

PERANCANGAN SUDU TANGKAP TERHADAP VARIASI KECEPATAN ANGIN PADA TURBIN ANGIN

Bambang Sulaksono¹

¹Departemen Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Srengseng Sawah, Jagakarsa, DKI Jakarta 12640, Indonesia

ABSTRAK

Rancangan ini dilakukan untuk memanfaatkan energi angin yang ada di Indonesia. Tujuan penelitian ini untuk merancang turbin angin dengan pengaturan terhadap variasi kecepatan angin dengan memanfaatkan energi angin yang ada di Indonesia. Metode perancangan yang dilakukan dengan cara analisis perhitungan numerik dan gambar rancangan dengan menggunakan software AutoCAD. Software AutoCAD digunakan untuk mendisain hasil perhitungan numerik menjadi gambar detail. Berdasar data dari buku sumber *A Wind Turbine Recipe Book*, dikembangkan untuk penelitian ini. Kecepatan angin optimal berada pada ketinggian > 50 m. Analisis perhitungan numerik dari manual book menghasilkan ukuran chord airfoil dan sudut pitch airfoil. Hasil analisis tersebut digunakan sebagai variabel input untuk rancang bangun turbin angin. Hasil rancangan turbin angin ini memiliki rata-rata kecepatan angin yang bervariasi antar 3-7 m/s pada ketinggian pada ketinggian 50 m. Rotor turbin angin ini memiliki diameter 3 m dengan swept area 4,5-7,068 m² serta kecepatan putar 401 rpm. Rotor ini menggunakan jenis airfoil NREL S818 untuk bagian root, S825 untuk bagian primary, dan S822 untuk bagian tip dengan tiap bagian airfoil ini dibagi menjadi 5 segmen dengan masing-masing jarak tiap segmen (r) TIP2-TIP 1 = 300, dan tiap segmen dari Tip2 - 6 = 200. Kecepatan awalan angin untuk memutar turbin ini (cut in) sebesar 3 m/d dengan daya yang didapat sebesar 65,90 Watt pada blade utama dan 102,06 Watt pada double blade.

Kata kunci : Turbin angin, RPM Turbin, Bentuk Airfoil, Kecepatan Angin

I. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik pada era moderen ini semakin meningkat. Peningkatan kebutuhan listrik sangat besar dibandingkan dengan produksi energi listrik. Pembangkit listrik tenaga angin merupakan salah satu solusi dalam memenuhi kebutuhan energi listrik masyarakat, terutama masyarakat daerah terpencil dan pesisir pantai. Pembangkit listrik tenaga angin yang telah dikembangkan hingga saat ini hanya mampu menerima dan mengkonversikan energi angin sesuai kecepatan angin yang ada, tetapi tidak mampu memaksimalkan energi angin dengan kecepatan yang bervariasi. Bisa kita lihat pada tabel estimasi produksi energi angin terhadap luas penampang sudu (blade) seperti Tabel 1.

Tabel 1 Estimasi produksi angin terhadap daya pembangkit listrik

Kecepatan angin pada (A) turbin 2,4 m	Daya Rotor	Kecepatan angin pada (A) turbin 3,0 m	Daya Rotor
3 m/s	65,90 Watt	3 m/s	102,06 Watt
4 m/s	156,21 Watt	4 m/s	241,92 Watt
5 m/s	305,1 Watt	5 m/s	472,5 Watt
6 m/s	527,21 Watt	6 m/s	816,48 Watt
6,5 m/s	562,22 Watt	6,5 m/s	1296,54 Watt

Rancangan dibuat untuk kecepatan angin 3 m/s - 6,5 m/s dengan diameter bentangan sudu (blade) 2,4 m. Dan 3 m/s - 5 m/s untuk diameter bentangan sudu (blade) seperti terlihat pada tabel diatas. Maka perancang ingin mengkombinasikan suatu turbin angin agar dapat memaksimalkan energi angin dengan variasi kecepatan angin untuk pembangkitan energi listrik dengan daya 700 Watt.

