

# PERANCANGAN TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL 2 SUDU DENGAN KAPASITAS 1 MW

*by* Ismail Ismail

---

**Submission date:** 20-Jun-2018 06:29AM (UTC+0700)

**Submission ID:** 977095035

**File name:** PERANCANGAN\_TURBIN\_ANGIN\_SUMBU\_HORIZONTAL\_2\_SUDU.pdf (3.51M)

**Word count:** 4095

**Character count:** 20778

## PERANCANGAN TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL 2 SUDU DENGAN KAPASITAS 1 MW

Ismail, Megara Munandar, Andrew Argantara  
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik Universitas Pancasila

### Abstrak

Energi terbarukan merupakan energi yang cukup memiliki potensi di Indonesia. Sejalan dengan program pemerintah untuk meningkatkan kapasitas listrik sebesar 35.000MW membuat beragam sumber energi dimanfaatkan. Salah satu dari energi terbarukan yang dimanfaatkan adalah energi angin. Turbin angin sumbu horisontal dipilih karena memiliki karakteristik koefisien daya yang cukup tinggi namun tetap tidak melebihi betz limit yaitu sebesar 0,592. Lokasi yang digunakan sebagai dasar penelitian ini bertempat di pantai selatan pulau Jawa yang memiliki potensi angin sebesar 6,1 m/s pada ketinggian 100m. Penelitian ini menggunakan 3 jenis *airfoil*, yaitu Naca 63(3)-318 untuk sudu bagian *root*, kemudian Naca 63-412 untuk sudu bagian tengah, dan Naca 63-210 untuk sudu bagian ujung. *Airfoil* yang digunakan merupakan *airfoil* yang cocok digunakan pada angin dengan kecepatan rendah. Penelitian ini mendapatkan data berupa *swept area* sebesar 15.636,75 m<sup>2</sup>. Kemudian akan didapatkan diameter (*D*) rotor turbin angin sebesar 141,13 m. Untuk panjang radius (*r*) dari sudu digunakan 10 area, yang masing-masing terhubung dengan *airfoil* yang digunakan. Jumlah sudu yang dipakai berjumlah 2, jumlah tersebut dipilih karena dapat menghasilkan kecepatan yang tinggi dikarenakan beban yang lebih ringan dibanding dengan jumlah sudu 3. Data penelitian ini akan menghasilkan desain untuk rotor turbin angin, yang selanjutnya akan dilakukan pengujian dengan *software* Qblade. Pengujian yang dilakukan menggunakan 2 parameter yaitu pengujian desain rotor dengan perhitungan ideal dan pengujian rotor menggunakan perhitungan linearisasi. Uji coba yang telah dilakukan menghasilkan *output* daya sebesar 98% dari target awal.

**Keyword** : Energi Terbarukan, Turbin Angin, *Swept Area*, *Airfoil*, *Qblade*

### I. PENDAHULUAN

Listrik merupakan sumber energi yang menjadi kebutuhan utama dalam kehidupan manusia. Pemanfaatan untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu sendiri baru mencapai 8,37 MW atau hanya 0,02% dari total kapasitas terpasang. Daerah pantai selatan Pulau Jawa Kabupaten Purworejo Propinsi Jawa Tengah merupakan wilayah di Indonesia yang memiliki potensi angin yang cukup tinggi, yakni dapat mencapai 6,1 m/s pada kondisi ketinggian 100m.

Jurnal internasional yang berjudul "*Design of a Horizontal Axis Wind Turbine for Electricity Generation in Low Speed Windy Sites*" terdapat langkah-langkah yang dijelaskan untuk membuat turbin angin sumbu horisontal. Langkah pertama adalah menganalisa kecepatan angin di beberapa wilayah, kemudian didapatkan data angin sebagai dasar dari pembuatan turbin angin sumbu horisontal. Langkah kedua adalah mendesain turbin angin sumbu horisontal, pada langkah ini terdapat beberapa sub langkah diantaranya adalah menentukan nilai minimal dari  $C_d/C_t$ , lalu penentuan untuk desain koefisien *lift* serta sudut serangnya, berikutnya adalah pemilihan desain *tip speed ratio* dan jumlah dari sudu, selanjutnya penentuan desain koefisien power, dan terakhir adalah penghitungan radius sudu.

Tujuan dari pembahasan tersebut adalah untuk mendapatkan suatu bentuk rancangan yang tepat untuk Turbin Angin Sumbu Horisontal 2 Sudu Dengan Kapasitas 1 MW untuk wilayah Pantai Sela yang ada di Kabupaten Purworejo. Selain itu, adapun tujuan khusus dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan rancangan yang sesuai untuk rotor turbin angin sumbu horisontal, melakukan pengujian dengan *software* Qblade untuk mengetahui output dari rotor dan mengetahui spesifikasi *gearbox* dan *generator* yang tepat untuk rancangan ini.

