

BAB IV

PERHITUNGAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Perhitungan

4.1.1. Dasar Pemilihan Jenis Kincir Angin

Kincir angin merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang ramah lingkungan yang dapat dipakai untuk memasok kebutuhan energi listrik masyarakat. Pada umumnya, perancangan dan pembuatan kincir angin tipe HAWT lebih banyak dibanding kincir tipe VAWT. Kincir angin HAWT dipilih karena, berdasarkan studi yang ada, karakteristik angin di wilayah pantai selatan Jawa adalah laminar. Angin laminar ditunjukkan dengan bentuk pepohonan yang condong pada satu arah. Kincir angin HAWT sangat cocok diaplikasikan pada daerah yang karakteristik anginya adalah laminar bukan turbulen.

4.1.2. Potensi Kecepatan Angin

Untuk mempermudah dalam proses perancangan maka dipilih daerah pantai di sekitar Yogyakarta. Menurut studi yang dilakukan, kecepatan angin di daerah pantai Pandansimo Daerah Istimewa Yogyakarta adalah sebesar 3–6 m/s (BPPT, 2015). Untuk mempermudah dalam perhitungan maka, diasumsikan kecepatan angin sebesar $V_{udara} = 4,5$ m/s, karena diambil rata-rata.

4.1.3. Penentuan Daya Angin

Dalam perancangan diharapkan nantinya kincir dapat menghasilkan daya *output* kincir sekitar 200 Watt pada kecepatan angin 4,5 m/s. Daya tersebut masih tergolong kecil, tapi cukup digunakan untuk skala rumah tangga yang tidak terlalu membutuhkan daya listrik yang besar.

Dengan memperhitungkan nilai efisiensi generator yang yang dipakai tidak dapat mencapai 100%, maka diasumsikan nilai efisiensi sebesar 75% maka:

$$\begin{aligned} P_{poros\ kincir} &= P_{output} \times 125\% \\ &= 200 \times 125\% \\ &= 250\text{ Watt} \end{aligned}$$

Berdasarkan teori Betz, tidak semua daya mekanik kincir angin dapat terkonversi menjadi energi listrik, dengan mempertimbangkan efisiensi kincir (C_p) yang tidak mungkin melebihi 60% (Betz Limits). Daya mekanik yang dapat terkonversi menjadi energi listrik adalah:

Asumsi : $\eta_{kincir} = 55\%$

$$\begin{aligned} P &= P_{poros} \times 145\% \\ &= 250 \times 145\% \\ &= 362,5 \text{ Watt} \end{aligned}$$

Temperatur di daerah pantai Pandansimo Bantul Daerah Istimewa Yogyakarta, secara geografis temperature $T_{udara} = 30 - 37 \text{ }^\circ\text{C}$

Asumsi $T_{udara} = 35 \text{ }^\circ\text{C}$

Dari tabel propertis udara pada tekanan 1 atm (terlampir) diperoleh:

$$\begin{aligned} \rho_{udara} &= 1,145 \text{ kg/m}^3 \\ V_{udara} &= 4,5 \text{ m/dt} \end{aligned}$$

Dengan menggunakan persamaan daya angin maka luas area rotor dapat diketahui dengan persamaan:

$$\begin{aligned} P &= 0,5 \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \\ A &= \frac{P}{0,5 \cdot \rho \cdot v^3} \\ &= \frac{362,5}{0,5 \cdot 1,145 \cdot 4,5^3} \\ &= 6,9 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

4.1.4. Penentuan Diameter Rotor

Berdasarkan perhitungan daya mekanik didapat nilai luasan area rotor (*sweap area*) sebesar $6,9 \text{ m}^2 \approx 7 \text{ m}^2$, maka diameter rotor dapat dihitung dengan:

$$\begin{aligned} A &= \frac{\pi}{4} d^2 \\ d &= \sqrt{\frac{A}{(\pi/4)}} \\ &= \sqrt{\frac{7}{(\pi/4)}} \\ &= 2,98 \text{ m} \approx 3 \text{ m} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas diameter rotor yang digunakan adalah 3 m. setelah mengetahui diameter rotor yang digunakan selanjutnya dapat diketahui lebar sudu airfoil yang digunakan. Untuk diameter rotor 3 m dapat digunakan lebar airfoil sebesar ≥ 145 mm (Piggot, 2009 : 15).

4.1.5. Tip-Speed Ratio

TSR pada kincir angin merupakan rasio antara kecepatan tangensial ujung *blade* dan kecepatan aktual angin. Karena ada parameter yang belum diketahui yaitu nilai putaran kincir (n), maka untuk menentukan nilai TSR dapat ditentukan terlebih dahulu tanpa proses perhitungan (*optional*). Nilai TSR untuk kincir angin dapat dipilih antara 6-8. Untuk perancangan kincir angin dapat dipilih nilai TSR = 7 karena memiliki nilai C_p tertinggi (Piggott, 2003).

$$\begin{aligned} \text{TSR} &= \frac{\pi D n}{60 v} \\ n &= \frac{60.v.TSR}{\pi D} \\ &= \frac{60.4,5.7}{\pi 3} \\ &= 200 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dapat diketahui kincir angin dengan diameter rotor = 3 m, untuk menghasilkan nilai C_p tertinggi maka harus berputar sebesar 200 rpm pada kecepatan angin 4,5 m/s.

