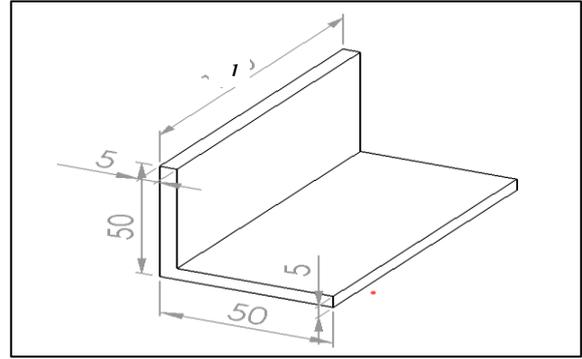
2.3 Besi Siku

Besi siku adalah batang besi berpenampang sudut membentuk 90 derajat atau siku-siku dan termasuk salah satu material penting dalam industri konstruksi. Sekarang ini, penggunaan besi siku semakin meningkat seiring berjalannya pembangunan.

Besi siku ditemukan di sekitar tempat tinggal. Mulai dari rumah tempat tinggal, bangunan komersial, kawasan industri, hingga *landscap* perkotaan akan selalu bersentuhan dengan benda satu ini.



Gambar 2.3 Besi Siku Sama Sisi



Gambar 2.4 Ukuran Besi Siku 5

Sesuai dengan namanya, besi siku yaitu besi yang dibentuk sehingga memiliki sudut siku 90 derajat. Permukaannya berbentuk seperti huruf L, mirip seperti segitiga siku-siku akan tetapi tidak menutup pada salah satu sisinya. Besi siku pada umumnya dibuat dengan panjang standar 6 meter.

Besi siku 5 memiliki bentuk seperti huruf L dengan dimensi, tinggi 50 mm, lebar 50 mm dan tebal 5 mm, dapat dilihat pada Gambar 2.4

Fungsi besi siku seperti yang bisa terlihat dari bentuknya, besi siku berfungsi untuk membuat menara air, rak besi, rangka pintu hingga kerangka tangga. Diketahui pula bahwa banyak alasan yang membuat besi siku mempunyai klasifikasi menjadi material dasar bangunan-bangunan. Banyak alasan yang melatar belakangi ini semua terlebih lagi karena kelebihanannya seperti kokoh,

kuat dan tahan lama.

Bentuknya sudah diperhitungkan dengan teliti oleh manufaktur yang membuatnya. Besi siku yang membentuk sudut 90 derajat memang sejak lama terbukti ilmiah mempunyai konstruksi yang kuat. Oleh sebab itu, tidak perlu ragu dan dipertanyakan lagi segi kualitas dan kekokohnya.

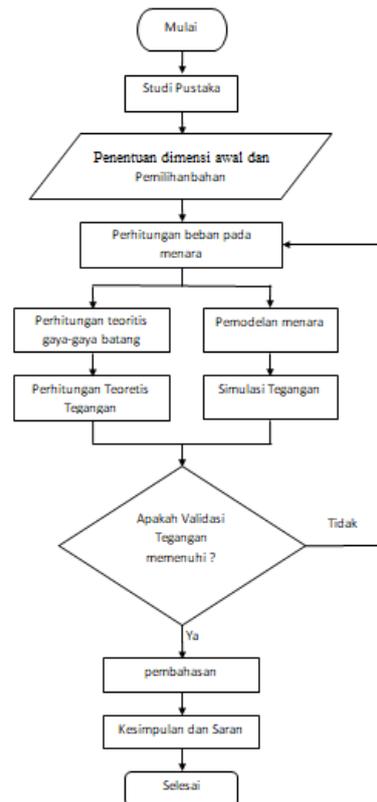
III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Perancangan dan pembuatan struktur turbin dilakukan di Laboratorium Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sam Ratulangi. Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap dari bulan januari 2022 sampai bulan juni 2022.

3.2 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian dilakukan seperti pada Gambar 3.1. Pada gambar terlihat bahwa penelitian dilakukan dalam beberapa langkah seperti berikut.



Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur

Pada Gambar diagram alir diatas menunjukkan prosedur penelitian mengenai perancangan menara *Lattice* yang dilakukan sebagai berikut;

1. Studi pustaka

Studi pustaka merupakan dasar dari proses perancangan. Tahap ini adalah tahap penjelajahan materi dan pencarian materi-materi pendukung. Materi yang dijelajahi adalah materi mengenai perancangan menara turbin angin dan perancangan elemen mesin juga.
2. Penentuan dimensi awal dan pemilihan bahan.

Menentukan dimensi menara berupa tinggi dan lebar menara berdasarkan tipe menara yang digunakan dan memilih bahan material yang akan digunakan.

3. Perhitungan beban pada struktur menara turbin.

Perhitungan semua gaya-gaya yang berkerja terhadap struktur menara meliputi gaya angin yang terjadi pada sudu dan gaya berat total dari sudu, *gearbox*, dan tempat dudukan sudu.

4. Pemodelan menara dan perhitungan gaya batang

Pemodelan dilakukan dengan aplikasi *silidworks* 2019. Selanjutnya menghitung gaya-gaya yang terjadi pada batang menara dan menempatkan gaya-gaya yang terjadi pada struktur menara untuk di simulasikan.

5. Simulasi tegangan.

Pengecekan tegangan yang terjadi pada struktur menara dengan simulasi *Von misses* menggunakan perangkat lunak ANSYS APDL. Setelah didapat pengecekan dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan perhitungan teoritis tegangan pada menara.

6. Pembahasan

Pada langkah ini akan dilakukan pembahasan terhadap hasil yang didapat dari perhitungan dan menara yang telah dibuat.

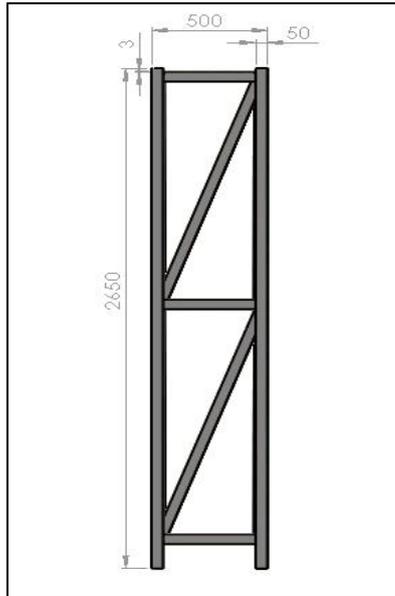
7. Kesimpulan dan saran.

Pada langkah ini akan dibuat kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah dilakukan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penentuan Dimensi Awal dan Pemilihan Bahan

Struktur menara yang dirancang setinggi 2,5 m dari permukaan tanah. Dilihat pada gambar 4.1 menunjukkan dimensi permodelan struktur menara dengan dimensi baja plat yaitu lebar 500 mm x 500 mm dengan tebal 3 mm, dimensi batang menara adalah besi siku dengan panjang 50 mm, lebar 50 mm, dan tinggi 5 mm. Bahan untuk menara adalah ASTM A-26 (lampiran 1).



Gambar 4.1 Dimensi Awal Struktur Menara *Lattice* pada Aplikasi *Solidworks*

4.2 Perhitungan Beban pada Menara

Beban pada menara terdiri dari dua gaya yaitu gaya angin yang terjadi pada luas permukaan sudu dan gaya berat pada komponen sudu dan *gearbox*. Untuk menghitung beban pada menara dilakukan sebagai berikut;

4.3 Perhitungan gaya angin pada sudu,

Gaya angin pada menara didapatkan dengan menghitung luas permukaan sudu dilihat pada Gambar 4.2, dengan menggunakan persamaan sebagai berikut;