Perubahan yang terjadi pada angin baik kecepatan maupun arah angin membutuhkan sudu yang mampu bekerja secara maksimal sebagai rotor dengan potensi angin yang bervariasi, untuk memaksimalkan kerja generator, sehingga nilai efisiensi pembangkit listrik tenaga angin semakin tinggi. Banyak jenis dan model turbin angin yang digunakan di era moderen ini dengan kelebihan dan kekurangan masing-masing. Begitu juga dengan tipe turbin angin sistem pengaturan pada sudu tangkap terhadap variasi kecepatan angin yang diteliti. Tiap sudu turbin dirancang untuk menyerap energi angin yang ada. Apabila kecepatan angin rendah maka diperlukan ukuran sudu yang lebih panjang, tujuannya agar luas penampang sudu (Swept Area) bertambah terhadap tangkapan energi angin. Apabila daya tangkap sudu terhadap angin semakin maksimal maka putaran generator bekerja secara maksimal memproduksi energi listrik.

Batasan masalah yang dibahas pada penelitian ini adalah material sudu turbin terbuat dari bahan utama kayu alam, perancangan sudu, sistem pengatur perubahan panjang *blade*, perbandingan dimensi sudu 2400 mm dan 3000 mm terhadap produksi energi angin. Tujuan utama dari penelitian

ini adalah mengoptimalkan kecepatan dan arah angin, mengetahui perubahan energi terhadap perubahan sudu, dan gambar desain sudu.

II. LANDASAN TEORI

II.1. Pengertian Turbin Angin

Turbin angin merupakan suatu alat konversi energi, yang digunakan pada industri pembangkit listrik, penggerak pompa dan industri penggilingan padi. Baik buruknya kinerja turbin angin bergantung dari desain turbin terhadap potensi energi angin yang tersedia.

II.2. Klasifikasi Turbin

1. Turbin Angin Sumbu Vertikal
2. Turbin Angin Sumbu Horizontal

II.3. Wind Turbulence

Dalam perancangan turbin angin jenis apapun harus memperhatikan turbulensi turbin terhadap angin, karena turbulensi angin memiliki dampak yang kuat pada fluktuasi output daya dari turbin angin. Dengan demikian dapat mengurangi life time turbin yang diharapkan, atau mengakibatkan kegagalan pada kerja turbin angin.

II.4. Gaya Aerodinamik Pada Sudu

Ada dua macam gaya yang menggerakkan sudu turbin angin, yaitu gaya *lift* dan *drag*. Gaya *lift* adalah gaya pada arah tegak lurus terhadap arah aliran yang dihasilkan ketika fluida bergerak melalui benda berpenampang *airfoil*. Jika penampang *airfoil* menyapu udara dengan kecepatan tertentu maka tekanan udara pada bagian atas sayap akan lebih kecil dari bagian bawah pesawat, hal ini menyebabkan adanya gaya angkat pada sayap tersebut yang disebut gaya *lift*. Sedangkan gaya *drag* adalah gaya hambat yang arahnya berlawanan dengan arah gerak benda.

Turbin angin jenis *drag* umumnya memiliki koefisien daya yang relatif rendah karena banyak terjadi rugi-rugi yang ditimbulkan oleh turbulensi yang terjadi. Kecepatan putar rotornya juga relatif rendah. Turbin angin jenis *lift* memiliki koefisien daya yang relatif besar dan kecepatan sudut rotor yang relatif tinggi dibandingkan dengan turbin angin jenis *drag*

$$L = \frac{1}{2} C_{L,\rho} A.v^2$$

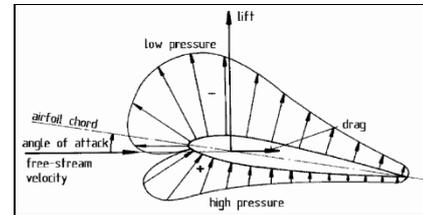
dan

$$D = \frac{1}{2} C_{D,\rho} A.v^2$$

dimana:

L = gaya *lift* [N]

- D = gaya *drag* [N]
 ρ = Masa Jenis Udara [kg/m]
 A = Swept area [m]
 v = Kecepatan angin [m/s]
 C = Coefisien Lift



Gambar 1 Gaya aerodinamik pada sudu yang dilalui aliran udara

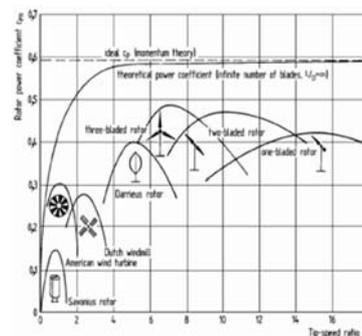
II.5. Tip Speed Ratio (Rasio Kecepatan Ujung)

Tip speed ratio (rasio kecepatan ujung) adalah rasio kecepatan ujung sudu terhadap kecepatan angin bebas. Kecepatan angin nominal yang tertentu, tip speed ratio akan berpengaruh pada kecepatan putar sudu. Turbin angin tipe *lift* memiliki tip speed ratio yang relatif lebih besar dibandingkan dengan turbin angin tipe *drag*.

$$\lambda = \frac{\pi.D.n}{60.v}$$

Dimana:

- λ = tip speed ratio
 D = diameter sudu [m]
 n = putaran sudu [rpm]
 v = kecepatan angin [m/s]



Gambar 2 Nilai koefisien daya dan tip speed ratio

II.6. Profil Airfoil

Profil airfoil adalah elemen penting dalam konversi energi angin. Profil airfoil memberikan nilai koefisien drag yang kecil jika dibandingkan dengan lift yang diberikan. Terdapat beberapa variabel yang dinyatakan dalam menggambarkan bentuk airfoil diantaranya panjang profil airfoil (chord), ketebalan (thickness), dan kelengkungan (chambers). Bentuk airfoil untuk turbin angin umumnya melengkung pada bagian atas dan lebih datar atau bahkan cekung pada bagian bawah, ujung tumpul pada bagian depan dan lancip pada bagian belakang. Bentuk airfoil yang demikian menyebabkan kecepatan udara yang melalui sisi atas akan lebih tinggi dari sisi bawah

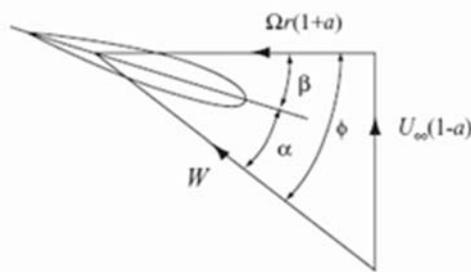
sehingga tekanan udara di bagian atas akan lebih kecil daripada kecepatan udara di bagian bawah.

Penampang sudu airfoil memungkinkan efisiensi yang tinggi. Untuk turbin angin, profil airfoil yang digunakan tergantung pada beberapa pertimbangan diantaranya aspek koefisien daya yang ingin dicapai, aspek estetika, dan aspek keterbuatan.



Gambar 3. Bentuk *airfoil ls 1* (mod)

II.7. Geometri Sudu



Gambar 4 Elemen kecepatan yang terjadi pada sudu

Untuk menentukan sudut *pitch* β dapat digunakan persamaan :

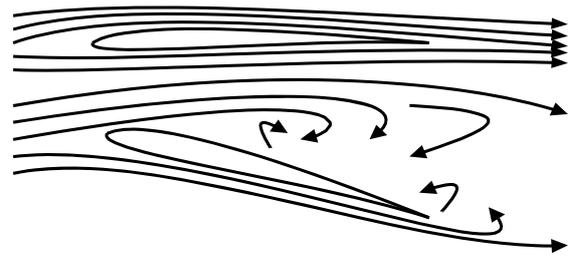
$$\beta = U_{\infty} r \tan \alpha \cdot \frac{2R}{3rD} = \alpha$$