4.1.6. Rotor Solidity

Rotor solidity adalah perbandingan luas sudu dengan luas lintasan sudu. Nilai dari *rotor solidity* berpengaruh terhadap nilai torsi yang diterima oleh kincir. Jika *solidity* tinggi maka torsi yang dihasilkan juga tinggi, hal ini berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan oleh kincir angin. Berikut merupakan perhitungan untuk menentukan *Rotor Solidity* dengan:

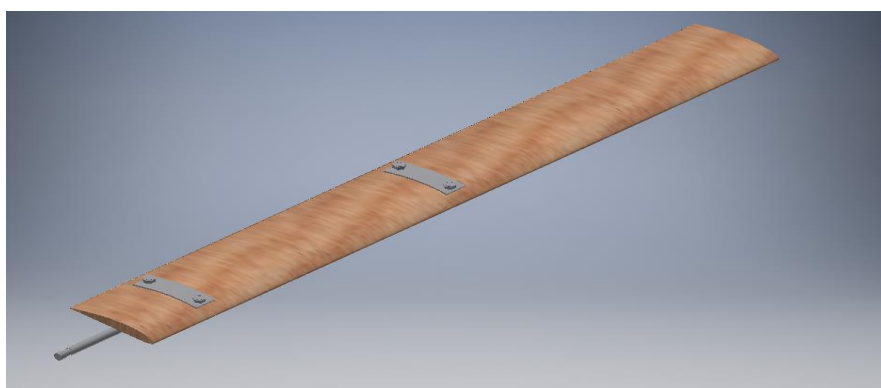
- Jumlah blade (N) = 3
- Lebar airfoil (C) = 0,15 m
- Jari-jari rotor (R) = 1,5 m

$$\begin{aligned}
 \text{Solidity} &= \frac{3 \cdot C}{2 \cdot \pi \cdot R} \\
 &= \frac{3 \cdot 0,15}{2 \cdot \pi \cdot 1,5} \\
 &= 0,048
 \end{aligned}$$

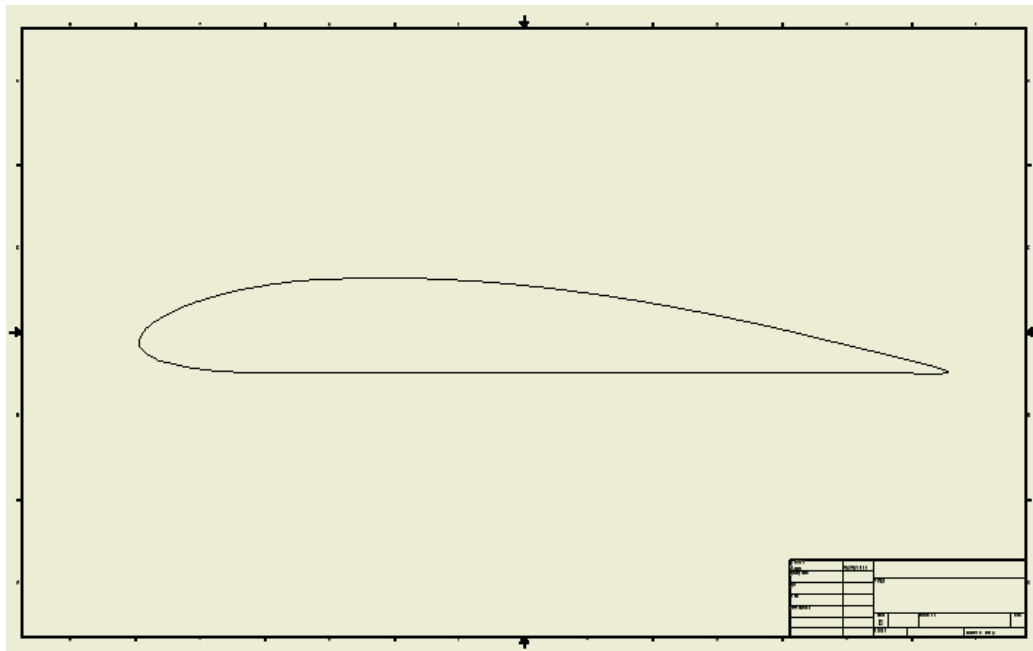
4.2. Perancangan *Blade* (Sudu) Kincir Angin

4.2.1. Proses Desain

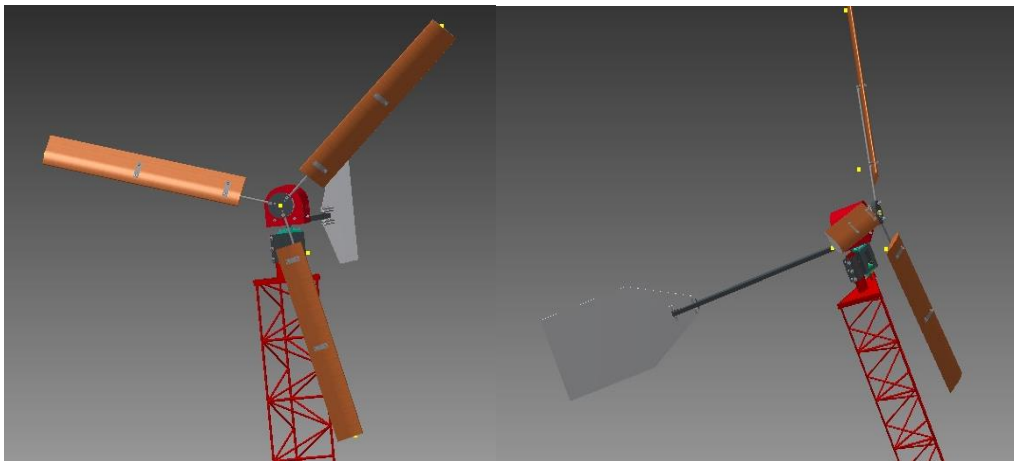
Perancangan kincir angin pada tahap awal dimulai dengan menentukan jenis *blade* yang akan dipakai. Jenis *blade* yang dipilih adalah tipe Clark-Y dengan permukaan bawah datar (*flat botom*). Proses selanjutnya adalah melakukan perhitungan dimensi *blade* kincir angin yang akan dipakai. Mempertimbangkan karakteristik *blade* yang digunakan, dimana ketebalan *airfoil* hanya 11.7% dari lebar *airfoil* maka desain *blade* yang dipilih menggunakan stik menempel pada *airfoil*. Stik digunakan untuk memperkuat *blade* dan menghubungkan dengan hub kincir serta digunakan untuk mengatur sudut *pitch blade*. Setelah mendapat gambar desain yang diinginkan maka desain digambar menggunakan *software* Autodesk Inventor. Melalui perangkat lunak inilah detail dan dimensi ditentukan. Desain CAD dari *airfoil* yang dirancang ditunjukkan oleh Gambar 4.2.