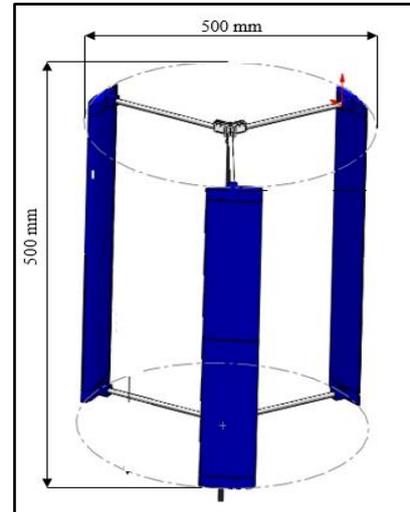
$$A_s = H \times D$$

Dimana;

A_s = Luas permukaan sudu

H = Tinggi sudu

D = Diameter sudu



Gambar 4.2 Luas Permukaan Sudu *Solidworks*

$$\begin{aligned} A(s) &= H \times D \\ &= 0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m} \\ &= 0,25 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Perhitungan gaya angin pada sudu.

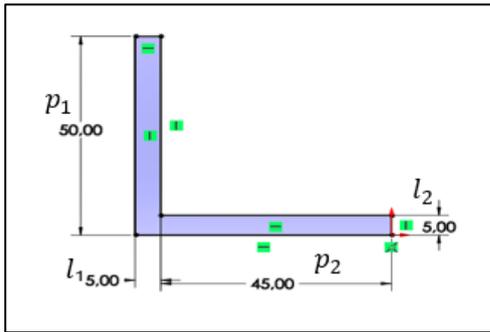
$$\begin{aligned} F_w &= \frac{1}{2} \rho A v^2 \\ F_w &= \frac{1}{2} (1,184 \text{ kg/m}^3) \times (0,25 \text{ m}^2) \times (6,25 \text{ m/s}^2)^2 = 6,2 \end{aligned}$$

N

4.4 Menghitung Luas Penampang` pada Menara

Luas penampang didapatkan dengan menghitung luas batang besi siku dilihat pada Gambar 4.3 dengan

persamaan sebagai berikut;



Gambar 4.3 Luas Penampang pada Menara

$$A = p \times l$$

Dimana;

P = Panjang

L = lebar

Dik : $p_1 = 50 \text{ mm}$ $l_1 = 5 \text{ mm}$

$p_2 = 45 \text{ mm}$ $l_2 = 5 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_{total} &= A_1 + A_2 \\ &= 250 \text{ mm}^2 + 225 \text{ mm}^2 \\ &= 475 \text{ mm}^2 = 475 \times 10^{-6} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

4.5 Gaya Berat dari Sudu dan Gearbox

Gaya berat sudu didapatkan dengan hasil perhitungan jumlah massa dari sudu, batang penghubung, dan besi plat. Massa masing-masing komponen dapat dilihat pada tabel berikut (tabel 4.1).

Table 4.1 hasil perhitungan

Nama	Massa (Kg)	Keterangan
Sudu	0,379	3 buah
batang penghubung	0,0075	6 buah
Dudukan sudu	5,5887	1 buah

Gaya berat *gearbox* didapatkan dengan hasil perhitungan jumlah massa dari *gear* penggerak, *gear* yang digerakan, poros penggerak, poros yang digerakan, dan bantalan. Massa masing-masing komponen dapat dilihat pada tabel berikut (tabel 4.2).

Table 4.2 hasil perhitungan massa gearbox.

Nama	Massa (Kg)
Gear 1	0,13
Gear 2	0,14
Poros 1	0,29
Poros 2	0,03
Bantalan	0,08

- Massa total gearbox.

$$\begin{aligned} m_{total} &= m_{gear1} \\ &+ m_{gear2} + m_{poros1} + m_{poros2} + m_{bantalan} \\ &= (0,13 \text{ kg} + 0,014 \text{ kg} + 0,296 \text{ kg} \\ &+ 0,035 \text{ kg} + 0,08 \text{ kg}) = 0,555 \text{ kg} \end{aligned}$$

- Gaya berat gearbox.