### II LANDASAN TEORI

#### 2.1 Energi Baru Terbarukan

Energi baru terbarukan pada awal milineum ketiga tahun 2008 telah menjadi isu penting. Ketika dunia dilanda krisis global yang meliputi krisis energi, krisis keuangan dan krisis lingkungan, situasi tersebut telah mendorong semua pihak untuk melakukan usaha mencari alternatif pemanfaatan energi, khususnya pengembangan energi listrik konvensional menuju energi listrik berbasis pada energi baru terbarukan (EBT). Pertumbuhan EBT tenaga angin dunia telah tumbuh sangat cepat (30%) tahun 2009, turbin angin telah tumbuh menjadi modern sehingga menghasilkan daya listrik

mencapai 600 kW sampai 5 MW per unit. Turbin angin diinstalasi secara luas di daerah sub tropis dengan kecepatan angin (4-50) m/s dan daerah tropis dengan kecepatan angin rata rata <12 m/s. Kapasitas turbin angin dunia telah mencapai 198 GW tahun 2010. Diyakini untuk jangka panjang pemanfaatan energi angin dunia dapat mencapai lima kali produksi energi global atau 40 kali permintaan listrik dunia saat ini. Indonesia sebagai negara tropis dengan geografis yang luas dengan penduduk yang menyebar dari pantai, daratan dan pegunungan. Pada saat ini Indonesia telah menginstalasi turbin angin dengan kapasitas 1,4 MW dengan turbin angin berkapasitas 50 watt-10 kW, diameter sudu turbin angin 0,8-7,5 m diinstalasi pada daerah kecepatan angin zone I (2,5-4,0) m/s, Zone II (4,0-5,0) m/s dan zona III (> 5 ) m/s. Pengembangan energi angin di Indonesia telah dicanangkan dapat mencapai 5 MW *on grid* dan 250 MW *off grid* tahun 2005-2025 [3]

**2.2 Turbin Angin**

Turbin angin adalah kincir angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik. Turbin angin ini pada awalnya dibuat untuk mengakomodasi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi, keperluan irigasi, dan lain-lain. Tenaga angin adalah energi kinetik dari angin yang bergerak dengan *m* merupakan massa dari angin yang bergerak dan *v* adalah kecepatan [4], maka dapat ditulis dengan persamaan 1.

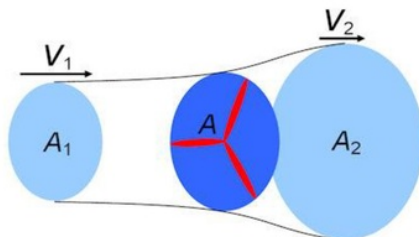
$$E_{kin} = \frac{1}{2}mv^2 \tag{1}$$

Massa *m* (kg) dapat di definisikan dari massa jenis udara  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) dan volume *V* (m<sup>3</sup>) dari persamaan 2.

$$m = \rho V \tag{2}$$

Persamaan 3 menunjukkan energi kinetik dari angin

$$E_{kin,wind} = \frac{1}{2}\rho Vv^2 \tag{3}$$



Gambar 1 Kecepatan angin saat melewati turbin angin

**2.3 Jenis-Jenis Turbin Angin**

Jenis turbin angin ada 2 yaitu turbin angin sumbu tegak (vertikal) dan turbin angin sumbu horisontal

**1. Turbin Angin Sumbu Tegak (vertikal)**

Memiliki poros/sumbu rotor utama yang disusun tegak lurus. Kelebihan utama dalam jenis ini adalah turbin tidak harus diarahkan ke angin. Hal tersebut sangat berguna untuk lokasi yang mempunyai angin yang bervariasi. Sumbu yang vertikal, generator serta gearbox bisa ditempatkan di dekat tanah, jadi menara tidak perlu menyokongnya dan lebih mudah untuk cara perawatannya.

**2. Turbin Angin Sumbu Horizontal**

Turbin ini memiliki poros utama dan generator yang berada di atas puncak menara. Turbin angin berukuran besar pada umumnya menggunakan sensor angin yang terhubung dengan servo motor. Pada umumnya, turbin diarahkan melawan arah angin. Hal tersebut dikarenakan turbulensi dapat menyebabkan kerusakan pada struktur menara. Selain itu, keuntungan dari penggunaan jenis ini adalah efisiensi yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan jenis sumbu vertikal.

**2.4 Bagian-Bagian Pada Turbin Angin Sumbu Horizontal**

Perancangan turbin angin sumbu horisontal, terdapat beberapa bagian yang perlu dirancang. Bagian bagian tersebut merupakan bagian yang berperan dalam menciptakan daya pada turbin angin ini. Seperti pada gambar 2.



Gambar 2 Bagian-bagian dalam turbin angin sumbu horizontal [5]

**2.5 Betz Limit**

Nilai maksimal dari *C<sub>p</sub>* muncul dari persamaan 4 [5]

$$\frac{dC_p}{da} = 4(1 - a)(1 - 3a) = 0 \tag{4}$$

Jika nilai dari  $a = \frac{1}{3}$   
Maka menjadi persamaan 5,

$$C_{P_{max}} = \frac{16}{27} = 0.593 \quad (5)$$

### 2.5 Tip Speed Ratio

Turbin angin harus mempunyai desain yang tepat untuk mendapatkan *tip speed ratio* yang optimal sehingga dapat mengekstrak energi semaksimal mungkin. Ratio turbin angin sangat tergantung pada desain yang digunakan, rotor *airfoil* yang dipakai, dan jumlah sudu dalam turbin angin tersebut.