Gambar 4.1 Gambar 3D Airfoil



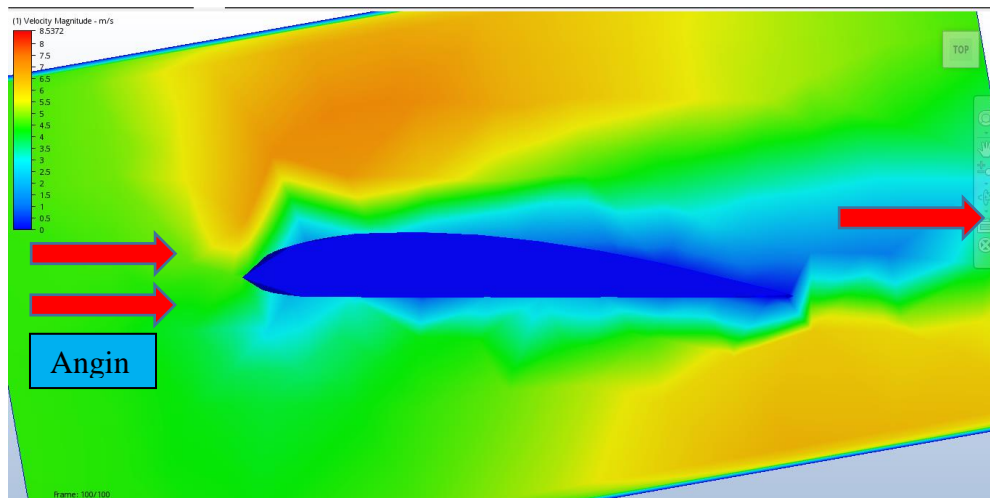
Gambar 4.2 Bentuk Airfoil



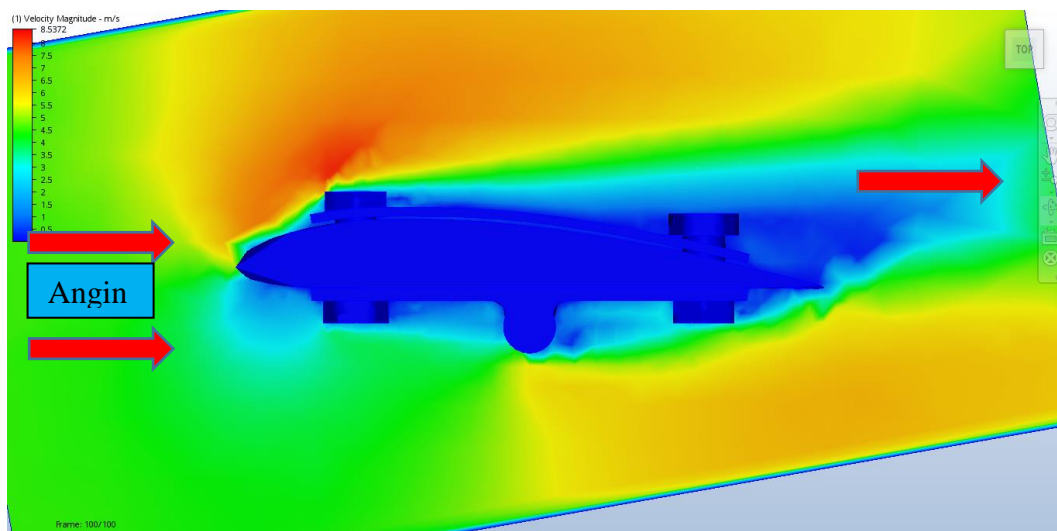
Gambar 4.3 gambar 3D kincir angin

4.2.2. Proses Analisa Desain

Bentuk *blade* yang sudah dibuat pada proses desain selanjutnya dilakukan proses analisa dengan cara melakukan simulasi menggunakan CFD. Proses simulasi dilakukan dengan tujuan mengetahui karakteristik dari *blade* kincir angin terhadap aliran fluida yang melaluinya, seperti ditunjukkan pada gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Analisa aliran fluida pada *blade*

