

# Pembuatan dan Studi Kelayakan Ekonomi Prototype Turbin Angin Tipe Helix Sebagai Alternatif Pembangkit Listrik dengan Studi Kasus Daerah Bandar Lampung, Lampung Indonesia

Martinus, M.Sc.

Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Mesin Universitas Lampung  
Jl. Soemantri Brojonegoro No.1 Bandar Lampung, martinus@unila.ac.id

## ABSTRAK

Tingginya kebutuhan migas yang tidak diimbangi oleh kapasitas produksinya menyebabkan kelangkaan bahan bakar migas sehingga terjadi kenaikan harga. Pemerintah maupun swasta di hampir semua negara kemudian berpacu untuk membangkitkan energi dari sumber-sumber energi baru dan terbarukan untuk menjaga ketahanan energi negaranya. Salah satu energi alternatif yang belum dimanfaatkan secara baik di Indonesia adalah energi angin. Pembuatan turbin angin yang dimanfaatkan sebagai alternatif pembangkit listrik dapat menggunakan jenis turbin angin yang murah dan aman. Turbin angin yang dibuat merupakan tipe helix ini menggunakan tiga buah turbin angin yang memiliki dua variasi bentuk dengan bahan ringan terbuat dari kain kedap udara. Pertama dengan variasi bentuk setengah lingkaran yang mengadopsi dari bentuk turbin savonius. Dan bentuk yang kedua adalah bentuk sudu lurus. Dari kedua jenis variasi bentuk sudu ini akan dihitung kelayakan terhadap ekonominya bila dimanfaatkan sebagai alternatif pembangkit listrik selama 10 tahun.

Angin yang berhembus sepanjang tahun di daerah Bandar Lampung berkisar 4 m/s yang dapat menghasilkan daya sebesar 84,43 Watt untuk turbin vertikal tipe helix dengan variasi sudu lurus, sedangkan 98,4 Watt untuk turbin angin vertikal tipe helix dengan variasi sudu setengah lingkaran. Untuk mencukupi kebutuhan listrik rumah tangga sederhana yang mengalokasikan daya 300 Watt, Untuk mencukupi kebutuhan listrik rumah tangga sederhana turbin tipe helix ini harus menggunakan 4 buah turbin angin dengan investasi total sebesar Rp 8.196.000,-. Dengan menggunakan kriteria payback periode (PBP) jenis turbin angin ini layak secara ekonomi dengan jangka pengembalian investasi selama 2,8 tahun. Dengan menggunakan metoda lain yaitu dengan metoda kriteria nilai bersih sekarang (NPV) dengan menggunakan bunga bank sebesar 12 % mendapat keuntungan sebesar Rp 425.355,- dalam jangka waktu 10 tahun, bila menggunakan kriteria benefit cost ratio (BCR) turbin angin ini bernilai 1.05 yang berarti layak secara ekonomi menurut metoda BCR, sedangkan untuk menentukan Kriteria internal rate of return (IRR) bernilai 13,55 % yang lebih besar bila dibandingkan dengan suku bunga bank.

Kata kunci: Pembuatan, Turbin angin tipe Helix, Kecepatan angin, Daya listrik, Payback Period, Net Present Value, Benefit Cost Ratio, Internal rate of return.

## 1. PENDAHULUAN

### A. Latar Belakang

Tingginya kebutuhan migas yang tidak diimbangi oleh kapasitas produksinya menyebabkan kelangkaan bahan bakar migas sehingga terjadi kenaikan harga. Pemerintah maupun swasta di hampir semua negara kemudian berpacu untuk membangkitkan energi dari sumber-sumber energi baru.

Berdasarkan data LAPAN (Daryanto, 2005), angin di Indonesia memiliki kecepatan yang bervariasi, umumnya dikategorikan sebagai angin berkecepatan rendah. Penelitian sistem konversi energi angin (SKEA) kecepatan rendah belum banyak dilakukan di Indonesia, padahal ada beberapa lokasi yang mempunyai kecepatan angin rendah secara kontinu yang dapat digunakan sebagai pembangkit listrik.

### B. Tujuan Penelitian

Membuat *prototype* rotor turbin angin tipe *helix* dengan sistem modul. Serta, mengetahui kelayakan ekonomi *prototype* rotor turbin angin tipe *helix*.