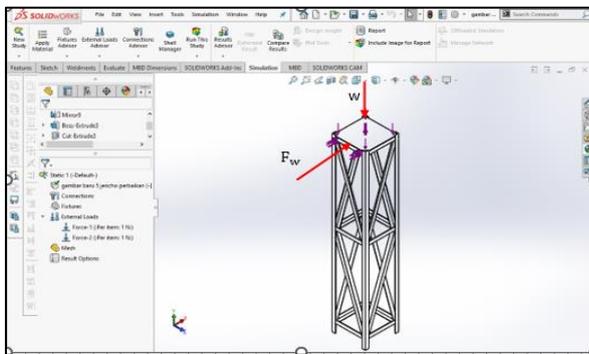
$$\begin{aligned} W_{gearbox} &= m_{total} \times g = (0,555 \text{ kg}) \times \\ &(9,81 \text{ m/s}^2) = 5,439 \text{ N} \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan gaya berat didapat gaya berat sudu 12,53673 N, gaya

berat plat 57,69 N dan gaya berat gearbox 5,439 N yang berkerja terhadap tiang struktur menara.

4.6 Pemodelan Menara

Gaya-gaya yang berkerja pada tiang struktur menara yang disimulasikan menggunakan perangkat lunak Solidworks 2016, dapat dilihat pada Gambar 4.4 menunjukan posisi gaya-gaya yang berkerja.



Gambar 4.4 Pemodelan Gaya yang Terjadi pada Aplikasi *solidworks* pada Struktur Turbin Angin

Simulasi tegangan *von misses* pada struktur turbin angin dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *Solidworks* 2019 dan *ANSYS APDL*.

Didapat tegangan *von misses* dengan keadaan kritis berwarna merah sebesar 0,110526 MPa, dan *displacement* yang ditunjukkan sebesar $1,13816 \times 10^{-6}$ m seperti pada Gambar 4.5



Gambar 4.5 Tegangan *Von misses* dan deformasi pada Menara

Dalam kriteria perancangan, sebuah alat yang dirancang haruslah memenuhi syarat yang telah ditentukan yaitu tegangan yang terjadi harus lebih kecil atau sama dengan tegangan izin.

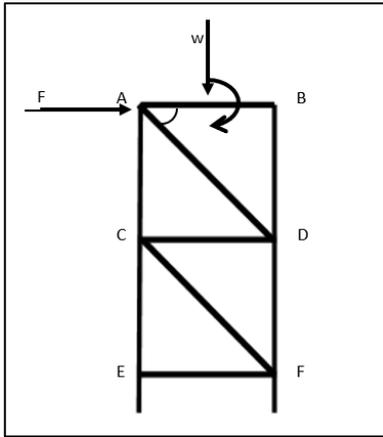
Dari hasil simulasi didapatkan nilai tegangan lebih kecil dari tegangan izin serta melalui hasil simulasi diperoleh tegangan *von misses* sebesar 0,110526 MPa, dan *displacement* yang terjadi pada struktur menara sebesar $1,13876 \times 10^{-6}$ m.

Spesifikasi besi siku sesuai dengan persyaratan dari baja karbon ASTM A36 dengan *yeild strength* sebesar 250 MPa. Perhitungan pengecekan tegangan *von misses*.

$$\sigma_{VM} \leq \frac{\sigma_{yi}}{N}$$

$$0,110526 \text{ MPa} \leq \frac{250 \text{ MPa}}{3}$$

$$\Leftrightarrow 0,110526 \text{ MPa} \leq 83,3 \text{ MPa}$$



Gambar 4.6 Sketsa Menara untuk Perhitungan Gaya

Tabel 4.3 Hasil perhitungan gaya-gaya yang terjadi pada batang menara 2019

No.	Gaya batang struktur	Gaya yang terjadi (N)	Tegangan hasil teoritis (Mpa)	Tegangan hasil simulasi (Mpa)	Keterangan
1	A ke B	6,2	0,013052	0,012281	tekan
2	A ke C	-52,5	-0,110526	0,049123	tarik
3	A ke D	-16,7	-0,035157	0,036842	tarik
4	B ke D	37	0,077894	0,085965	tarik
5	C ke D	-6,2	-0,013052	0,012281	tarik
6	C ke F	-16,7	-0,035157	0,036842	tarik
7	C ke E	37	0,077894	0,024561	tekan
8	D ke F	52,5	0,110526	0,110526	tekan