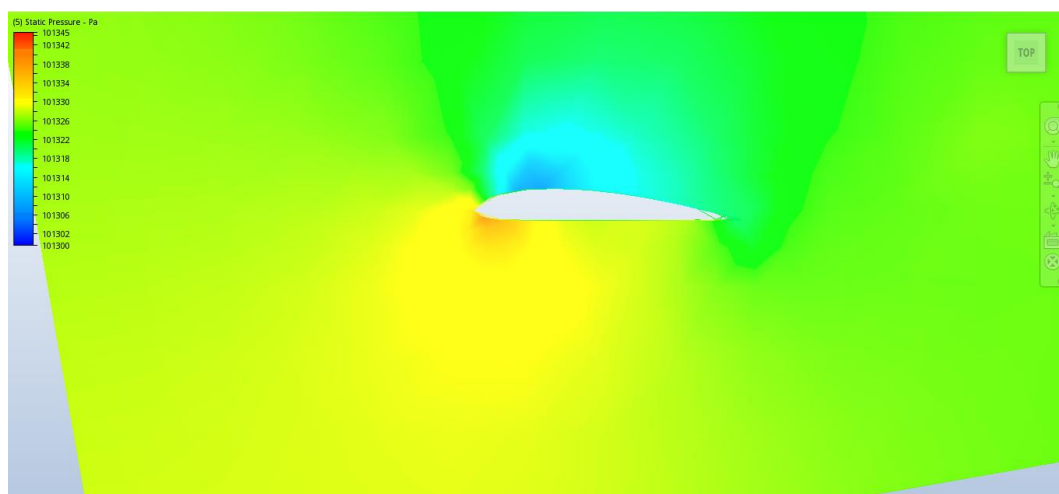


Gambar 4.5 Turbulensi pada *blade*

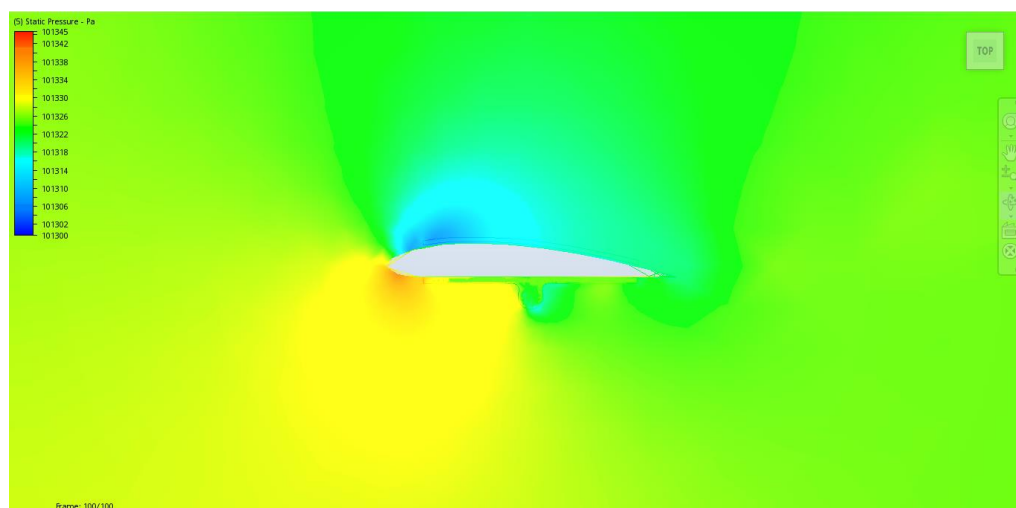
Pada gambar di atas menunjukkan bahwa pada kecepatan angin operasi yaitu 4,5 m/s belum terlihat adanya turbulensi pada bagian ujung *blade* kincir. Turbulensi pada *blade* dapat menghambat kerja kincir angin, karena ketika terjadi turbulensi maka nilai gaya dorong (*drag force*) pada kincir akan meningkat. Gambar di atas menunjukkan fenomena aliran fluida yang melewati *blade*, warna biru menunjukkan kecepatan angin rendah dan warna kuning kemerahan menunjukkan kecepatan angin tinggi. Pada bagian bawah *airfoil* menunjukkan warna biru dan hijau, hal ini menunjukkan bahwa kecepatan fluida di bagian bawah *airfoil* lebih rendah dari bagian atas *airfoil*. Karena kecepatan angin rendah maka

tekananan pada bawah *airfoil* akan naik sehingga timbul gaya angkat (*lift force*). Gaya angkat inilah yang dimanfaatkan oleh *airfoil* untuk memutar kincir angin yang nantinya diubah oleh generator menjadi energi listrik.

Fenomena turbulensi baru terlihat pada bagian *blade* yang terhubung oleh stik, hal ini terjadi karena bentuk stik yang silinder dan menempel pada bagian bawah *blade*. Pada saat simulasi fenomena turbulensi ditunjukkan oleh adanya warna biru pada bagian belakang stik seperti pada gambar 4.5.

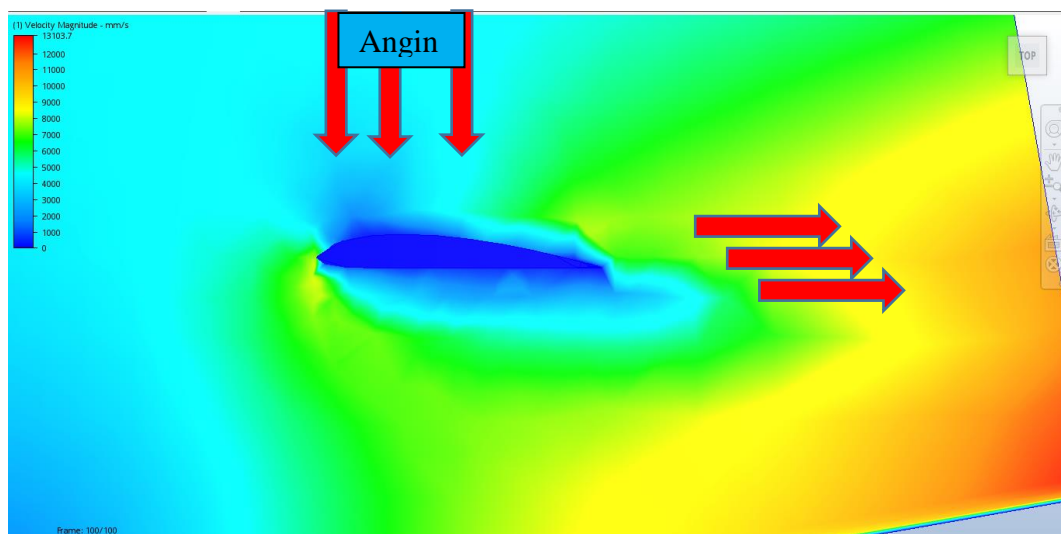


Gambar 4.6 Distribusi tekanan pada *blade airfoil*

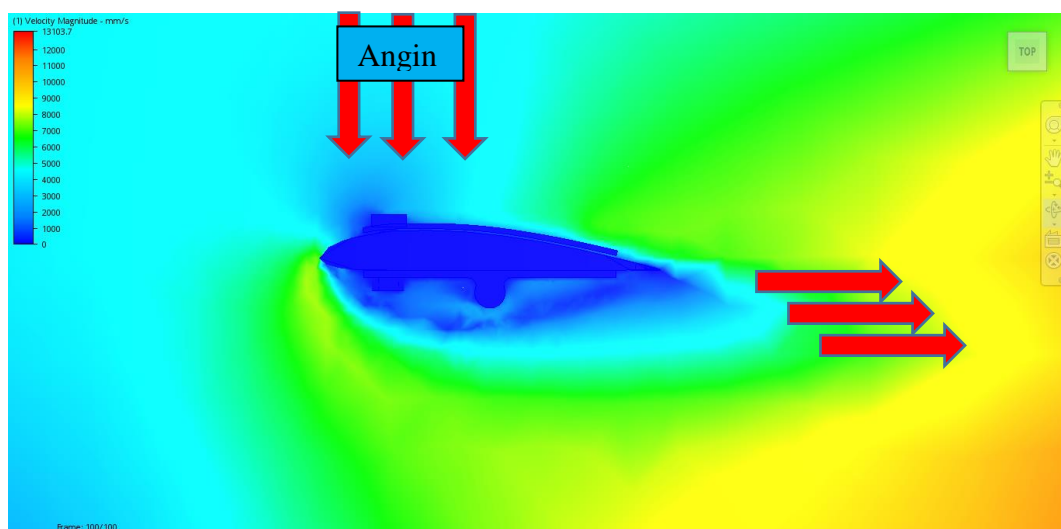


Gambar 4.7 Distribusi tekanan pada *blade airfoil* yang dipasang stik

Gambar di atas menunjukkan distribusi tekanan yang diterima *airfoil* kincir angin. Dari gambar di atas dapat dilihat perbedaan warna pada bagian atas dan bawah *airfoil*. Warna biru menunjukkan tekanan yang rendah sedangkan warna kuning menunjukkan tekanan yang lebih tinggi. Distribusi tekanan di atas menunjukkan tekanan bagian bawah *airfoil* lebih tinggi dibandingkan bagian atas, sehingga timbul gaya angkat (*lift force*).

