

BAB III

METODOLOGI

3.1 Metode

Metode yang digunakan dalam melaksanakan Tugas Akhir ini adalah metode eksperimen murni (*pure experiment*). Konsep turbin yang diuji melalui pengujian lapangan akan mendapatkan data dimana data yang didapat tersebut akan dibandingkan dengan tolak ukur keberhasilan suatu konverter turbin angin yaitu memiliki *Coefficient of Power* ($C_p = 0,3 - 0,4$).

Dalam pelaksanaan Tugas Akhir ini upaya-upaya yang dilakukan untuk mendapatkan nilai C_p sesuai yang dikehendaki, dilakukan dengan cara :

1. *Balancing rotor blade*

Untuk proses *balancing* pada rotor blade ini, yang pertama dilakukan adalah proses penyetaraan berat. Penyetaraan berat dilakukan agar blade pertama dengan blade lainnya tidak berbeda. Selanjutnya adalah penyamaan titik berat blade. Penyamaan titik berat dilakukan dengan cara menentukan letak titik keseimbangan pada blade tersebut atau mencari *center of gravity* pada *blade* tersebut, setelah mengetahui titik keseimbangan semua blade, ketiga *blade* tersebut disambungkan dengan *hub* yang akan ditimbang semua berat *blade* dengan menggunakan timbangan gantung.

2. Desain rotor blade

Setiap desain rotor mempunyai kelebihan dan kekurangan. Kelebihan turbin jenis ini, yaitu memiliki efisiensi yang tinggi, dan *cut-in wind speed* rendah. Kekurangannya, yaitu turbin jenis ini memiliki desain yang lebih rumit karena rotor hanya dapat menangkap angin dari satu arah sehingga dibutuhkan pengarah angin selain itu penempatan dinamo atau generator berada di atas tower sehingga menambah beban tower.

3. Peningkatan efisiensi mekanis

Efisiensi turbin angin ini memiliki nilai yang tinggi, karena blade selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin, menerima daya sepanjang putaran.

4. Menggunakan generator magnet permanen

Perkembangan terakhir dari teknologi sistem turbin angin yang ada saat ini sudah banyak menggunakan komponen generator putaran rendah permanen magnet untuk menghindari penggunaan roda gigi. Penggunaan roda gigi (*gearbox*) dinilai merugikan karena menimbulkan rugi-rugi daya tambahan pada PLTB dan memerlukan perawatan, pelumasan secara berkala. Selain itu, nilai lebih dari sistem ini terletak pada kemampuannya mengkonversikan energi listrik secara optimal pada rentang kecepatan angin berapapun.

3.2 Alat dan Bahan yang digunakan dalam pembuatan

3.2.1 Bahan

Bahan yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi :

- a. Material komposit untuk pembuatan blade

Menggunakan woven roving untuk kekuatan struktur blade dan menggunakan mat 425 untuk layernya. Bahan matrik dipilih dari resin tipe BQTN dengan katalis dan leoning sebagai campuran untuk membuat matrik padat.

- b. Kayu sebagai bahan inti

Untuk membuat cetakan diperlukan inti dengan skala 1 : 1 terhadap ukuran nyata blade. Inti dibuat dari kayu dengan dimensi nyata dari blade yang telah di disain sesuai dengan airfoil NACA 4415.

- c. Tower

Tower setinggi 3 meter dibuat dari bahan pipa hollow dengan diameter 20 mm.

- d. Generator magnet permanen

Merk : Panasonic

Daya : 1000 watt

3.2.2 Alat

Alat yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi berbagai alat yang dibutuhkan dalam pengambilan data yaitu :

1. Tachometer

Tachometer digunakan untuk mengukur putaran rotor blade khususnya jumlah putaran yang dilakukan oleh sebuah rotor blade. Tachometer yang digunakan adalah tipe tachometer laser yang bekerja dengan sensor cahaya di mana berkas cahaya dipantulkan kembali untuk mengukur putaran rotor.



Gambar 3.1 Alat Pengukur Tachometer

2. Inverter

Bagian ini berfungsi mengubah tegangan listrik DC 12V dari aki menjadi tegangan listrik AC 220V / 110V untuk peralatan rumah tangga yang bekerja pada tegangan 220V / 110V.



Gambar 3.2 Inverter

2. Clamp Meter (Tang Ampere)

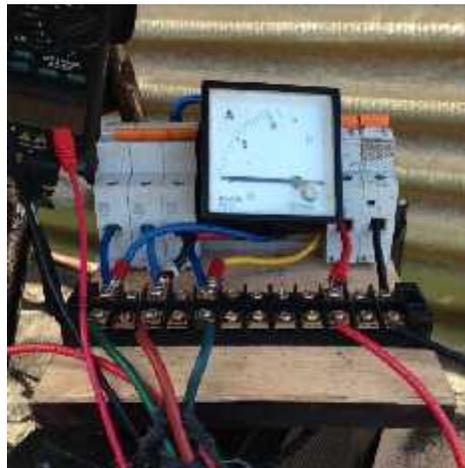
Berfungsi untuk mengukur kuat arus (I) dan tegangan (V) yang dihasilkan oleh generator.



Gambar 3.3 Clamp Meter (Tang Ampere)

3. Ampere Meter

Amperemeter digunakan untuk mengukur kuat arus listrik.



Gambar 3.4 Ampere Meter

4. Anemometer

Anemometer digunakan untuk mengukur kecepatan angin.