Dimana :

- α = sudut serang [$^{\circ}$]
- R = jari-jari rotor [m]
- r = jarak dari pusat rotasi [m]
- λ = *tip speed ratio*

II.8. Fenomena Stall

Stall dapat dipahami sebagai fenomena ketika sudut serang sangat besar atau kecepatan aliran terlalu besar sehingga udara tidak bisa mengalir laminar, aliran udara tidak bisa menyentuh bagian belakang sudu sehingga terjadi separasi aliran pada bagian belakang sudu. Situasi ini secara signifikan menurunkan lift dan meningkatkan drag sehingga putaran sudu terhambat.



Gambar 5 Fenomena *Stall* pada sudut *pitch* tertentu [11]

II.9. Material Dasar Sudu

Bahan dasar pembuatan sudu beragam dengan kayu alam sebagai material utama dan bahan komposit lainnya seperti PVC rel turbin dan HDPE untuk roda gigi pada rel pengatur. Dari pertimbangan penulis memilih bahan kayu alam sebagai material dasar turbin.

II.9.1. Material Komposit Nylon

Dalam keadaan tidak plastik nylon sangat kenyal dan keras, namun apabila dipanaskan maka nylon akan fleksibel dan mengaret, ini sifat yang baik dari nylon yang memberikan dimensi yang stabil, dan sifat yang tahan terhadap air, asam dan bahan pelarut lainnya. Sifat yang kaku atau rigid dan dapat mempertahankan bentuknya, nylon sangat cocok digunakan pada berbagai jenis moulding. Nylon juga dapat digunakan sebagai pelapis permukaan dan pelapis bocor. Pada umumnya nylon lebih sering digunakan pada pembuatan pipa dan safety helm.

II.9.2. Material Kayu Alam dan Pemilihan Jenis Kayu

Bahan alam (kayu) merupakan bahan baku produk yang digunakan secara langsung dari alam, oleh karena itu sifatnya akan tetap sama dengan bahan asalnya yaitu ringan, kaku, namun material kayu tidak tahan terhadap air dan rayap, maka dibutuhkan penanganan khusus untuk memepajang umur turbin. Kayu yang dipilih tanpa banyak simpul urat kayu / buku kayu, karena akan sulit dalam pengerjaan. Rancangan ini menggunakan kayu pohon pinus. Pohon pinus berukuran besar dan memiliki sedikit buku pada batang pohonnya. Pemilihan kayu yang baik pada perancangan ini sangat dibutuhkan untuk mendapatkan berat tiap - tiap sudu yang sama dan presisi.

Tabel 2: Ukuran Minimum Potongan Kayu Awal [1]

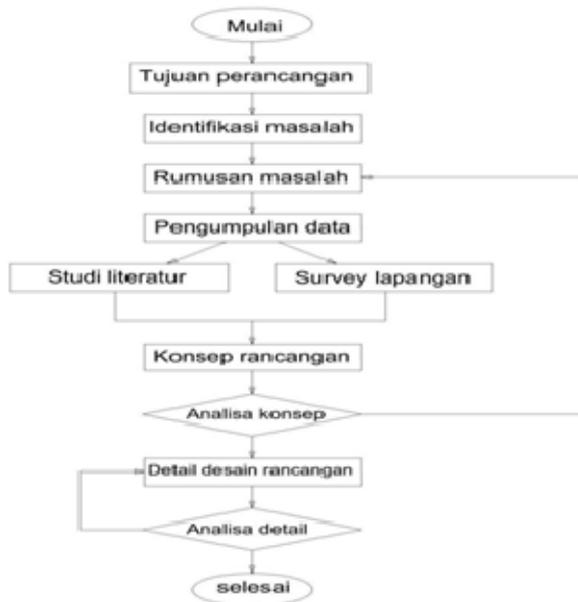
Ukuran Minimum Kayu untuk sudu (mm)						
Diame ter Turbin	1200	1800	2400	3000	3600	4200

Lebar	95	95	125	145	195	225
Tebal	35	35	40	45	60	75
Panjang	600	900	1200	1500	1800	2100

III. METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Diagram Alir Rancangan

Dalam perancangan ini metode penelitian yang diperlihatkan alir penelitian rancangan turbin adalah sebagai berikut seperti pada diagram di bawah.