### C. Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dari penelitian ini adalah :  
1) Rotor turbin angin tipe *helix* dianggap ideal dengan umur pakai hingga 10 tahun.  
2) Generator menggunakan arus AC.  
3) Rotor jenis vertikal axis.  
4) Suku bunga bank tetap.  
5) Validasi arus yang digunakan menggunakan pemakaian rata-rata standar rumah sederhana yaitu 300 watt.  
6) Daya yang diukur merupakan daya keluaran generator.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### Kecepatan Angin

Kecepatan angin dinyatakan dengan satuan *knot* atau m/s. fenomena angin di laut atau di daratan diklasifikasikan



dengan bilangan *Beaufort* (Bn) seperti ditunjukkan pada dimana untuk angin dengan kecepatan 3,5-5,0m/s bilangan Bn 3 atau angin sepoi-sepoi serta kecepatan 5,5-8,0m/s bilangan Bn 4 atau angin sepoi-sepoi sedang. (*Wind Power Plant*,1982)

Sebelum kita melakukan pengukuran di suatu tempat kita dapat memprediksi atau mengamati kecepatan angin terlebih dahulu, dengan mengamati fenomena alam yang terjadi di tempat tersebut.

### Energi Angin yang Tersedia

Kita harus mulai dengan dua konsep pokok energi, atau energi per satuan waktu, dan energi yang mana tersedia sepanjang periode waktu yang ditentukan. Energi kinetik dalam aliran udara yang tegak lurus terhadap luas daerah tertentu adalah  $\frac{1}{2} \rho V^2$  per satuan massa atau  $\frac{1}{2} \rho V^2$  per

satuan volume. Untuk setiap aliran udara persatuan luas A laju aliran massanya sebesar  $\rho AV$ , oleh karena itu

$$\text{Daya, } W = (\rho AV) \frac{1}{2} V^2 = \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (1)$$

Dimana  $\rho$  =densitas udara (kg/m<sup>3</sup>)

V = kecepatan angin

W = daya (watt atau joule/detik)

Daya juga diketahui sebagai perubahan energi atau rapat daya di udara. Massa jenis udara  $\rho$  merupakan sebuah

fungsi dari tekanan dan temperatur udara. Tekanan dan temperatur merupakan fungsi dari ketinggian di atas permukaan laut. Dengan mengambil satu jenis massa jenis udara pada permukaan laut 1,2 kg/m<sup>3</sup>, daya diperoleh  $W = 0,6 V^3$  per satuan luas (2)

Pada saat kecepatan angin V energi diukur dalam watt-detik yang mengalir melalui luas A selama waktu t ;

$$\text{Daya, } W_t = \frac{1}{2} \rho A V^3 t \quad (3)$$

Nilai ini adalah total energi yang dicapai untuk kerja turbin angin. Tetapi pada proses kerja turbin angin ini tidak ada perubahan temperatur udara. Hal ini juga berlaku pada turbin air. Pada kedua contoh tersebut energi diekstra menggunakan perubahan pada kecepatan fluida, tidak sampai mengalami perubahan temperatur. Ini tidak dapat disamakan dengan contoh turbin gas dan turbin uap panas.

### Turbin Angin

Secara umum turbin angin diklasifikasikan menjadi dua jenis ; sumbu horizontal dan sumbu vertikal. Jenis sumbu horizontal sudu berputar pada sumbu yang sejajar dengan tanah sedangkan jenis vertikal sudu berputar pada sumbu yang tegak lurus dengan tanah.

### Teori Betz

A Betz dalam bukunya “*die Windmuhlen im Lichte neuerer Forschung. Die Naturwissenschaft*” (1927) dianggap sebagai sarjana yang pertama memperkenalkan teori tentang turbin angin. Ia mengasumsikan bahwa, suatu turbin ideal merupakan rotor tanpa naf (*hub*) dan mempunyai sudu-sudu yang tak terhingga jumlahnya tanpa hambatan. Juga diasumsikan bahwa, aliran udara di depan dan di belakang rotor memiliki kecepatan yang seragam (aliran laminar).

Daya W adalah total energi satu per satuan waktu dalam aliran udara, hanya sebuah besaran yang dapat dikonversikan untuk pemanfaatan energi dengan kincir angin. Daya yang diberikan kepada kincir angin sebanding terhadap perubahan energy kinetik udara yang melewati rotor. Dengan mempertimbangkan arus aliran yang sederhana saluran baling-baling tertutup.

Dari teori Betz di atas maka diperoleh persamaan umum daya turbin angin

$$\text{Daya, } W = C_p \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (4)$$

$$\text{Dimana } A = \pi \frac{D^2}{4}$$

### Rotor

Bagian dari turbin angin yang mengumpulkan energi dari angin disebut dengan rotor (baling-baling). Rotor biasanya terdiri dari dua atau lebih sudu yang terbuat dari kayu, *fiberglass* atau logam berkeliling sumbu (horizontal atau vertikal). Sudu-sudu dipasang pada naf (*hub*), yang menempel pada poros utama. Rotor didesain berdasarkan prinsip dasar *drag* dan *lift*.