Gambar 3.5 Alat Pengukur Anemometer

5.Bohlam Lampu 100 watt

Bohlam lampu pada sistem turbin angin ini digunakan sebagai beban system turbin angin.



Gambar 3.6 Bohlam Lampu dan Saklar

6. Aki (baterai)

Digunakan untuk menyimpan daya yang dihasilkan oleh system turbin angin.

Accu yang digunakan adalah accu 12v.



Gambar 3.7 Aki (Baterai)

7. Kabel

Digunakan untuk mentransmisikan daya dari generator ke sistem control turbin angin. Kabeal yang digunakan harus bertembaga bagus agar penyaluran arus ke system maksimal.



Gambar 3.8 Kabel

8. MCB (*Miniature Circuit Breaker*)

MCB berfungsi sebagai pengaman beban lebih atau pada saat angin terlalu kencang melebihi batas kecepatan angin pada turbin angin.



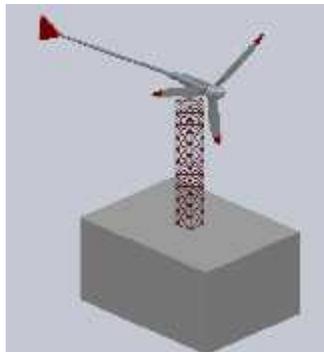
Gambar 3.9 MCB (*Miniature Circuit Breaker*)

3.3 Langkah Pembuatan Turbin Angin

Langkah penelitian ini dilakukan dua tahap yaitu pembuatan turbin angin dan pengambilan data yang dilaksanakan pada saat turbin angin sedang beroperasi.

3.3.1 Desain Turbin Angin

Turbin angin yang dibuat dalam penelitian ini ditunjukkan sesuai dalam gambar berikut :



Gambar 3.10 Skema Turbin Angin

Pada gambar di atas ditunjukkan skema turbin angin yang akan dibuat. Kecepatan angin yang diterima rotor blade akan dikonversi menjadi energi mekanis berupa putaran pada poros rotor. Putaran ini ditransmisikan melalui roda gigi dan pulley menuju generator dengan dikopel langsung dengan poros rotor sehingga generator akan mengeluarkan energi listrik yang dapat terbaca arus dan tegangannya melalui instrumentasi yang dipasang pada panel monitor.

Turbin angin akan dipancang pada wilayah pantai Pandansimo Kabupaten Bantul. Pondasi dari blok beton dengan berat 200 kg akan disiapkan sebelumnya. Selanjutnya tower setinggi lima meter dipasang pada balok beton tersebut. Meja turbin angin diletakkan pada bagian ujung tower.

3.3.2 Pembuatan *Blade* Turbin Angin

sebelum membuat blade kita membuat desain blade yang akan dibuat yaitu dengan menggunakan airfoil NACA 4415 dengan desain diameter blade adalah 2,28m

3.3.2.1 Langkah Pembuatan Inti *Blade* :

1. Pemotongan desain Air foil.



Gambar 3.11 Penggabungan *Cort – Cort* Desain *Airfoil*

2. Penyusunan desain Air foil.



Gambar 3.12 Penyusunan *Airfoil*

3. Pelapisan air foil menjadi inti *blade*.



Gambar 3.13 Proses Pendempulan Pada Inti Cetakan

4. Pengamplasan Inti *Blade*



Gambar 3.14 Pengamplasan Inti Cetakan

3.3.3 Pembuatan Cetakan *Blade*

3.3.3.1 Langkah – Langkah pembuatan cetakan *blade* :

1. Pembuatan Adonan Semen.



Gambar 3.15 Proses Pembuatan Cetakan Awal dengan Pasir dan Semen

2. Pembuatan Cetakan Bagian Bawah.



Gambar 3.16 Cetakan Bagian Bawah

3. Pembuatan Cetakan Bagian Atas.



Gambar 3.17 Cetakan Bagian Atas

4. Pembongkaran dan Pengeboran Cetakan Cetakan Bagian Atas dengan Bawah.



Gambar 3.18 Pembongkaran Bagian Atas dan Bawah

3.3.4 Pembuatan Rotor *Blade*

3.3.4.1 Langkah – Langkah Dalam Pembuatan Rotor *Blade* :

1. Pelapisan Gel Coat pada cetakan.
2. Pelapisan serat cetakan atas.
3. Pelapisan Serat cetakan Bawah.
4. Penyatuan Cetakan Atas Dan Bawah.
5. Penjemuran Cetakan.
6. Pembongkaran Cetakan.

3.3.5 Proses Balancing

3.3.5.1 Langkah – Langkah Proses Balancing :

1. Pengisian Pangkal *Blade*.
2. Proses Penyetaraan Berat
3. Penyamaan Titik Berat *Blade*.
4. Penghalusan *Blade*.

3.3.6 Proses Mekanis Pada Turbin Angin

3.3.6.1 Proses Pembuatan Rumah Generator

Dalam proses pembuaan rumah generator terdiri dari beberapa tahapan yaitu :

1. Pembuatan desain rumah generator dengan menggunakan aplikasi desain dengan menyesuaikan generator yang sudah tersedia.



Gambar 3.19 Desain Rumah Generator

2. Pengukuran dan pemotongan bahan yang akan digunakan.
3. Membuat diameter dan panjang sesuai ukuran yang sebelumnya telah di desain menggunakan mesin bubut.
4. Pembuatan lubang pada besi pipa dan besi pejal panjang sesuai ukuran yang sebelumnya dan di gabung dengan menggunakan pengelasan.
5. Perakitan komponen – komponen rumah generator yang sudah dibuat.