Gambar 6 Diagram alir rancangan

IV. PERANCANGAN TURBIN ANGIN DENGAN PENGATURAN VARIASI KECEPATAN ANGIN

IV.1. Menentukan Kecepatan Angin

Pembangkitan energi listrik membutuhkan nilai minimum energi yang konstan. Tetapi untuk mendapatkan efisiensi pembangkitan yang tinggi bergantung pada diameter dan bentuk profil turbin terhadap paparan energi angin yang tersedia. Turbin angin ini digunakan untuk pembangkitan listrik di Indonesia dengan kecepatan angin 6,13 m/s. Dengan daya generator 700 W.

Tabel 3: Kecepatan Angin Rata - Rata di Indonesia

No	Lokasi	Kecepatan Rata - Rata (M/S)
1	Desa KEMADANG, Kec. Tepus, Kab. G. Kidul, DIY	5,11
2	P. KARYA, Kep. Seribu DKI	5,34

3	Desa BINANGEUN, Kec. Muara, Kab. Lebak, BANTEN	5,24
4	UPT OITUI, Kec. Wira, Timur, Kab. Bima, NTB	4,99
5	Desa PAI, Kec. Wera, Kab. Bima, NTB	4,04
6	Desa LIBAS, Kec. Likupang, Kab. Minahasa, SULUT	3,44
7	Desa PATIRONG, Kab. Jeneponto, SULSEL	5,99
8	34 Dusun APPATANAH, Kab. Selayar, SULSEL	7,33
9	Sakteo, Soe NTT	6,13
10	Papagarang, Komodo, Komodo, Manggarai, NTT	3,78
11	Tameras, Soe, NTT	7,62
12	Fatukalen, Timor Tengah Selatan, NTT	1,,45

IV.2. Perhitungan Daya Maksimum Rotor Turbin

Tabel 4 Perbandingan Diameter Sudu Terhadap Daya Output Turbin

Kecepatan angin pada (A) turbin 2,4 m	Daya Rotor	Kecepatan angin pada (A) turbin 3,0 m	Daya Rotor
3 m/s	65,90 Watt	3 m/s	102,06Watt
4 m/s	156,21 Watt	4 m/s	241,92 Watt
5 m/s	305,1 Watt	5,5 m/s	698,77 Watt
6 m/s	527,21 Watt	6 m/s	816,48 Watt
6,5 m/s	670,30 Watt	6,5 m/s	1038,08 Watt

IV.3. Menentukan Tip Speed Ratio dan Coefisien Power

Untuk menentukan tip speed ratio dan coefisien power, digunakan grafik perbandingan antara TSR dan CP untuk turbin angin horisontal dengan 3 sudu. Dengan melihat gambar 2.9 didapatkan nilai TSR dan CP dengan nilai

TSR = 9 dan

Cp = 0.45

IV.4. Kecepatan Putar Rotor

Untuk menentukan kecepatan putar rotor dengan kecepatan angin rata-rata 7(m/s) maka dapat kita hitung dengan menggunakan persamaan dan data sebagai berikut :

$$n = \frac{60 \lambda v}{\pi D}$$

Dengan data

D = 3 [m]

Kecepatan angin rata-rata = 7 [m/s]

Nilai TSP = 9

maka:

$$n = \frac{60 \times 9 \times 7}{\pi \times 3} = 401 [rpm]$$

IV.5. Perancangan Rotor

Penentuan diameter rotor perancangan mangacu pada .A Wind Turbine Recipe Book Baik bentuk maupun keindahan struktur seperti pada tabel II.2 dengan diameter sudu 2,4m - 3m. Bila sudu dibagi menjadi lima bagian sama rata, untuk memudahkan dalam membuat garis pedoman (Guideline) seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah. Proses pembuatan turbin dilakukan secara manual dengan peralatan perkakas tangan seperti yang dijelaskan pada bab sebelumnya. Material dasar kayu pohon Pinus dengan dimensi