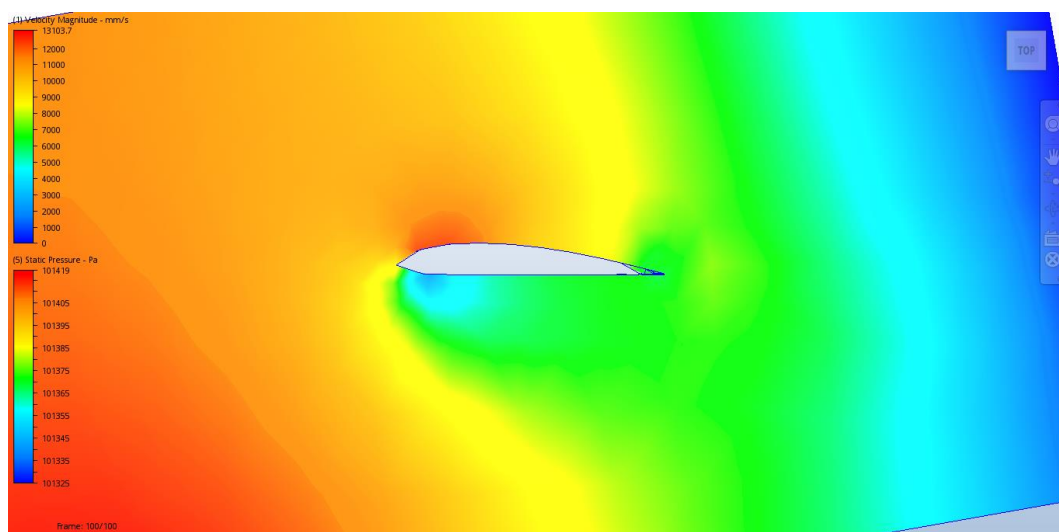


Gambar 4.8 Distribusi aliran fluida pada *blade*

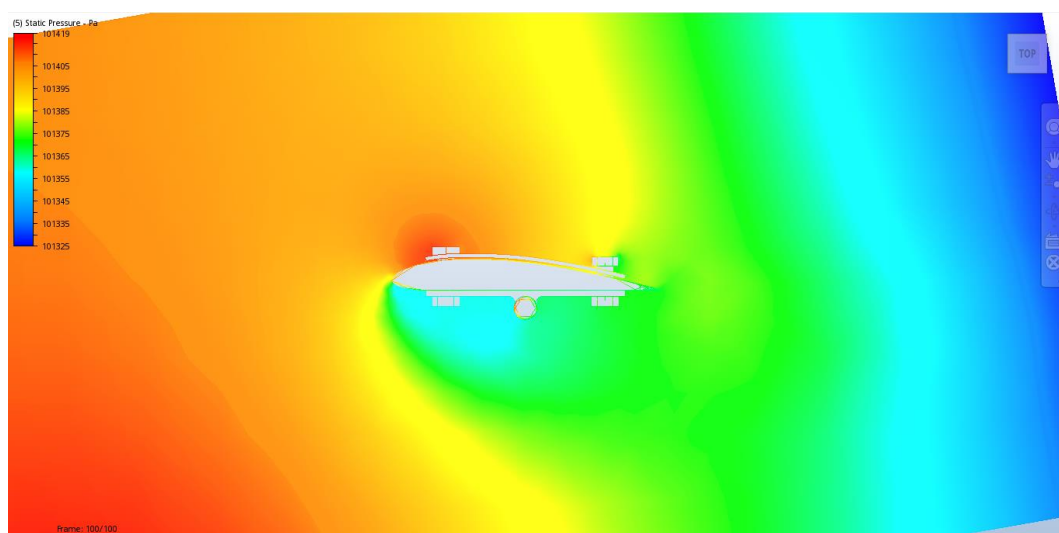


Gambar 4.9 Distribusi aliran fluida pada *blade* yang dipasang stik

Gambar di atas adalah distribusi aliran fluida pada kecepatan angin 4,5 m/s dengan arah angin dari depan kincir. Dari gambar di atas dapat dilihat bahwa untuk *blade* yang tidak terpasang stik belum terlihat adanya indikasi turbulensi, sehingga masih aman untuk digunakan. Efek turbulensi baru terlihat pada *blade* yang dipasang stik atau pada bagian pangkal *blade*. Fenomena turbulensi ditunjukkan dengan warna biru tua pada bagian bawah *blade* yang dipasang stik.



Gambar 4.10 Distribusi aliran tekanan pada *blade*



Gambar 4.11 Distribusi aliran tekanan pada *blade* yang dipasang stik

Dari gambar di atas dapat dilihat perbedaan warna pada bagian atas dan bawah *blade*. Warna biru menunjukkan tekanan yang rendah sedangkan

warna kuning kemerahan menunjukan tekanan yang lebih tinggi. Berdasarkan gambar di atas tekanan pada bagian atas blade lebih tinggi dari pada bagian bawah blade. Tekanan yang lebih tinggi pada bagian atas blade membuat kincir berputar, putaran kincir kemungkinan akan searah jarum jam akibat tekanan yang ditimbulkan oleh angin.