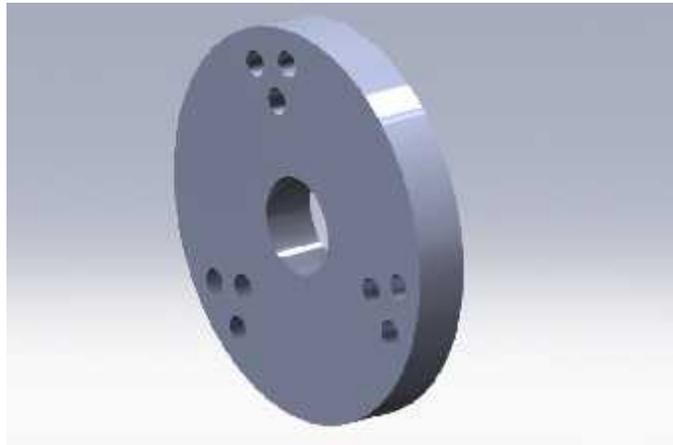


Gambar 3.20 Rakitan Komponen Rumah Generator

3.3.6.2 Proses Pembuatan Hub

Dalam proses pembuaan hub terdiri dari beberapa tahapan yaitu :

1. Pembuatan desain hub dengan menggunakan aplikasi desain.



Gambar 3.21 Desain Hub

2. Pengukuran dan pemotongan bahan yang akan digunakan.
3. Membuat diameter dan panjang sesuai ukuran yang sebelumnya telah di desain dengan menggunakan proses machining yaitu dengan menggunakan mesin bubut.
4. Pembuatan lubang pada besi pipa dan besi pejal panjang sesuai ukuran yang sebelumnya telah di desain menggunakan mesin bor.



Gambar 3.22 Rakitan Komponen Hub

3.3.6.3 Proses Pembuatan Ekor

Dalam proses pembuatan ekor terdiri dari beberapa tahapan yaitu :

1. Pembuatan desain ekor dengan menggunakan aplikasi desain.
2. Pengukuran dan pemotongan bahan yang akan digunakan.
3. Desain yang sudah dibuat menggunakan aplikasi desain kemudian dicetak dan disesuaikan dengan besi plat yang sudah dipotong kemudian dipotong sesuai pola menggunakan gergaji potong.
4. Daun ekor yang sudah dipotong sesuai pola kemudian dihaluskan menggunakan gerinda.
5. Pembuatan lubang pada ekor dan daun ekor menggunakan mesin bor.
6. Perakitan ekor dengan tiang ekor menggunakan mur baut dan pemasangan daun ekor pada ekor.



Gambar 3.23 Rakitan Komponen Ekor

3.3.7 Pengambilan Data

Pengambilan data dilakukan di Pantai Baru Bantul Kabupaten Bantul Provinsi Yogyakarta pada jam 06.00 sampai jam 09.30 keesok harinya. Untuk mendapatkan kecepatan angin yang maksimal alat ditempatkan tepat dipinggir pantai menghadap kearah laut. Alat yang dipasang dipastikan berdiri tegak, tidak goyang dan tidak terhalang oleh pohon dan bangunan. Pada saat pengambilan data cuaca harus dalam keadaan cerah dan tidak mendung. Karena cuaca disekitar dapat mempengaruhi kecepatan angin di sekitar pantai.

Pengambilan data dilakukan terhadap item-item yang disebutkan sebagai berikut :

- a. Kecepatan Angin
- b. Putaran poros *rotor*
- c. *Voltase output generator*
- d. *Arus output generator*

Keempat item diatas diambil datanya secara bersamaan dengan berulang-ulang serta pada berbagai variasi kecepatan angin, mulai dari, 2,67 m/s hingga kecepatan angin tertinggi yang muncul pada saat itu dimana pada saat tanggal tersebut bisa mencapai kecepatan 8,85 m/s sebanyak 6 kali.

Pengambilan data ini dilakukan oleh 6 orang yang dibagi menjadi 2 team yang terdiri dari 3 orang dalam 1 team. Setiap orang memiliki tugas masing-masing, yaitu satu orang bertugas memantau apakah turbin angin bekerja dengan baik atau tidak dan mengambil data kecepatan angin menggunakan tachometer dengan cara berdiri

ditiang penyangga turbin angin tersebut, satu orang mengamati dan mengambil data yang lainnya setiap 10 menit sekali dengan menggunakan alat yang sudah tersedia yaitu alat digital sehingga data yang didapat bisa diambil secara bersamaan, dan yang terakhir mencatat data yang didapat setiap 10 menit sekali.

Prosedur pengambilan data yang dilakukan adalah sebagai berikut :

- a. Pastikan turbin angin terpasang dan berdiri tegak, tidak goyang dan tidak terhalang pohon dan bangunan.
- b. Turbin Angin menghadap kelaut karena angin berhembus dari laut ke darat.
- c. Pastikan alat pengambilan data terpasang dan bekerja dengan fungsinya.

Pada pukul 06.00 dilakukan record data dengan interval 10 menit sampai pukul 09.30 keesokan harinya. Setelah proses record telah selesai didapatkan data yang dicari dengan menggunakan alat-alat yang tersedia untuk mendapatkan data tersebut. Tabel hasil pengujian terlampir pada halaman lampiran.