Secara general, apabila *tip speed ratio* yang didapat tinggi, maka akan dihasilkan kecepatan rotasi yang tinggi yang mana hal tersebut dibutuhkan untuk generator dalam menghasilkan lebih banyak listrik. Namun, apabila TSR tersebut tinggi, maka akan menghasilkan erosi, *noise*, *vibration*, membuat langkah awal menjadi lebih sulit ketika *shaft* tersebut kaku pada rotasi awal, *drag* dan *tip losses* akan menghasilkan efisiensi yang buruk pada rotor dan terlalu banyak kecepatan rotor akan menghasilkan turbin menjadi lepas kendali, dalam hal ini dapat menyebabkan kerusakan atau bahkan kehancuran.

Hubungan antara kecepatan angin dan rata-rata rotasi dinamakan dengan *tip speed ratio*, ditunjukkan dalam persamaan 6 :

$$\lambda = \frac{u}{v} = \frac{\omega r}{v} \quad (6)$$

### 2.6 Rotor Sudu

Rotor merupakan bagian penting dari sebuah turbin angin. Rotor sendiri terdiri dari sudu rotor dan hub. Daya yang dihasilkan sangatlah tergantung pada interaksi dengan angin.

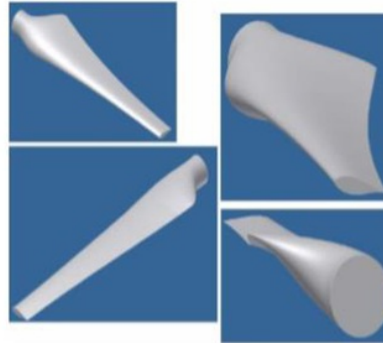
Permukaan area tangkapan dari sudu yang berputar adalah parameter yang menentukan ukuran dari turbin angin. Persamaan 7 menunjukkan hubungan antara *swept area* pada rotor dengan diameter rotor :

$$S = 0.785D^2 \quad (7)$$

Turbin angin sumbu horizontal terdapat 2 jenis rotor, yaitu *upwind* dan *downwind rotor*.

*Downwind* dan *upwind* rotor sangat cocok untuk turbin dengan kapasitas besar serta beroperasi pada *tip speed ratio* yang tinggi. *Downwind* rotor mempunyai *yaw* yang bebas di mana hal tersebut membuatnya lebih mudah diimplementasikan dibandingkan dengan *yaw* yang aktif pada *upwind* rotor. Pada posisi *downwind* juga mengurangi momen *bending* pada sudu *root flap*. Kekurangan utama adalah pada

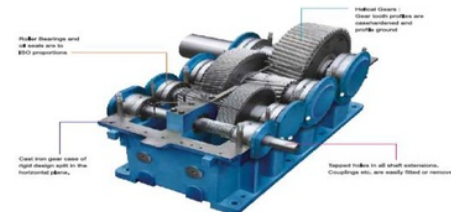
kerusakan *fatigue* pada sudu yang disebabkan oleh beban yang berulang untuk membangkitkan tenaga listrik. Hal ini, sangat memungkinkan untuk mengurangi efek dengan menggerakkan hub dan mekanisme pelepasan sendiri.



Gambar 3 Berbagai macam sudu turbin dengan beragam *twist* [5]

### 2.7 Pemilihan Gearbox

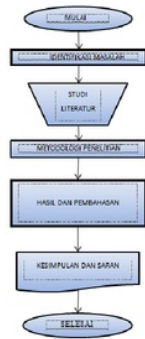
Dalam pemilihan *gearbox* untuk turbin angin sumbu horizontal digunakan *gearbox* yang sudah tersedia dipasaran. Jenis yang dipakai sebagai dasar pemilihan *gearbox* adalah *heavy duty helical gear units* dengan merk *premium*. *Premium Helical Gear* menggunakan ukuran metrix dan cocok untuk dipergunakan pada banyak aplikasi dalam orientasi horizontal. [7]



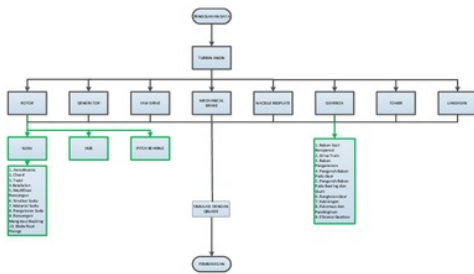
Gambar 4 Tipe H4 Jenis horizontal dengan *reduction gear*

## 14 III METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini terdapat padaa gambar 5.



Gambar 5 Diagram Alur Penelitian



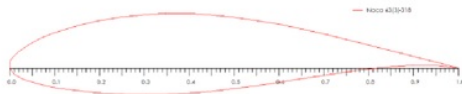
Gambar 6 Diagram Perancangan Turbin Angin

**IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

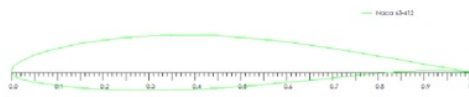
**4.1 Data Awal Proses Perhitungan** 15

Penelitian ini terdapat beberapa data yang sudah didapatkan sebagai dasar untuk merancang turbin angin sumbu horizontal, adapun di antaranya adalah :