4.3. Perancangan Poros dan Gearbox

4.3.1. Perancangan Gearbox

Dengan mengacu pada kapasitas generator, daya yang ditransmisikan oleh kincir adalah 500 W. Dalam proses perancangan diperlukan daya rencana (P_d) dimana daya yang ditransmisikan dikalikan dengan faktor koreksi (f_c) yang digunakan sebagai tindakan pengamanan.

$$P_d = f_c \cdot P$$

Dimana, untuk perancangan f_c diambil 1,2 untuk daya maksimum sehingga:

$$\begin{aligned} P_d &= 1,2 \times 500 \text{ W} \\ &= 600 \text{ W} \end{aligned}$$

Roda gigi yang digunakan adalah roda gigi involut lurus standar, roda gigi ini dipilih karena daya yang ditransmisikan tidak terlalu besar sehingga tidak membutuhkan putaran yang terlalu tinggi. Berikut beberapa data yang dibutuhkan dalam perancangan roda gigi lurus:

- Perbandingan roda gigi (i) = 3
- Putaran generator maksimum (n_{s2}) = 1000 rpm
($n_{s1} \approx 333$ rpm)
- Jarak antara poros utama dan poros *output* = 100 mm
- Dari diagram untuk daya rencana (P_d) 600 W (0,6 KW) maka modul (m) dapat dipilih 1,25 (diagram modul gigi terlampir).

➤ Diameter jarak bagi roda gigi (d_p)

$$\begin{aligned} d_{p1} &= \frac{2a}{1+i} & d_{p2} &= \frac{2ai}{1+i} \\ &= \frac{2 \cdot 100}{1+3} & &= \frac{2 \cdot 100 \cdot 3}{1+3} \\ &= 50 \text{ mm} & &= 150 \text{ mm} \end{aligned}$$

- jumlah gigi (z)

$$z_1 = \frac{dp_1}{m} = \frac{50}{1,25} = 40$$

$$z_2 = i \cdot z_1 = 40 \cdot 3 = 120 \text{ mm}$$

- Diameter kepala (d_k)

$$\begin{aligned} d_{k1} &= (z_1+2)m \\ &= (40+2)1,25 \\ &= 52,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_{k2} &= (z_2+2)m \\ &= (120+2)1,25 \\ &= 152,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

- Diameter kaki (df)

$$df = (z-2,5)m$$

maka:

$$df_1 = (40-2,5)1,25$$

$$df_2 = (120-2)1,25$$

$$df_2 = 46,875 \text{ mm}$$

$$df_2 = 146,875 \text{ mm}$$

- Kecepatan keliling (v)

$$\begin{aligned} v &= \frac{\pi \cdot dp_2 \cdot ns_1}{60 \cdot 1000} \\ &= \frac{\pi \cdot 150 \cdot 333}{60 \cdot 1000} \\ &= 2,615 \text{ m/s} \end{aligned}$$

- Faktor koreksi terhadap kecepatan (f_v)

$$\begin{aligned} f_v &= \frac{3}{3+V} \\ &= \frac{3}{3+2,615} \\ &= 0,534 \end{aligned}$$

➤ Faktor bentuk gigi (Y)

Faktor bentuk (Y) adalah nilai dari faktor bentuk roda gigi berdasarkan jumlah giginya (z). Berdasarkan tabel (terlampir), berikut nilai faktor bentuk untuk masing-masing roda gigi. Karena nilai faktor bentuk (Y) untuk z_1 terletak antara Y_{38} dan Y_{43} dan z_2 terletak pada Y_{100} dan Y_{150} . Maka nilai faktor bentuk untuk roda gigi sat dan dua menjadi:

$$\begin{aligned} Y_1 = Y_{40} &= Y_{38} + (Y_{43} - Y_{38}) \frac{Y_{40} - Y_{38}}{Y_{43} - Y_{38}} \\ &= 0,383 + (0,396 - 0,383) \frac{40 - 38}{43 - 38} \\ &= 0,388 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} Y_2 = Y_{120} &= Y_{100} + (Y_{150} - Y_{100}) \frac{Y_{120} - Y_{100}}{Y_{150} - Y_{100}} \\ &= 0,446 + (0,459 - 0,446) \frac{120 - 100}{150 - 100} \\ &= 0,451 \end{aligned}$$

➤ Bahan roda gigi

Dalam perencanaan ini diambil bahan untuk semua roda gigi yaitu : S35C dengan kekuatan tarik (σ_B) = 52 Kg/mm² (510,12 Mpa) dengan nilai kekerasan Brinell (H_B) = 149-207 dan nilai tegangan lentur ijin (σ_a) = 26 kg/mm² (255,06 Mpa) seperti pada tabel (terlampir).

➤ Beban lentur yang diizinkan (F'_b)

$$\begin{aligned} F'_{b1} &= \sigma_a \cdot m \cdot Y_1 \cdot F_v \\ &= 255,06 \cdot 1,25 \cdot 0,388 \cdot 0,534 \\ &= 66,06 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} F'_{b2} &= \sigma_a \cdot m \cdot Y_2 \cdot f_v \\ &= 255,06 \cdot 1,25 \cdot 0,451 \cdot 0,534 \\ &= 76,78 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

Berdasarkan tabel juga didapat nilai faktor tegangan kontak pada bahan roda gigi (K_H) nilai K_H digunakan untuk mengetahui nilai beban permukaan yang

dijinkan (F'_H). Nilai faktor tegangan kontak bahan diambil berdasarkan nilai kekerasan Brinell (H_B), untuk baja S35C nilai H_B diambil 200, maka nilai $K_H = 0,053 \text{ kg/mm}^2$ (0,52 N)

$$\begin{aligned} F'_H &= \frac{KH \cdot dp1 \cdot z2}{z1+z2} \\ &= \frac{0,52 \cdot 50 \cdot 120}{40+120} \\ &= 15,6 \text{ Mpa} \end{aligned}$$

➤ Gaya tangensial roda gigi

$$\begin{aligned} F_t &= \frac{1000 \cdot P}{V} \\ &= \frac{1000 \times 0,6}{2,615} \\ &= 229,44 \text{ N} \end{aligned}$$

➤ Lebar roda gigi (b)

$$\begin{aligned} b &= \frac{F_t}{F_{min}} \\ &= \frac{229,44}{15,6} \\ &= 14,71 \text{ mm} \end{aligned}$$

➤ Pengecekan keamanan roda gigi

Dalam pengecekan ini berfungsi untuk melihat apakah perbandingan roda gigi yang digunakan sudah ideal atau belum. Syarat roda gigi ideal adalah:

1. $b/m = 6-10$
2. $d/b > 1,5$

Dimana:

b = Lebar roda gigi (mm)

m = Modul (mm)

d = Diameter poros (mm)

Maka :

- $b/m = 14,71/1,25$
 $= 13,46 \approx$ kurang sesuai
- $d/b = 25/14,71$
 $= 1,69 \approx$ sesuai

Dari hasil perhitungan diatas maka tidak direkomendasikan untuk menggunakan lebar roda gigi sebesar 14,71 karena hasilnya tidak ideal. Lebar roda gigi disarankan untuk dibuat maksimum 12,5 mm sehingga ideal untuk digunakan.