3.4 Tugas Khusus : Pemancangan Turbin Angin

Dalam Pemancangan Turbin Angin ini terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan sebagai berikut :

1. Membuat Menara
2. Membuat Pondasi
3. Pemancangan

3.4.1 Membuat Menara

Dalam pembuatan menara perlu diperhatikan beberapa hal agar menara yang digunakan untuk menopang turbin angin dapat bekerja dengan baik dan berkualitas yaitu :

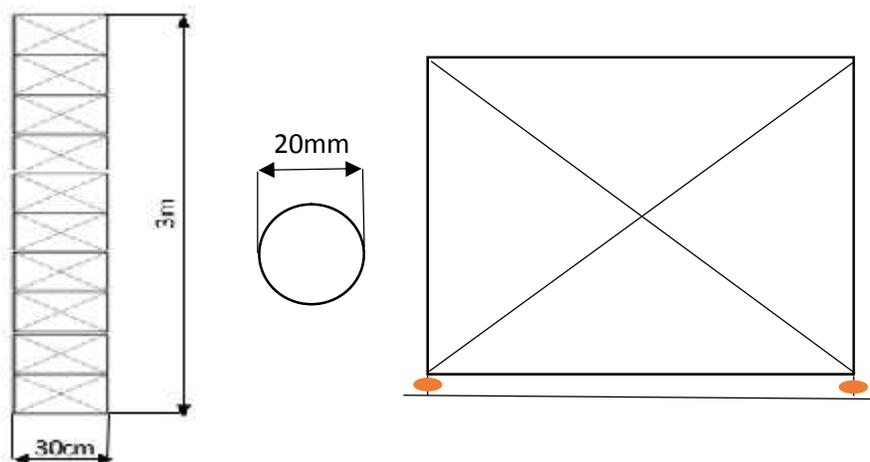
1. Bahan
2. Analisa Kekuatan

3.4.1.1 Bahan

Dalam hal ini pembuatan menara ini menggunakan besi baja ST 60 agar menara lebih kuat. Dan proses pengerjaannya menggunakan pengelasan. Sementara itu desain dari tiap segmen akan di jelaskan pada gambar

a. Profil Menara

Profil menara sendiri berbentuk persegi yang disusun oleh baja silinder pejal dengan diameter 16mm dan panjang sisi tiap profil yaitu 20 cm



Gambar 3.24 Profil Baja

3.4.1.2 Menghitung Gaya Horizontal Akibat Kecepatan Angin (kg)

Menurut skala beaufort, dimana dengan kecepatan 18 m/s dapat merobohkan pohon-pohon atau rumah rumah pinggir pantai, maka dari itu kita ambil angka aman untuk kecepatan angin yaitu 18 m/s agar turbin angin tetap berdiri.

Untuk menghitung energi maksimal angin yaitu dengan rumus sebagai berikut

$$: P = C \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$$

dimana :

P = Daya angin (kg.m/s)

= Usaha / waktu, usaha = F x S

= F x S / *second*

= F x m / *second*

Daya = gaya (kg) . jarak (m)/ waktu (s)

C =Faktor konversi

$$= \frac{\text{detik}^2}{m} = \frac{PK \left(\frac{kgm}{s}\right)}{PK (\text{watt})} = \frac{75 \text{ kgm/s}}{736 \text{ kgm}^2/\text{s}^3} = 0,101 \frac{1}{736 \text{ m/s}^2} = 0,101 \text{ s}^2/\text{m}$$

= kerapatan udara (kg/m³)

A : Luas penampang blade (m²)

v : kecepatan angin (m/s)

Kecepatan angin 18 m/s

Diketahui : $d = 2.28 \text{ m}$

$$\rho = 1,125 \text{ kg/m}^3$$

$$C = 0,101 \text{ det}^2/\text{m}$$

Jawab :

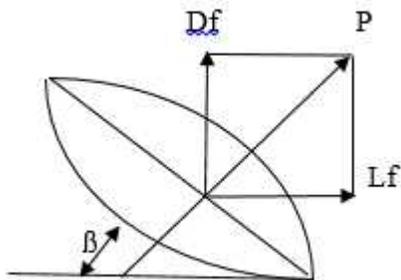
$$P = C \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot v^3$$

$$P = 0,101 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,125 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot 18^3$$

$$P = 0,101 \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,125 \cdot 3,14 \cdot 1,14^2 \cdot 18^3$$

$$P = 1360,24 \text{ kg}$$

3.4.1.3 Menghitung Gaya Drag Force



Gambar 3.25 Skema Drag force dan Lift Force

Diketahui :

$$P_{df} = 1360,24 \text{ kg}$$

$$\beta = 15^\circ$$

Jawab :

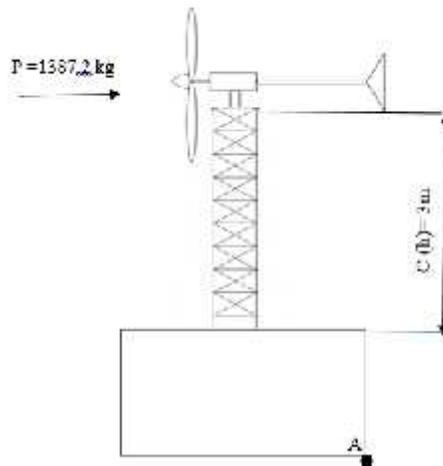
$$P_{df} = P \times \sin \beta$$

$$P_{df} = 1360,24 \times \sin 15^\circ$$

$$= 1387,2 \text{ kg}$$

3.4.1.4 Analisa Kekuatan Menara

Analisa kekuatan perlu dilihat dan dianalisa dalam hal ini analisa yang digunakan menggunakan analisa teoritis dan pendekatan dengan mensimulasikan design menggunakan software solidwork agar mengetahui tingkat keamanan dari tiang ini.