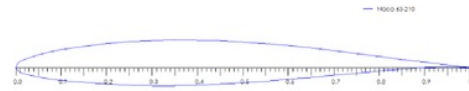
- Daya dari desain ( $P$ ) = 1 MW (1.000.000 Watt)
- Kecepatan Angin ( $\rho$ ) = 6,10 m/s
- Jumlah Sudu ( $B$ ) = 2 Sudu
- Tip Speed Ratio ( $\lambda$ ) = 10
- Penampang Airfoil = Naca 63(3)-318 (untuk pangkal sudu/root) = Naca 63-412 (untuk tengah/midspan) = Naca 63-210 (untuk ujung sudu/tip)
- Bilangan *Reynold* yang digunakan pada airfoil ini adalah 1.000.000



Gambar 7 Naca 63(3)-618



Gambar 8 Naca 63-412



Gambar 9 Naca 63-210

Tabel 1 Data nilai  $C_l$ ,  $C_d$ ,  $C_l/C_d$ , dan Alpha

Nilai $C_l$ dan $C_d$ untuk tiap airfoil					
No	Airfoil	$C_l/C_d$	$C_l$	$C_d$	Alpha
1	Naca 63(3)-318	125.000	1.068	0.009	5°
2	Naca 63-412	101.000	0.725	0.007	3°
3	Naca 63-210	72.500	0.848	0.012	7°

**4.2 Perhitungan Swept Area**

Swept Area dari turbin angin atau dalam bahasa disebut dengan luas daerah yang mengambil energi angin dapat dihitung melalui persamaan 8.

$$P_{wind} = \frac{\Delta V \rho v^2 C_p}{2 \Delta t} = \frac{\rho A v^3 C_p}{2} \quad (8)$$

Maka akan didapatkan persamaan 9 untuk mencari luas area penampang, yaitu

$$A = \frac{2 P_{wind}}{C_p \rho v^3} \quad (9)$$

maka akan didapatkan nilai  $A$  sebesar ,

$$A = \frac{10^6 \cdot 2}{1,2 \cdot 6,1^3}$$

Sehingga dari perhitungan di atas akan didapatkan nilai  $A$  sebesar 15.636,75 m<sup>2</sup> Kemudian nilai  $R$  dapat diketahui dengan persamaan

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (10)$$

Sehingga nilai dari jari jari rotor akan didapatkan sebesar  $R = 70,57$  m

**A. Perhitungan Kecepatan Rotor**

Data yang sudah dimiliki maka akan dapat digunakan untuk menghitung kecepatan rotor berdasarkan persamaan 11.

$$\lambda = \frac{\pi D n}{60 V} \quad (11)$$

Maka nilai kecepatan rotor didapatkan dengan persamaan 12,

$$n = \frac{\lambda 60 V}{\pi D} \quad (12)$$

Sehingga nilai dari kecepatan rotor rancangan ini adalah sebesar 8,25 rpm.

**B. Geometri Sudu**

Berdasarkan pembagian sebanyak 10 bagian dengan menggunakan beberapa parameter, yaitu : rotor radius, local design TSR, sudut kecepatan angin relatif, sudut twist dan chord sudu maka didapatkan hasil ideal sesuai dengan persamaan 13

$$C = \frac{16\pi R(R/r)}{9\lambda^2 B} \tag{13}$$

Sudut *Twist* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 14 sesuai dengan jurnal yang ada [13]

$$\beta = \phi - \alpha \tag{14}$$

Dengan  $\phi$  merupakan *angle of relative wind velocity* yang nilainya didapatkannya berdasarkan persamaan 15

$$\phi = \frac{2}{3} \text{arc tan}(1/\lambda_r) \tag{15}$$

Tabel 2 Perhitungan Sudu Ideal

Cr oss Sec tio n No.	Rot or Rad ius= r (m)	Lo cal des ign spe ed ( $\lambda_r$ )	An gle of rela tive win d velo city ( $\phi$ )	Airfo il Naca 63XX X	De sig n an gle of att ack ( $^\circ$ )	Tw ist angl e= $\beta$ ( $^\circ$ )	Cho rd (m)
1	7,0568	1,00	30,00	63(3)-618	6,25	23,75	19,70
2	14,1136	2,00	17,71	63(3)-618	6,25	11,46	9,85
3	21,1704	3,00	12,29	63(3)-618	6,25	6,04	6,57
4	28,2272	4,00	9,36	63(3)-618	6,25	3,11	4,92
5	35,2841	5,00	7,54	63-412	4,25	3,29	3,94
6	42,3409	6,00	6,31	63-412	4,25	2,06	3,28
7	49,3977	7,00	5,42	63-412	4,25	1,17	2,81
8	56,4545	8,00	4,75	63-210	2,00	2,75	2,46
9	63,5113	9,00	4,23	63-210	2,00	2,23	2,19
10	70,5681	10,00	3,81	63-210	2,00	1,81	1,97

Berdasarkan data tabel sebelumnya, didapatkan nilai untuk sudut *twist* dan *chord* sudu yang mempunyai perbedaan yang cukup jauh, sehingga akan sulit pada proses manufakturnya oleh sebab itu hal tersebut perlu diatasi dengan

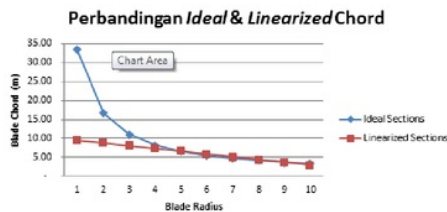
melakukan linearisasi. Proses linearisasi tersebut adalah berdasarkan persamaan 16 & 17.