4.3.2. Perancangan Poros

Untuk perancangan poros digunakan material baja S30C dengan diameter 25 mm, dari data tabel didapat nilai kuat tarik bahan $\sigma_B = 48 \text{ kg/mm}^2$ (470,88 Mpa) maka tegangan geser yang diijinkan adalah:

$$\begin{aligned}\tau_a &= \frac{\sigma_B}{Sf_1.Sf_2} \\ &= \frac{470,88}{6.2} \\ &= 39,24 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Keterangan:

- Sf_1 = Faktor keaman jenis bahan, Untuk bahan S-C besarnya adalah 6,0
- Sf_2 = Faktor keamanan yang tergantung pada bentuk poros yang harganya berkisar antara 1,3-3,0.

- Nilai torsi yang terjadi pada poros

$$\begin{aligned}T &= 9,549 \times 10^6 \frac{Pd}{ns_1} \\ &= 9,549 \times 10^6 \frac{0,6}{333} \\ &= 17205,41 \text{ N.mm}\end{aligned}$$

- Nilai tegangan geser yang terjadi pada poros

$$\begin{aligned}\tau &= 5,1 \frac{T}{Ds^3} \\ &= 5,1 \frac{17205,41}{25^3} \\ &= 6,62 \text{ Mpa}\end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan didapat nilai tegangan geser yang terjadi pada poros kincir adalah 6,62 Mpa lebih kecil dari nilai tegangan geser yang diijinkan yaitu 39,24 Mpa. Poros yang digunakan bisa dikatakan aman karena nilai tegangan geser yang terjadi lebih kecil dari tegangan geser yang diijinkan.

4.4. Proses Pembuatan *Blade*

4.4.1. Pembuatan Pola

Bentuk desain yang telah ditentukan pada tahap perancangan kemudian di gambar sketsa/pola pada balok kayu pinus yang akan digunakan untuk membuat *blade* dengan menggunakan penggaris dan pensil. Pada tahapan ini dilakukan secara manual.



Balok kayu Pinus

Gambar 4.12 Balok kayu pinus



Gambar 4.13 Pola pada kayu pinus

4.4.2. Proses penyerutan

Setelah pola digambar pada kayu, kemudian dilakukan proses penyerutan, proses ini dilakukan secara manual dengan menggunakan gerinda yang mata gerindanya diubah dengan depasangi amplas khusus kayu. Pada proses digunakan amplas kasar dengan nomor 400. Karena semua proses dilakukan secara manual, maka pada proses ini dilakukan secara hati-hati karena jika terjadi kesalahan maka hasil profil *airfoil* pada kayu akan tidak sesuai yang diharapkan.



Gambar 4.14 Proses penyerutan



Gambar 4.15 Kayu setelah dilakukan penyerutan

4.4.3. Proses Pengamplasan

Proses pengamplasan dilakukan dengan tujuan memperhalus permukaan kayu. Pada proses ini dilakukan secara manual karena proses ini merupakan proses akhir penghalusan sehingga perlu kehati-hatian. Proses ini juga bertujuan untuk mempertegas profil airfoil pada kayu pinus. Pada proses ini digunakan amplas nomor 500.



Gambar 4.16 Proses pengamplasan

4.4.4. Proses Finishing

Pada proses ini dilakukan proses pemernisan (penutupan pori-pori pada kayu) menggunakan cat pernis kayu. Proses ini dilakukan dengan tujuan untuk menutup pori-pori kayu agar tidak terjadi jamur pada kayu.



Gambar 4.17 Proses *finishing*



Gambar 4.18 Kayu pinus setelah dipernis

Setelah proses *finishing* selesai maka *blade* selanjutnya dapat dilakukan proses perakitan dengan stik *blade* yang nantinya dirakit bersama kincir dan siap dilakukan uji coba lebih lanjut.