Gambar 3.26 momen menara

a. Analisa Teoritis

Diketahui : $P = 1387,2 \text{ kg}$

$$c = 3 \text{ m} = 3000 \text{ mm}$$

$$r \text{ besi} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{massa menara (m)} = 70 \text{ kg}$$

Jawab :

$$1. \quad M \text{ maks} = P \times c, \quad P = \text{Daya angin}$$

$$c = \text{tinggi menara}$$

$$M \text{ maks} = 1387,2 \text{ kg} \times 3000\text{mm}$$

$$M \text{ maks} = 4161600 \text{ kgmm}$$

$$2. \quad b = \frac{M \text{ maks}}{Wb}$$

$$Wb = I \text{ tiang}$$

$$= \frac{\pi}{64} \cdot d^4$$

$$Wb = \frac{3,14}{64} \cdot 20^4 \times 4 \text{ (jumlah tiang penyusun utama)}$$

$$Wb = 31400 \text{ mm}^2$$

$$b = \frac{M \text{ maks}}{Wb}$$

$$= \frac{4161600\text{mm}}{31400 \text{ mm}^2}$$

$$= 132,53 \text{ kgmm}$$

$$3. \quad \text{ijin} = 4 \times 60 \text{ kg/mm}$$

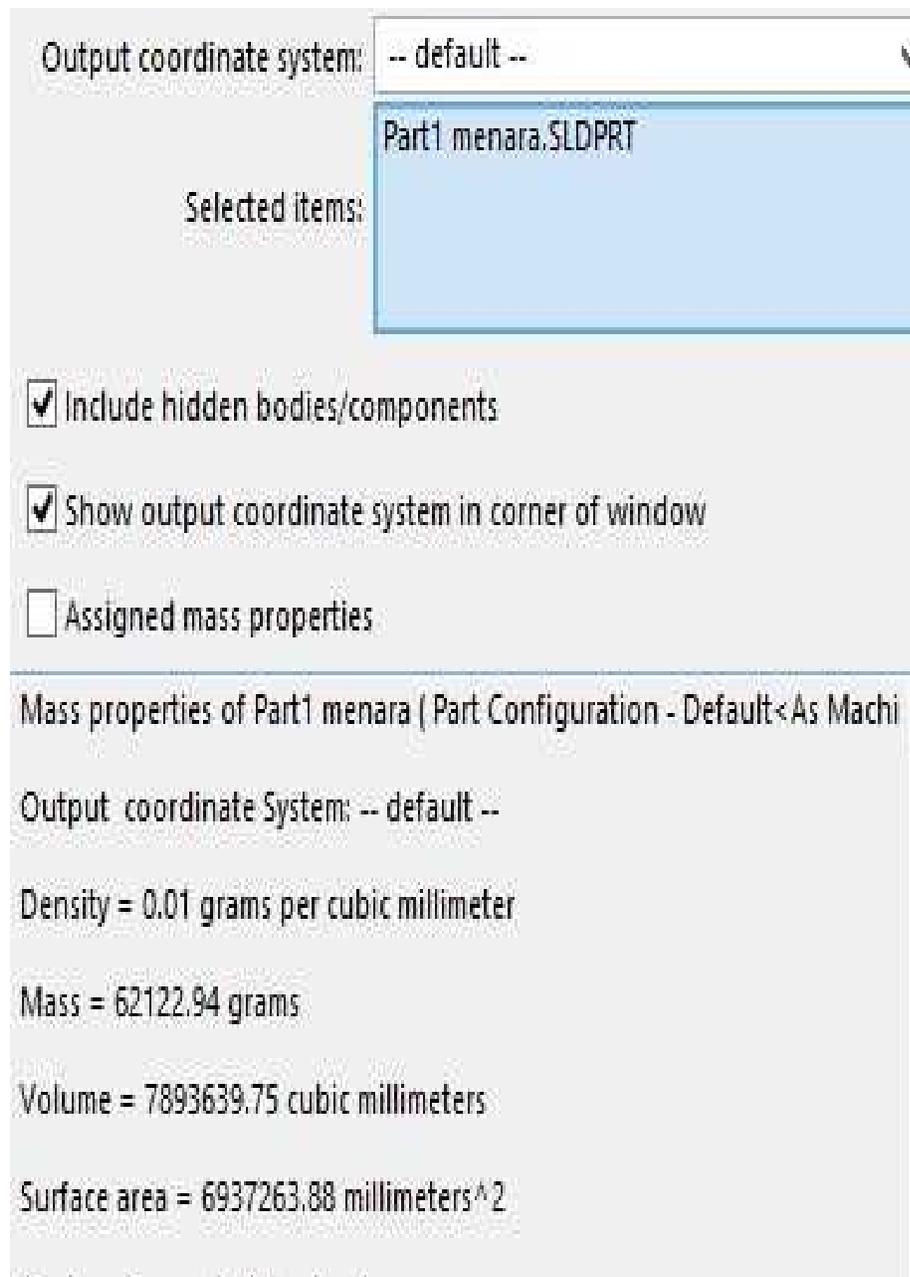
$$= 240 \text{ kg/mm}$$

Untuk menentukan aman tidaknya konstruksi yaitu dengan $b < \text{ijin}$,

jadi $132,53 \text{ kgmm} < 240 \text{ kg/mm}$ maka konstruksi aman.

b. Analisa *Software*

Analisa *software* yang kita gunakan adalah menggunakan *software solidwork* dan dalam mendesain tiang ini kita dapatkan beberapa data simulasi dari tiang sebagai berikut :