1. Blade 1

Panjang = 1200 mm

ketebalan awal = 35 [mm]

Lebar = 200 [mm]

2. Blade 2

Panjang = 300mm,

Tebal = 10 [mm]

Lebar = 50 [mm]

Gambar dibawah adalah bentuk dasar blade pada tahap pengerjaan awal marking dan pemebentukan sebelum ketahap pengerjan pembentukan air foil sudu seperti pada gambar di bawah.

IV.6. Perancangan Rel Pengatur Kecepatan Turbin

Rel pengatur kecepatan variasi angin disambung terhadap blade sebagai bantalan lancar. Jenis sambungan menggunakan sambungan paku keling jenis rivet. Untuk menghindari kegagalan sambungan, berikut diuraikan perhitungan pada sambungan.

IV.6.1. Tegangan Geser yang terjadi pada paku keling

fs = ? = 0,40

N = m.g+ F Angin = 72,077 [N]

fs = N x = 43,866 [N]

IV.6.2. Perhitungan Diameter Poros Rel

- Poros yang digunakan menggunakan bahan S30C-D diketahui tegangan tarik

$$\sigma_B = 58 (KG / mm^3) ,$$

- dan faktor keamanan untuk tegangan geser ijin

Sf1 = 6,0 dan Sf2 = 2,0

- P = 0,025 (KW) dan Torsi = 180 [rpm]

- Fc = 1,0 [Gaya Normal]

- Pd = 1,0 x 0,025 = 0,025 [kW]

- T = 9,74 x 10⁵ x 0,025 x 180 = 135,27[kg.mm]

- Tegangan geser yang diijinkan

$$\tau_a = 58 : (6 \times 2) = 4,83 [kg.mm^2]$$

- Cb = 2,0 dan Kt = 1 (dari tabel standar ASME)

$$d_s = \left\{ \frac{5,1}{\tau_a} \cdot Kt \cdot Cb \cdot T \right\}^{1/3}$$

$$d_s = \left\{ \frac{5,1}{4,83} \cdot 2,0 \cdot 1 \cdot 135,27 \right\}^{1/3}$$

Jadi ds = 6,5 [mm]

IV.6.3. Perancangan Puli dan Sabuk Transmisi

Diameter lingkaran jarak bagi puli. Untuk penampang sabuk V belt yang dibuat adalah bulat, dengan

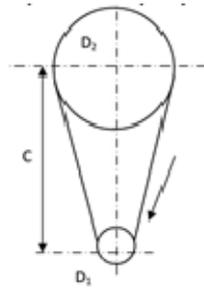
diameter V belt = 4 mm

diameter puli penggerak (D1) = 10 mm

Diameter puli yang digerakan(D2) = 10 mm

Putaran puli penggerak (n1) = 180 [rpm]

Daya motor = 25 [W](0,0335) [Hp]



Gambar 7 Sabuk dan puli

IV.6.4. Kecepatan Putar (rpm) puli yang digerakan

$$n_2 = \frac{D_1 \cdot n_1}{D_2} =$$

$$n_1 = \frac{10 \times 180}{10} = 180 [rpm]$$

IV.6.5. Kecepatan Keliling Puli Penggerak (V-Pull)

$$V_p = \frac{\pi \times D_1 \times n_1}{60000} =$$

$$V_p = \frac{3,14 \times 10 \times 180}{60000} = 0,0942 [m/s]$$

IV.6.6. Gaya Keliling Yang Timbul

$$F = \frac{102 \times 0,025}{0,0942}$$

$$F = 27 [kg]$$

IV.6.7. Panjang V-belt

$$L = 2\bar{a} + \frac{\pi}{2} (D_2 + D_1) + \left(\frac{D_2 - D_1}{4\bar{a}} \right)^2$$