$$C = 2.5(C_9 - C_5) \frac{r}{R} + 2.25C_5 - 1.25C_9 \tag{16}$$

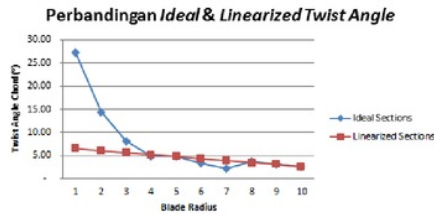
$$\beta_T = 2.5(\beta_9 - \beta_5) \frac{r}{R} + 2.25\beta_5 - 1.25\beta_9 \tag{17}$$

13 Tabel 3 Perhitungan Linerisasi Sudu

Cr oss Sec tio n No.	Rot or Rad ius= r (m)	Lo cal des ign spe ed ( $\lambda_r$ )	An gle of rela tive win d velo city ( $\phi$ )	Airfo il Naca 63XX X	De sig n an gle of att ack ( $^\circ$ )	Tw ist angl e= $\beta$ ( $^\circ$ )	Cho rd (m)
1	7,0568	1,00	30,00	63(3)-618	6,25	4,35	5,69
2	14,1136	2,00	17,71	63(3)-618	6,25	3,09	5,25
3	21,1704	3,00	12,29	63(3)-618	6,25	3,82	4,81
4	28,2272	4,00	9,36	63(3)-618	6,25	3,56	4,38
5	35,2841	5,00	7,54	63-412	4,25	3,29	3,94
6	42,3409	6,00	6,31	63-412	4,25	3,02	3,50
7	49,3977	7,00	5,42	63-412	4,25	2,76	3,06
8	56,4545	8,00	4,75	63-210	2,00	2,49	2,63
9	63,5113	9,00	4,23	63-210	2,00	2,23	2,19
10	70,5681	10,00	3,81	63-210	2,00	1,96	1,75



Gambar 10 Grafik Perbandingan Chord



Gambar 11 Grafik perbandingan Twist Angle

Perancangan sudu turbin angin diperlukan perhitungan gaya angkat dan gaya dorong dari desain tersebut dengan persamaan 18 & 19 maka akan didapatkan perhitungannya.

$$L = \frac{1}{2} \rho W^2 C_l C_r \quad (18)$$

$$D = \frac{1}{2} \rho W^2 C_d C_r \quad (19)$$

Resultant Relative Velocity ( $W$ ) pada tiap section berbeda hasilnya dikarenakan perbedaan flow indicator ( $a'$ ) yang berbeda

$$W = \sqrt{V^2(1 - a)^2 + \Omega^2 r^2(1 + a')^2} \quad (20)$$

Tabel 4 Perhitungan Gaya Angkat dan Gaya Dorong

Cross Section No.	Rotor Radius (m)	Airfoil Naca63XX	Cl	Cd	Resultant Relative Velocity (W)	Cl	Chord (m)	Lift (N)	Drag (N)
1	7,0568	63(3)-618	1.068	0.009	7.93	5,69	1.645,71	13,87	
2	14,1136	63(3)-618	1.068	0.009	11.81	5,25	6.734,28	56,75	
3	21,1704	63(3)-618	1.068	0.009	16.36	4,81	17.766,12	149,71	
4	28,2272	63(3)-618	1.068	0.009	21.14	4,38	35.975,73	303,17	
5	35,2841	63-412	0.673	0.007	26.03	3,94	38.667,52	402,19	
6	42,3409	63-412	0.673	0.007	30.98	3,50	58.407,31	607,51	
7	49,3977	63-412	0.673	0.007	35.96	3,06	80.329,01	835,52	
8	56,4545	63-210	0.891	0.012	40.96	2,63	135.163,08	1.820,38	

9	63,5113	63-210	0.891	0.012	45.89	2,19	159.098,11	2.142,74
10	70,5681	63-210	0.891	0.012	50.99	1,75	174.603,70	2.351,57

**C. Menentukan Solidity ( $\sigma$ )**

Secara pengertian, solidity merupakan area penghambatan yang terjadi pada sudu di rotor sehingga hal tersebut perlu dihitung. Dari hasil perhitungan, dapat diketahui bahwa solidity terendah terdapat pada bagian ujung chord (*tip*).

Tabel 5 Tabel Solidity

Cross Section No.	Rotor Radius (m)	Airfoil Naca63XXX	Chord (m)	Solidity
1	7,0568	63(3)-618	5,69	0,26
2	14,1136	63(3)-618	5,25	0,12
3	21,1704	63(3)-618	4,81	0,07
4	28,2272	63(3)-618	4,38	0,05
5	35,2841	63-412	3,94	0,04
6	42,3409	63-412	3,50	0,03
7	49,3977	63-412	3,06	0,03
8	56,4545	63-210	2,63	0,02
9	63,5113	63-210	2,19	0,02
10	70,5681	63-210	1,75	0,01

**D. Perhitungan Daya Mekanik Rotor**

Daya mekanis yang bekerja pada rotor turbin angin dapat dihitung melalui persamaan 21

$$Q = \rho A U_{\infty}^3 (1 - a) 2 \Omega a' r^2 \quad (21)$$

$$Q = 1.225 * 15.636,75 m^2 * 6,10 \frac{m}{s} * (1 - 0,1650) * 2 * 0.8644 * 0.1378 * 7,0568^2$$

$$Q = 1.157.277,96 Nm$$

Jadi, torsi dari rotor adalah sebesar 1.157.277,96 Nm.