$$\sigma_y = \frac{F_{max}}{A}$$

$$\sigma_y = \frac{52,5 \text{ N}}{475 \text{ mm}^2} = 0,110526 \text{ Mpa}$$

4.8 Validasi Tegangan

Untuk membuktikan apakah hasil simulasi tegangan von-miseses valid maka akan dibuktikan dengan membandingkan hasil perhitungan tegangan dan hasil simulasi tegangan, pada tabel (4.4)

Tabel 4.4 hasil validasi tegana teoritis dengan simulasi

No	Batang	Validasi %
1	AB	0,06%
2	AC	1,40%
3	AD	2,00%
4	BD	2,10%
5	CD	1,90%
6	CF	2,00%
7	CE	0,60%
8	DF	0,00%

Presentase perbedaan dari kedua hasil analisis tegangan tidak melebihi 5%. Maka hasil simulasi tegangan von-miseses dapat diterima.

4.9 Pembahasan

Ditentukan dimensi untuk pemodelan menara *Lattice* adalah tinggi 2,5 m, dan lebar 0,5 m x 0,5 m, dengan dimensi batang besi siku adalah Panjang 50 mm, lebar 50 mm, dan tinggi 5 mm. Dimensi besi plat tempat dudukan sudu dan *gearbox* adalah panjang 500 mm, lebar 500 mm, dan tebal 3 mm.

Beban yang terjadi pada menara *Lattice* adalah beban akibat gaya angin dan beban akibat gaya berat, dimana gaya angin yang terjadi sebesar 6,25 m/s dan gaya berat yang terjadi sebesar 74,01 N hasil dari perhitungan total gaya berat sudu dan *gearbox*. Simulasi model menara

Didapatkan hasil tegangan *Vonmises* sebesar 0,110526 MPa dengan deformasi yang terjadi sebesar $1,13786 \times 10^{-6}$ m.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Kesimpulan

Struktur menara untuk turbin angin Darrieus tipe-H sudah berhasil dirancang. Struktur menara dibuat dengan menggunakan bahan besi siku 5, yang mana tinggi menara sebesar 2,5 m dan lebar $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$.

hasil simulasi tegangan *von-mises* valid maka akan dibuktikan dengan membandingkan hasil perhitungan tegangan dan hasil simulasi tegangan, pada tabel (4.2)

5.2 Saran

- 1) Perancangan struktur menara dapat menggunakan besi siku dengan dimensi lebih kecil.
- 2) Pemodelan struktur menara menggunakan bentuk yang berbeda

Daftar Pustaka

Buyung Kosasih, Andrea Tondelli (2012). *Experimental study of shrouded micro- wind turbine*. Universty of wollongong

Castilo, J. *small-scale vertical axix wind*

turbine design. Bachelor'sthesis degree program in aeronautical engineering tampere university of applied sciences Finland.

Hameed, M. S. dan Shahid, F. 2012. *Evaluation of Aerodynamic Forces Over A Vertical Axis Wind Turbine Bucket Through CFD Analysis. AppliedMechanical Engineering Open Access Journal Vol. 1, Issue 5, 1000116.*

Hau, E. 2013. *Wind turbine fundamentals, technologies, Application, economics Third translate edition*. Berlin: Spirbger

Junior Woe. 2021 Perancangan rotor turbin angin savonius tipe L untuk pembangkit listrik pada rumah tinggal. Skripsi Program Studi Teknik Mesin UNSRAT Manado 2021.