Dimana \bar{a} = arak pporos = 110 [cm]

$$\text{Maka } L = 2 \times 1100 + \frac{3,14}{2} + 20 + \left(\frac{20}{4 \times 1100} \right)^2$$

$$L = 220 + 1,57 + 20 + 0,045$$

$$L = 2221,5 [mm]$$

IV.6.8. Sudut Kontak V-Belt Puli (α)

$$\alpha = 180 - \left\{ \frac{(d_{pull2} - d_{pull1})}{a} \right\} \times 60^\circ$$

Dimana : \bar{a} = 1100 mm (jarak antar sumbu puli)

$$d_{pull2} = 10 \text{ mm}$$

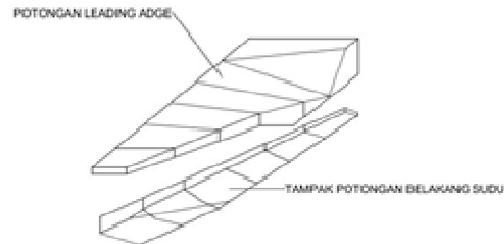
$$d_{pull1} = 10 \text{ mm}$$

$$\text{Maka : } \bar{a} = 180^\circ - 60^\circ = 120^\circ$$

IV.7. Perancangan Hub dan Airfoil Shaper

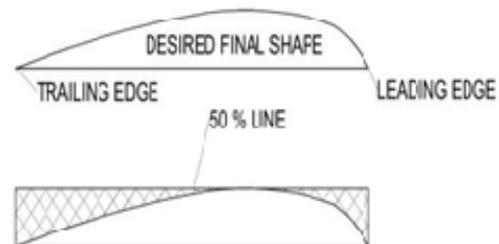
IV.7.1. Rancangan Guideline Suda Muka Atas dan Belakang (Leading Edgen & View Of Back Blade)

Memotong muka bagian atas kayu dimulai dari pangkal blade (root) dan menuju sampai pada Tip (ujingsudu) ketika proses mengukir atau memotong dikerjakan dengan hati-hati dan ketelitian sesuai dengan guideline (Garis Pedoman) yang sudah dibuat seperti yang ditunjukkan pada gambar (4.6) dengan ukuran seperti pada tabel IV.10 dengan Airfol Shaper yang akurat.



Gambar 8 The Leading and Back of Blade

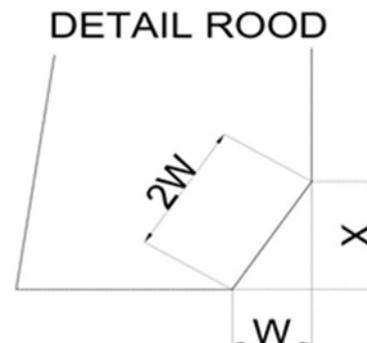
Mulailah pemotongan dengan ukuran kasar dan kemudian membuatnya menjadi halus ketika mendekati guideline. Pada bagian belakang suda keakuratan dapat diukur dengan Airfoil Shaper.



Gambar 9 Airfoil shaper

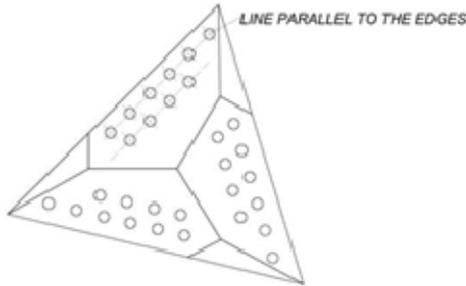
IV.7.2. Rancangan Detail Hub dan Rood Suda

Tahap pertama buatlah guideline pada material hub, periksa terlebih dahulu trailer dari roodsuda sehingga membentuk 120 derajat pada masing-masing blade yang akan menjadi pola ukuran dari triangle side.