Gambar 3.27 data desain menara

Tiang ini menggunakan bahan AISI 1010 dengan spesifikasi sebagai berikut :

Gambar 3.28
Data kekuatan
bahan material

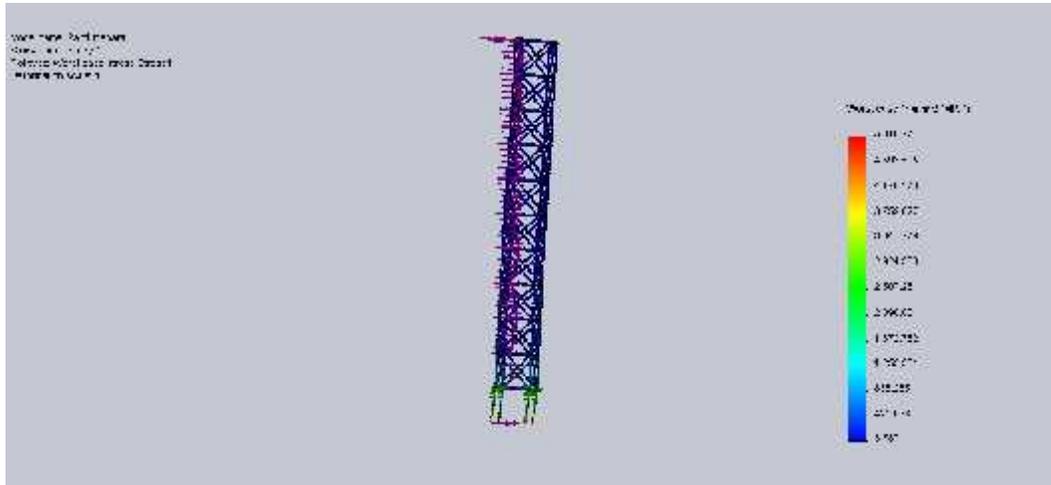
The screenshot shows a software interface for defining material properties. On the left, a list of materials is visible, with "Steel, hot rolled bar" selected. The central panel contains the following fields:

- Model Type: Linear Elastic Isotropic
- Units: SI, N/m² (Pa)
- Category: Steel
- Name: AISI 1010 Steel, hot rolled bar
- Default Failure criterion: Maximum Mises Stress
- Description:
- Source:

On the right, a table lists the material's properties:

Property	Value	Units
Elastic Modulus	2e+011	N/m ²
Poissons Ratio	0.29	N/A
Shear Modulus	8e+010	N/m ²
Density	7070	kg/m ³
Tensile Strength	325000000	N/m ²
Compressive Strength in X		N/m ²
Yield Strength	180000000	N/m ²
Thermal Expansion Coefficient	1.22e-005	/K
Thermal Conductivity	51.9	W/(m·K)
Specific Heat	448	J/(kg·K)
Material Damping Ratio	N/A	N/A

Berikut ini adalah hasil dari analisa tegangan bengkok dan displacement dengan menggunakan software SolidWork



Gambar 3.29 Hasil analisa dari tegangan bengkok

Dari hasil analisa menggunakan software solidwork didapatkan kesimpulan yaitu desain masih aman dari kedua simulasi tersebut, dikarenakan masih dalam toleransi yang ditunjukkan dengan warna hijau yang masih dalam zona elastis sehingga masih aman

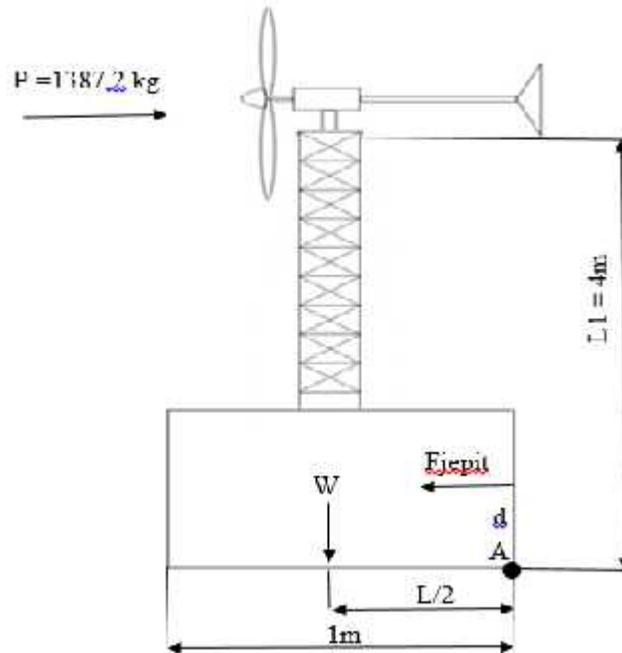
3.4.2 Membuat Pondasi

Untuk membuat pondasi kita perlu menghitung beberapa hal sebagai berikut:

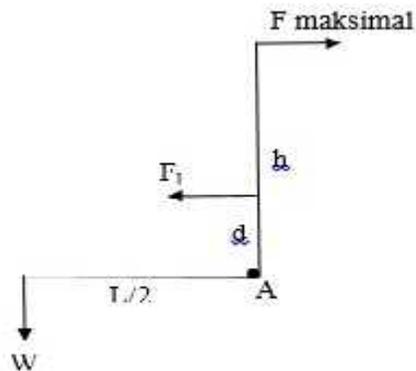
1. Gaya *Horizontal* Akibat Kecepatan Angin
2. Pemeriksaan Gaya Guling
3. Pemeriksaan Daya Dukung Tanah
4. Pengecoran Pondasi