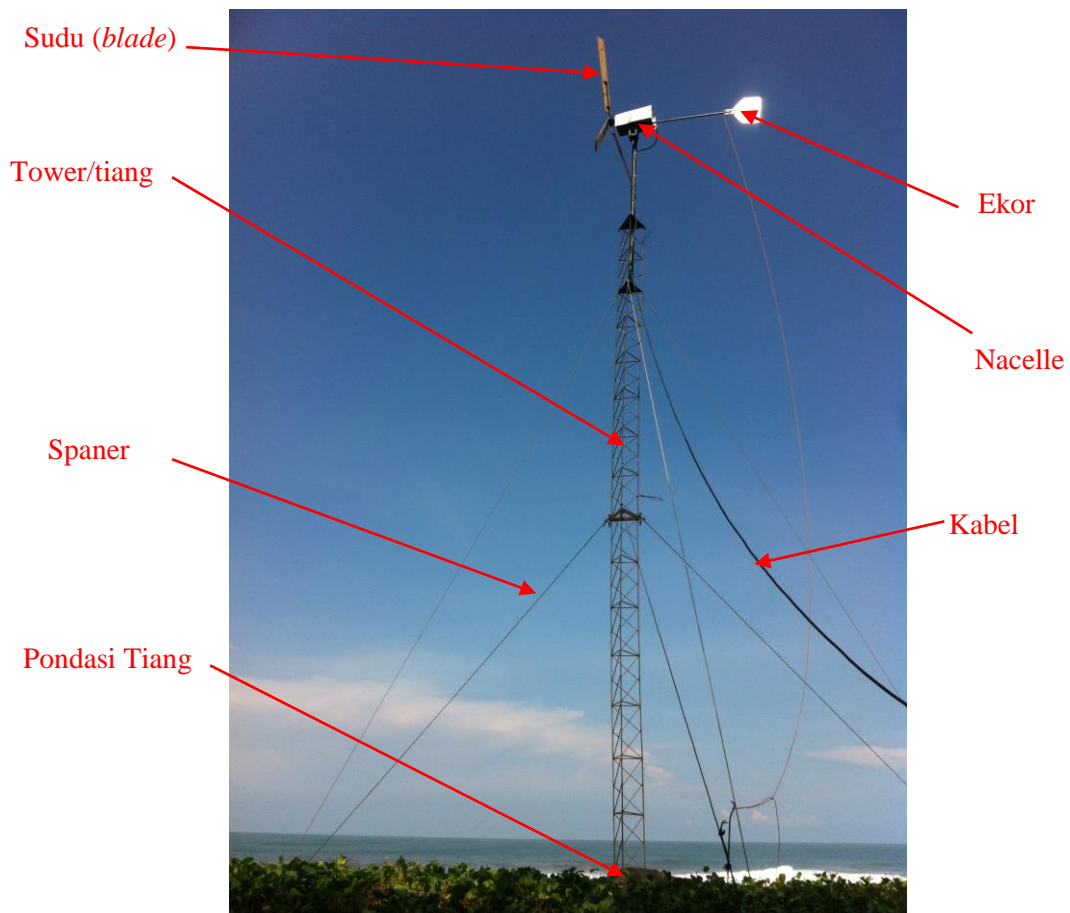
Gambar 4.19 Stik *blade*



Gambar 4.20 *Blade* yang sudah dirakit dengan stik *blade*

4.4.5. Hasil Pembuatan Kincir Angin

Blade yang sudah selesai dibuat dan derikat dengan stik, selanjutnya siap dipasang pada kincir. Kincir angin yang sudah selesai dibuat yang selanjutnya siap untuk dilakukan proses pengujian untuk mengetahui apakah kincir angin dapat bekerja atau tidak, ditunjukkan pada Gambar 4.9 berikut.



Gambar 4.21 Kincir Angin HAWT

Gambar di atas merupakan gambar komponen kincir angin yang terpasang saat uji coba. Berikut keterangan komponen berdasarkan gambar di atas.

- a. *Blade*
Berfungsi untuk menangkap energi mekanik angin yang kemudian diteruskan ke poros kincir.
- b. Tower/tiang penyangga
Berfungsi sebagai penyangga kincir angin.
- c. Spanner/ kabel pancang
Berfungsi sebagai penguat tower/ tiang penyangga agar saat terkena angin kuat tower tidak mengalami kerusakan dan membahayakan kincir angin.
- d. Pondasi
Sebagai tempat dudukan tower yang akan dipasang kincir angin. Pondasi harus cukup kuat agar mampu menopang beban berat dari kincir angin.

e. *Nacelle*

Adalah tempat/ rumah bagi generator, *gearbok* dan poros kincir.

f. Ekor

Berfungsi sebagai penyearah datangnya angin.

g. Kabel

Kabel berfungsi meneruskan daya output kincir ke penyimpan daya/ baterai.

4.5. Uji Coba Kincir Angin

Uji coba ini bertujuan untuk mengetahui apakah kincir dapat beroperasi pada kecepatan angin yang diharapkan saat perancangan yaitu antara 3-6 m/s. Tempat dilakukannya uji coba adalah di Pantai Baru Pandansimo Bantul pada tanggal 14 Mei 2016. Tempat ini dipilih karena selain dekat dengan kampus UMY juga merupakan salah satu pusat laboratorium energi terbarukan terutama energi angin dan sell surya di Indonesia. Dari hasil uji coba yang dilakukan kincir angin yang dibuat dapat berputar pada kecepatan angin antara 1,5-3,9 m/s hal ini bisa dikatatakan sesuai dengan perancangan yang dilakukan. Karena angin yang dihasilkan rendah maka konsekuensinya daya yang dihasilkan juga rendah.



Gambar 4.22 Uji coba kincir angin

4.6. Estimasi Biaya Pembuatan

Pada bagian ini dilakukan proses analisa biaya yang bertujuan untuk mengetahui total biaya yang digunakan untuk membuat satu set kincir angin. Berikut merupakan tabel estimasi biaya yang digunakan selama pembuatan kincir.

Tabel 4.1 Tabel Estimasi Biaya Pembuatan Kincir

No	Nama Barang	Frekuensi		Harga satuan	Total
1	Generator 500 Watt	1	Buah	Rp. 750.000	Rp. 750.000
2	Tri Angle 4 m	2	Buah	Rp. 400.000	Rp. 400.000
3	Kayu Pinus 1250 x 150 x 30 (mm)	3	Buah	Rp. 60.000	Rp. 180.000
4	Besi kotak 20 x 20 x 20 (mm)	6	Meter	Rp. 100.000	Rp. 100.000
5	Besi pejal ϕ 12 mm (6 m)	1	Buah	Rp. 75.000	Rp. 75.000
6	Besi pejal ϕ 25 mm (1 m)	1	Buah	Rp. 80.000	Rp. 80.000
7	Plat baja 50 x 50 x 5 (mm)	1	Buah	Rp. 100.000	Rp. 100.000
8	Bearing ϕ 25 mm	4	Buah	Rp. 35.000	Rp. 140.000
9	Kabel serat	10	meter	Rp. 15.000	Rp. 150.000
10	Aki (<i>Accu</i>) 12V	2	Buah	Rp. 200.000	Rp. 400.000
11	Tali kawat (<i>spaner</i>) ϕ 3mm	30	Meter	Rp. 5.000	Rp. 150.000
12	<i>Gear box</i>	1	Pasang	Rp. 100.000	Rp. 100.000
13	Mur baut	60	Buah	Rp. 3.000	Rp. 180.000
14	Hub	1	Buah	Rp. 200.000	Rp. 200.000
Jumlah					Rp. 3.005.000

Biaya di atas adalah biaya perkiraan untuk membuat satu buah kincir angin tipe HAWT. Biaya tersebut belum termasuk biaya produksi (pengelasan dan pembubutan), untuk biaya produksi berkisar antara \pm Rp. 500.000. Setelah ditambah biaya produksi maka diperkirakan untuk membuat satu buah kincir angin membutuhkan biaya minimal Rp. 3.505.000. Harga tersebut lebih murah jika dibandingkan dengan membeli kincir angin pabrikan yang harganya mencapai Rp. 5.000.000 untuk kapasitas yang sama yaitu 500 Watt.