**E. Pemilihan Generator**

Generator yang digunakan untuk perancangan ini adalah generator yang sudah tersedia di pasaran, dan berdasarkan kebutuhan spesifikasinya maka dipilih generator adalah tipe AMG 0040 merk ABB Helsinki.

Tabel 6 Spesifikasi Generator

Generator ABB Helsinki		
Type	AMG 0400DD04 DBPM	
Rated Voltage	400	V
Rated Power	1120	kW
Frequency	50	Hz
Speed	1500	rpm
Net Weight	2910	kg
Gross Weight	3151	kg
Dimensions	1905x1180x1565	mm
Efficiency	95,57%	

**F. Pemilihan Gearbox**

Perbandingan gearbox yang digunakan adalah dengan menggunakan merk premium yang telah dijual di pasaran, dan dengan memperhatikan beberapa faktor pemilihan gearbox yang tersedia pada spesifikasi gearbox, maka didapatkan tata cara pemilihan sebagai berikut :

Pemilihan tipe gearbox :

- Menghitung  $ratio\ gearbox = \frac{Input\ Speed}{Output\ Speed}$
- Menentukan tipe load berdasarkan tabel yang telah disediakan.
- Menentukan faktor *mechanical service* pada tabel brosur.
- Menghitung kebutuhan *mechanical power capacity* ( $P_m$ )  
 $(P_m) = 1.000\ kW \times mechanical\ service$
- Pemilihan ukuran gearbox berdasarkan tabel *rating*.  
 $(P_m)$  harus sama atau kurang dari *mechanical rating* untuk gearbox
- Menentukan faktor *thermal service* berdasarkan tabel brosur.
- Menghitung kebutuhan *thermal power capacity* ( $P_1$ )

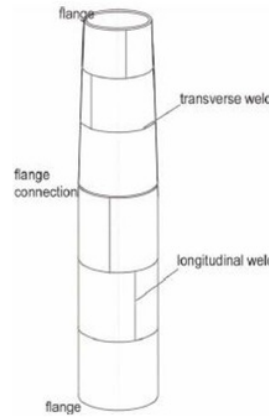
Tabel 7 Spesifikasi Gearbox

Gearbox Premium		
Type	H4 Helical Gear	
Oil Type	Mineral (Nord)	80-85 C(176-185 F)
Ratio	1 : 198	
Size	180	
Oil Capacity	17	Litre
Weight	7030	
Mechanical Rating	1250	

Dimention	2460x1100x1510	mm
Efficiency	95,6%	

**G. Ketinggian Towers**

Hasil penelitian dari balitbang jaw<sup>12</sup> engh didapatkan angin dengan kecepatan 6,1 m/s pada ketinggian 100 m di atas permukaan tanah. Sehingga, ketinggian tower dari hub menuju permukaan tanah adalah sebesar 100 m. Ukuran tower yang digunakan mengacu pada penelitian yang telah dilakukan untuk menghitung tipe ukuran tower di *on-shore* area yang memiliki kriteria menyerupai desain yang dirancang dalam penelitian ini [7]. Dari penelitian tersebut maka didapatkan desain tower adalah menggunakan tipe *welded steel* yang memang banyak digunakan pada turbin angin. Material yang digunakan untuk struktur tower adalah *steel*. Diameter atas tower yang digunakan adalah 3,0 meter dan diameter bagian bawah tower adalah sebesar 4,5 meter. Ukuran tersebut didasarkan pada persamaan kondisi seperti ketinggian hub dan juga kecepatan angin yang dimiliki.



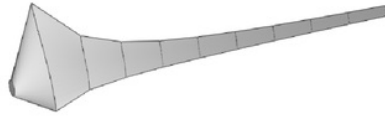
Gambar 12 Tower Tipe *welded steel*

**H. Pengujian Rotor**

Dalam perancangan ini juga dilakuka pengujian menggunakan software Qblade untuk mengetahui bentuk dari rotor serta output yang dihasilkan. Pengujian ini menguji sudu pada bentuk awal tanpa perubahan dan membandingkannya dengan sudu hasil linearisasi.

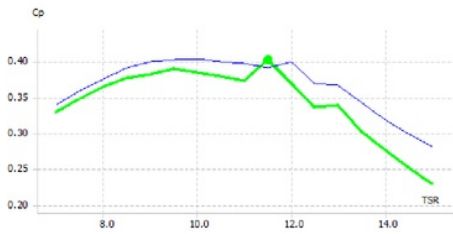
Berdasarkan hal tersebut maka didapatkan hasil sebagai berikut :



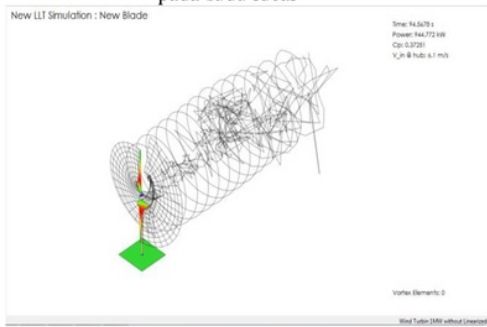


Gambar 13 Bentuk Sudu Awal

Gambar 13 terlihat bentuk dari sudu yang mengalami perbedaan cukup drastis antara *section* 1 dengan 2. Hal tersebut membuat sudu akan lebih sulit dibuat pada proses manufakturnya.