3.4.2.1 Pemeriksaan Gaya Guling

Pemeriksaan gaya guling ini bertujuan untuk mengetahui apakah turbin angin akan roboh atau tidak. Untuk menghitung pemeriksaan gaya guling yaitu sebagai berikut :



Gambar 3.30 Skema Momen Turbin Angin



Gambar 3.31 Momen titik A

Diketahui : P (Fmaks) = 1387,2 kg

$$h \text{ (tinggi)} = 4\text{m}$$

$$d = 1\text{m}$$

$$L = 1\text{m} = 100\text{cm}$$

Daya dukung tanah = 3 kg/cm² (untuk pasir 2-4)

Daya jepit tanah = 0.105 (0,1-0,11) daya dukung tanah

W peralatan = 100 kg

Berat jenis beton = 2200 kg/m³

Jawab :

a. Mencari Daya jepit total

Daya jepit total = Daya jepit x daya dukung x Luas pondasi x 4

$$\begin{aligned} \text{Daya jepit total} &= 0,105 \times 3\text{kg} \times 10000 \times 4 \\ &= 12600 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

b. Mencari MA = 0

$$MA = 0$$

$$F_{\text{maks}} \times h - F_{\text{jepit}} \times d - W_{\text{tot}} \times L/2 = 0$$

$$W_{\text{tot}} = 2 (F_{\text{maks}} h - F_{\text{jepit}} \times d)$$

$$W_{\text{tot}} = 2 (1378,2 \times 4 - 12600 \times 0,5)$$

$$= 2 (7451 - 6300)$$

$$= 2302 \text{ kg}$$

c. Mencari W pondasi

W pondasi = W total – W peralatan

$$W \text{ pondasi} = 2302 \text{ kg} - 100 \text{ kg}$$

$$W_{\text{pondasi}} = 2202 \text{ kg}$$

d. Mencari Volume Pondasi

$$V = \frac{W_{\text{pondasi}}}{B_{\text{jenis}}}$$

$$V = \frac{2202 \text{ kg}}{2200 \text{ kg/m}^3}$$

$$V = 1,0009 \text{ m}^3 \sim 1 \text{ m}^3$$

3.4.2.2 Pemeriksaan Daya Dukung Tanah

Pemeriksaan daya dukung tanah ini bertujuan supaya pondasi tidak tenggelam, pemeriksaan daya dukung tanah dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

Diketahui : Daya dukung tanah = 3 kg/cm^2 (untuk pasir 2-4)

$$L_{\text{pondasi}} = 1 \text{ m} = 100 \text{ cm}$$

$$W_{\text{total}} = 2302 \text{ kg}$$

Jawab :

Daya Dukung Tanah Total = Luas pondasi penampang bawah x Daya dukung tanah

$$\text{Daya Dukung Tanah Total} = 10000 \text{ cm}^2 \times 3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Daya Dukung Tanah Total} = 30000 \text{ kg}$$

Syarat agar pondasi tidak tenggelam adalah daya dukung tanah total $>$ W_{total} dari

hasil perhitungan didapat daya dukung tanah total = $30000 > W_{\text{total}} = 2300 \text{ kg}$

Maka konstruksi **aman**.

3.4.2.3 Pengecoran Pondasi Turbin Angin

Setelah dihitung semua estimasi/perkiraan pondasi diatas menghasilkan nilai aman semua maka dilanjutkan dengan prosedur pembuatan pondasi yang akan dijelaskan sebagai berikut :

- a. Alat : - Sekop
 - Cangkul
 - Ember
 - Gergaji
 - Palu
 - Alat Ukur
- b. Bahan : - Semen
 - Air
 - Batu Kerikil
 - Kayu
 - Pasir
 - Paku

c. Proses Pembuatan Cetakan

Pada proses ini pertama yaitu membuat cetakan dari kayu dengan dimensi 1m x 1m x 1m. Setelah cetakan jadi kemudian dilanjutkan membuat adonan beton dengan komposisi 4 karung pasir, 1 karung semen , 1 karung

kerikil / krosok , dan air. Kemudian bahan tersebut di aduk hingga rata dan dituang ke dalam cetakan kayu secepatnya agar tidak kering.

3.4.3 Pemasangan Turbin Angin

Setelah melakukan proses pembuatan cetakan, kemudian melakukan proses pemasangan turbin angin diantaranya pemasangan meja turbin, rumah orientasi atau rumah generator dan pemasangan sudu atau blade

3.4.3.1 Pemasangan Meja Turbin Pada Menara

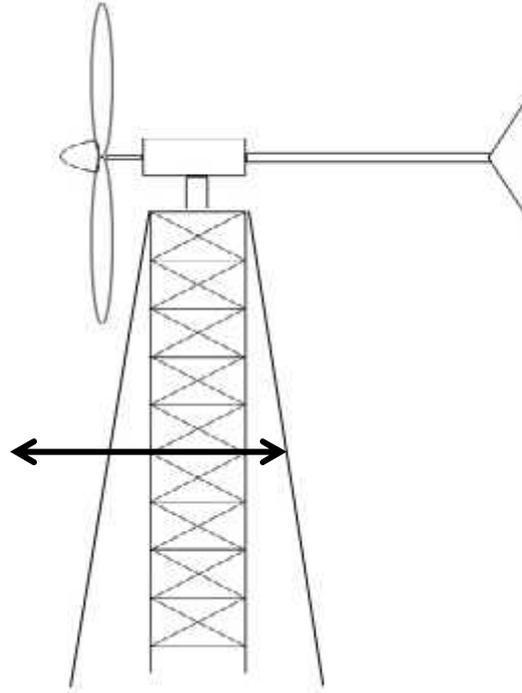
Meja turbin yang sudah dibuat kemudian dipasang pada menara setinggi 6m yang sebelumnya meja turbin telah dipasang pada rumah orientasi, generator, dan ekor turbin dengan cara mengencangkan baut pada titik-titik yang sudah dibuat sebelumnya pada meja turbin dan menara.