Gambar 10 Detail of rood

Ukuran W dan X dapat dilihat pada gambar (4.8), buatlah Lubang baut pra-pegeboran. Kancingkan sekrup 5 mm yang menahan pisau bersama-sama pada lubang tersebut. Lubang dibuat dengan drill - press (pilar drill). Jika memungkinkan tiap blade tegak lurus terhadap permukaan. Mulailah dengan lubang untuk kancing pemasangan yang panjang, diikuti dengan proses pengeboran dengan mata bor 5mm menyesuaikan ukuran dari baut pengikat. Proses pengeboran lubang baut dilakukan dengan teliti dan tidak terjadi over size karena membutuhkan diameter lubang yang presisi.



Gambar 11 Triangle Hub Blade

Jarak tiap lubang baut 25 mm dengan jumlah baut yang terpasang 27 buah. Ketebalan triangle dan disk hub ini dapat dilihat pada tabel (4.10) dimana ukuran hub yang dipakai dalam perancangan ini dengan diameter turbin 2400 mm dengan pertimbangan bahwa dimensi hub dapat menahan beban kerja bila diameter turbin menjadi 3000 mm.

Tabel 5: Dimensi Hub Turbin

Dimensi kayu alam		
Diameter Turbin	2400	3000
Ketebakan	12	12
Diameter Disk	250	300
Triangle side	357	446

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan serta pemilihan beberapa komponen untuk perancangan turbin angin ini, maka didapatkan hasil sebagai berikut:

1. Kecepatan angin rata –rata yang ada di Indonesia yang digunakan untuk merancang ini adalah sebesar 6,5 [m/s] dengan ketinggian 50 [m]. Nilai *tip speed ratio* (λ) adalah 9.
2. Hasil rancangan turbin angin ini menghasilkan nilai *swept area maksimal* rotor sebesar 7,068 [m²]. Luas area tersebut memiliki jari – jari rotor sebesar 150[cm]

dengan diameter hub 24 [cm]. Rotor ini mempunyai kecepatan putar sebesar 401 [rpm]. Rotor turbin angin ini menggunakan penampang *airfoil LS-1(mod)*

3. Keseluruhan nilai *output* daya untuk rancangan ini adalah 670,30 [Watt] diameter turbin 240 [cm] dan kecepatan angin 6,5 [m/s]. 698,77 [Watt] diameter turbin 300 [cm] dan kecepatan angin 5,5 m/s

DAFTAR PUSTAKA

1. A Wind Turbine Recipe Book_zbook.in.pdf
2. Hau Eric. 2005. Wind Turbines Fundamental, Technologies, Application, Economics 2nd Edition. Springer
3. 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.
4. Heier, Siegfried (2005). Grid Integration of Wind Energy Conversion Systems. Chichester: John Wiley & Sons.
5. Tony Burton, et. Al. 2001. Wind Energy Hand Book, John Willey & Sons.
6. Atmadi, Sulistyoyo, et. Al. Rancangan Bangun Rotor Turbin Angin 10 kW untuk Memperoleh Daya Optimum pada Variasi Jumlah dan Diameter Sudu. Peneliti Pusat Teknologi Dirgantara Terapan, LAPAN
7. A. K. Azad and M. Masud Kayzar. 2012. *Design of a Horizontal Axis Wind Turbine fo Electricity Generation in Low Speed Windy Sites*. Department of Mechanical Engineering, Bangladesh University of Engineering and Technology, Dhaka-1000, Bangladesh
8. BONENG, P Series Planetary Gear Units, 04/2014
9. Ginting, Dines. 2010. Rancangan Awal dan Analisis Bentuk Sudu Turbin Angin 50 kW. Peneliti Pusat Teknologi Dirgantara Terapan, LAPAN
10. Atmadi, Sulistyoyo, et. Al. Rancangan dan Analisis Aerodinamika Sudu Turbin Angin Kapasitas 300 kW. Peneliti Pusat Teknologi Dirgantara Terapan, LAPAN