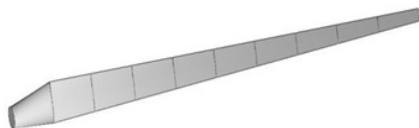


Gambar 14 Perbandingan nilai  $C_p$  dan TSR pada sudu ideal



Gambar 15 Hasil Output dari Sudu Awal

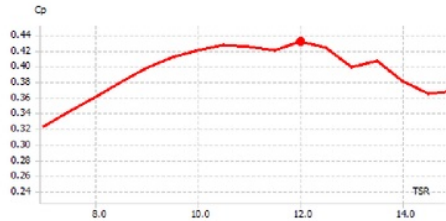
Hasil output rotor pada bentuk tanpa linearisasi menghasilkan daya sebesar 944,772 kW. Simulasi tersebut memberikan informasi lain, bahwa putaran rotor tersebut merupakan putaran yang searah dengan jarum jam (*clockWise*).



Gambar 16 Bentuk Sudu Seteah Linearisasi

Bentuk sudu turbin angin sumbu horizontal yang telah di linearisasi dari bentuk awalnya pada Gambar 16.

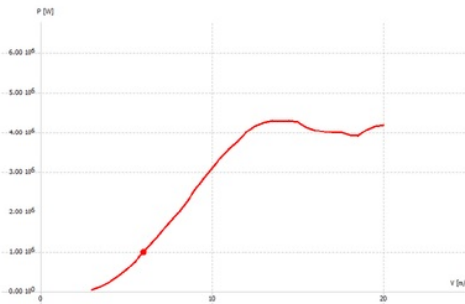
Selain bentuk dari hasil rancangan ini, terdapat grafik perbandingan antara  $C_p$  dengan *tip speed ratio* ( $\lambda$ ). Sesuai dengan gambar 17



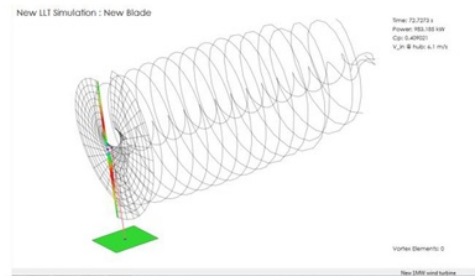
Gambar 17 Grafik perbandingan  $C_p$  dengan *Tip Speed Ratio*

Pengujian yang dilakukan dengan Qblade menghasilkan nilai  $C_p$  tertinggi pada kondisi *tip speed ratio* sebesar 12.

Nilai estimasi untuk *output* dari rotor rancangan dapat terbaca melalui Qblade seperti gambar 18



Gambar 18 Grafik estimasi *output* daya berdasarkan kecepatan angin

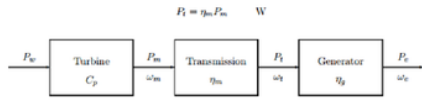


Gambar 19 Hasil Output dari Sudu Linearisasi

Hasil simulasi dengan menggunakan sudu yang telah dilakukan linearisasi menghasilkan output daya sebesar 983,155 kW.

**I. Perhitungan Efisiensi**

Penelitian ini menghitung besarnya daya yang dihasilkan setelah energi angin melewati rotor, gearbox dan juga generator dengan menggunakan skema alur energi pada gambar 20



Gambar 20 Output daya pada turbin angin sumbu horisontal

$P_m$  merupakan daya yg dihasilkan oleh turbin angin, yaitu sebesar 1.000.000 Watt. Maka untuk mengetahui besarnya *output* daya dari hasil rancangan digunakan persamaan:

$$P_e = P_m \times \eta_m \times \eta_g \tag{22}$$

$P_e$  merupakan daya *output generator power*, sementara itu  $\eta_m$  merupakan efisiensi dari transmisi dan  $\eta_g$  merupakan efisiensi dari generator. Sehingga akan didapatnya daya output sebesar.

$$P_e = 913.649,2 \text{ watt}$$

Hasil output daya dari hasil rancangan menghasilkan daya sebesar **913,65 kW**

**V KESIMPULAN dan SARAN**

**5.1 KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan untuk perancangan turbin angin, maka didapatkan hasil sebagai berikut :

1. Hasil perhitungan menghasilkan nilai luas *swept area* sebesar 15.636,75 m<sup>2</sup>. Luas area tersebut dapat menghasilkan jari-jari rotor sebesar 70,56 m. Material yang untuk sudu adalah *Solid aluminum alloy, Laminated hardwood sheathed with glass fibre reinforced plastic (GRP), Steel spar, timber fairing sheathed with Al alloy sheet*. Komponen yang dipilih untuk turbin angin sumbu horisontal adalah generator dengan merk ABB Helsinki tipe AMG 0400DD04 DBPM dengan ukuran (1905x1180x1565) untuk menghasilkan daya sebesar 1.020 kW, dan *gearbox* yang digunakan adalah jenis premium dengan tipe H4 (*Horizontal Gearbox*). Tinggi tower dari permukaan tanah menuju hub adalah sebesar 100 m dengan diameter tower atas sebesar 3,0 m dan diameter tower bagian bawah sebesar 4,5 m.