3.4.3.2 Pemasangan Sudu Turbin dan proses *balancing*

Proses *balancing* selanjutnya adalah pemasangan ketiga *blade* dengan *Hub*. Pengukuran jarak dilakukan agar pada pemasangan *blade* pada *hub* memiliki kesejajaran antara *blade* satu dengan yang lainnya pada proses pengeboran *hub*. Penyetaraan Jaraknya menggunakan metode *Vertikal Alignment* dan *Horizontal Alignment*.

Berikut adalah Prosesnya :

1. *Vertical Alignment*

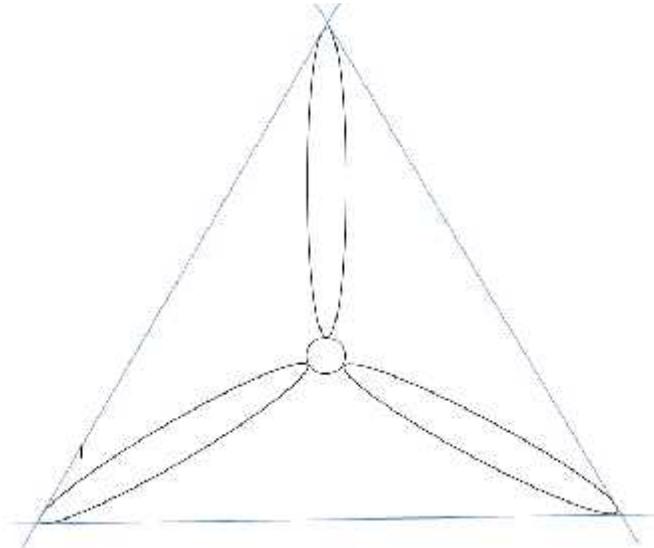


Gambar 3.32 Proses Penyetaraan Jarak dengan *Vertical Alignment*

Merupakan proses balancing yang berfungsi untuk menyeimbangkan putaran rotor turbin angin pada saat menerima angin dari angin 0m/s angin maksimal yang dapat diterima turbin angin. vertikal *balancing* ini bertujuan untuk mengukur jarak dari ujung rotor sampai tiang turbin angin. Karena ketika rotor menerima angin maksimal yang ditoleransi turbin angin maka rotor dapat melengkung. Apabila tidak dilakukan *balancing* dikhawatirkan ketika rotor bekerja pada putaran tinggi akan menghantam tiang. Proses *balancing* dilakukan dengan pemasangan rotor pada *hub*, generator dan tiang. Jarak yang diijinkan dari rotor sampai tiang adalah 0,5 m. Rotor

diputar untuk mengukur jarak rotor dengan tiang. Apabila jarak sudah masuk jarak aman maka *balancing* dianggap tepat.

2. *HorizontalAlignment*



Gambar 3.33 Proses Penyetaraan Jarak dengan *HorizontalAlignment*

Horizontalbalancing dilakukan dengan penyetaran jarak ujung ketiga *blade*. Posisi ketiga *blade* harus bisa membentuk segi tiga sama sisi. Pemasangan ketiga *blade* harus diukur terlebih dahulu jarak ujung ketiga *blade*. Ini dilakukan untuk menentukan titik pengeboran pada *hub* generator. Pertama *Blade* diletakkan pada *hub*. Kemudian dari ujung *blade* ke ujung *blade* yang lain diukur dan harus didapatkan jarak yang sama untuk membentuk segitiga sama sisi. Terakhir apabila jarak ketiga *blade* sudah sama dan membentuk segitiga sama sisi kemudian dilakukan pengeboran dan pemasangan pada *hub*. *Horizontalbalancing* ini bertujuan agar putaran rotor tidak berat pada satu titik dan agar dapat berputar konstan.

3. Cara Pemasangan Sudu terhadap Hub

Pada pemasangan sudu ini dilakukan sesuai urutan agar kekuatan dan kepresisian pemasangan tersebut pas. Pertama kencangkan baut yang diwarnai warna merah secara berurutan. Kemudian baut berwarna hijau di kencangkan secara berurutan, dan terakhir baut yang ditandai warna kuning secara berurutan. Yang akan di jelaskan oleh gambar sbagai berikut.



Gambar 3.34 Pemasangan hub

3.4.4 Pemasangan Menara Turbin Angin

Setelah semuanya sudah siap dan rumah orientasi/ rumah generator telah terpasang di meja turbin dan sudu telah terpasang di hub maka saatnya merangkai semuanya. Langkah selanjutnya yaitu pertama tidurkan menara diatas pondasi, lalu ikatkan tali pada ujung menara agar mudah saat menariknya. Langkah selanjutnya setelah semuanya siap maka beberapa orang menarik tali di dan sebagian memegang menara sampai menara berdiri tegak dan kencangkan baut flange menara dengan pondasi sampai benar benar berdiri tegak.



Gambar 3.35 Pemasangan menara turbin angin