2. Daya pada rotor sebelum dilakukan linearisasi adalah sebesar 944,72 kW, dan pada sudu yang telah dilakukan linearisasi menghasilkan output daya sebesar 983,155 kW. Hasil tersebut merupakan pengujian dengan Qblade.
3. Keseluruhan nilai output dari daya setelah menghitung efisiensi yang ada pada gearbox dan generator akan menghasilkan daya sebesar 913,65 kW.

**5.2 SARAN**

1. Hasil perancangan yang telah dilakukan dengan 2 sudu dapat dilakukan pembuatan modelnya agar dapat dibandingkan dengan nilai hitungan yang telah dilakukan pada proses perancangan.

**Daftar Pustaka**

- [1] Balitbang Prov. Jateng bekerjasama dengan PT Karsa Haryamulya. *Penelitian dan Pengembangan Energi Listrik Tenaga Angin di Jawa Tengah*. 2004  
<http://www.balitbangjateng.go.id/asset/file/04f9e27afd6eaf05efea0342eab023b5.pdf>
- [2] *Laboratory*, Undergraduate Thesis Department of Engineering International Program University of Indonesia, Depok. 2013.
- [3] Musyafa, Ali, Surabaya, *Rancang Bangun Logika Fuzzy Pada Sudut Angguk Turbin Angin Untuk Optimalisasi Daya Listrik di Ladang Angin Jawa Timur – Indonesia*. 2012.
- [4] Oskarsdottir, Margret Osk, *A general Description and Comparison of Horizontal Axis Wind Turbines and Vertical Axis Wind Turbine*, Faculty of Industrial Engineering, Mechanical Engineering and Computer Science University of Iceland. 2014.
- [5] Burton, Tony, et al. *Wind Energy Handbook*. England : John Wiley & Sons, Ltd. 2001.
- [6] Engstrom, Staffan. Lyrner, Tomas. Hasanzadeh. Stalin, Thomas and Johansson, John, *Tall towers for large wind turbines*. Stockholm. 2010.
- [7] Atmadi, Sulistyono dan Fitroh, Ahmad Jamaludin, *Rancangan dan Analisis Aerodinamika Sudu Turbin Angin Kapasitas 300KW*, Pusat Teknologi Dirgantara Terapan(LAPAN).
- [8] Schubek, Peter J., dan Crossley, Richard J., *Wind Turbine Blade Design*, *Journal Faculty of Engineering, Division of Material, Mechanics and Structures*, University of Nottingham, University Park, Nottingham NG7 2rd, UK, 2012.

- [9] Statistik PLN, 2013.  
[www.pln.co.id/dataweb/STAT/STAT2013/ND.pdf](http://www.pln.co.id/dataweb/STAT/STAT2013/ND.pdf)
- [10] Al-Shemmeri, T., *Wind Turbines 1<sup>st</sup> edition*. 2010.
- [11] Ferdias, Ilham, *Development of Wind Turbine Generator Virtual*

# PERANCANGAN TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL 2 SUDU DENGAN KAPASITAS 1 MW

## ORIGINALITY REPORT

7%

SIMILARITY INDEX

7%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

4%

STUDENT PAPERS

## PRIMARY SOURCES

1	<a href="http://digilib.unila.ac.id">digilib.unila.ac.id</a> Internet Source	1%
2	<a href="http://gerbangtani.com">gerbangtani.com</a> Internet Source	1%
3	<a href="http://id.wikipedia.org">id.wikipedia.org</a> Internet Source	1%
4	Submitted to University of Iceland Student Paper	1%
5	Submitted to University of Portsmouth Student Paper	1%
6	<a href="http://media.neliti.com">media.neliti.com</a> Internet Source	1%
7	<a href="http://digilib.its.ac.id">digilib.its.ac.id</a> Internet Source	<1%
8	<a href="http://clock.uclan.ac.uk">clock.uclan.ac.uk</a> Internet Source	<1%
9	<a href="http://repository.upi.edu">repository.upi.edu</a>	

---

Internet Source

<1%

---

10

[www.scribd.com](http://www.scribd.com)

Internet Source

<1%

---

11

Submitted to University of Arizona

Student Paper

<1%

---

12

[www.slideshare.net](http://www.slideshare.net)

Internet Source

<1%

---

13

[docslide.us](http://docslide.us)

Internet Source

<1%

---

14

[anjarsubiantorosubagio.blogspot.com](http://anjarsubiantorosubagio.blogspot.com)

Internet Source

<1%

---

15

[repository.its.ac.id](http://repository.its.ac.id)

Internet Source

<1%

---

16

[dokumen.tips](http://dokumen.tips)

Internet Source

<1%

---

17

[askep--askeb.blogspot.com](http://askep--askeb.blogspot.com)

Internet Source

<1%

---

18

[swa.co.id](http://swa.co.id)

Internet Source

<1%

---

Exclude quotes

Off

Exclude matches

Off

Exclude bibliography  On