Pada sudu jenis *drag* angin mendorong sudu keluar alurnya. Jenis *drag* ini biasanya dikenal dengan karakteristik putaran (rpm) lambat dan kapasitas torsi yang tinggi. Kegunaan jenis ini untuk memompa, pekerjaan menggergaji atau menggerinda (di Belanda), pertanian (*windmills*).

Sudu *lift* dikembangkan sama dengan prinsip dasar yang dimiliki pesawat, layangan dan burung untuk terbang. Sudu sebagai *airfoil*, atau sayap. Ketika udara melewati sudu, kecepatan angin dan perbedaan tekanan terjadi antara permukaan atas dan permukaan bawah sudu. Tekanan pada bagian bawah lebih besar dan mengakibatkan sudu terangkat. Ketika sudu-sudu dipasang pada sumbu utama, sama seperti baling-baling kincir angin, gaya angkat diubah menjadi putaran. Jenis *lift* ini memiliki putaran (rpm) yang lebih tinggi dari jenis *drag*.

Jumlah sudu rotor dan luas total yang ditutup sudu mempengaruhi performansi kincir angin. Untuk jenis baling-baling *lift* untuk mengefektifkan fungsinya, angin



harus mengalir perlahan terhadap sudu. Untuk mencegah turbulen, ruang antara sudu harus lebih besar maka satu sudu tidak akan menghalangi aliran, aliran udara lemah disebabkan sudu telah dilewati sebelumnya.

### 3. PABRIKASI DAN PENELITIAN

#### A. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Mekanik Teknik Mesin Universitas Lampung dan daerah perbukitan Gunung Betung Bandar Lampung pada bulan November 2009 sampai dengan April 2010.

#### B. Bahan yang Digunakan

Bahan- bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah 1.

Besi poros dengan diameter 0.75 inchi dengan panjang 135 cm yang didasari oleh hasil perhitungan tinggi dari rotor turbin angin. Kain parasut sebagai layar dari sudu. Pemilihan bahan ini dikarenakan kain parasut tidak dapat ditembus oleh angin dengan harapan memiliki nilai *drag koefisien* yang tinggi. *Bearing* dengan tipe UCF 204. Besi siku, yang berfungsi sebagai bahan dasar pembuatan *tower* dengan ukuran 40 mm x 40 mm x 3 mm. Besi dengan diameter 10 mm yang digunakan untuk tulangan dari *blade*. Baut M10 x 50 sebagai pengait antara tulangan *blade* dengan besi poros. Generator AC yang digunakan sebagai pengkonversi dari energi kinetik menjadi energi listrik

#### C. Alat yang Digunakan

Gergaji, bor, gerinda, meteran, las listrik, dan ragum.

#### D. Alat Ukur

Anemometer, tachometer, dan multimeter.

#### E. Dimensi Turbin Angin

Berdasarkan penelitian terdahulu yang diteliti oleh Tedjo Narsoyo Reksoatmojo yang berjudul *Vertical-Axis Differential Drag Windmill*, telah didapat persamaan daya yang dihasilkan untuk sebuah turbin angin vertikal axis

$$P = -\frac{1}{2} \rho A [C_{d1}(V - C)^2 C - C_{d2}(V + C)^2 C]$$

(18)

$$P = -\frac{1}{2} \rho A [C_{d1}(V - C)^2 C - C_{d2}(V + C)^2 C]$$

$$P = -\frac{1}{2} \rho A [C_{d1}(V^2 C - 2VC^2 + C^3) - C_{d2}(V^2 C + 2VC^2 + C^3)]$$

$$P = -\frac{1}{2} \rho A [(C_{d1} - C_{d2})V^2 C - (C_{d1} + C_{d2})2VC^2 + (C_{d1} - C_{d2})C^3]$$

(5)

Tanda minus pada awal persamaan menunjukkan bahwa, daya yang dihasilkan merupakan reaksi terhadap daya angin.

Keterangan

$\rho$  = rapat jenis angin

$A$  = Luas penampang

$V$  = kecepatan angin

$C$  = Kecepatan Rotor

Persamaan untuk  $C$  maksimum

$$\frac{dP}{dC} = 0, \quad 3DC^2 - 4AVC + DV^2 = 0$$

$$C_{1,2} = \frac{4AV \pm \sqrt{16A^2V^2 - 4 \cdot 3D \cdot DV^2}}{6D}$$

$$C_{1,2} = \frac{4AV \pm 2V\sqrt{4A^2 - 3D^2}}{6D}$$

$$C_{1,2} = \frac{2AV \pm V\sqrt{4A^2 - 3D^2}}{3D}$$

(6)

(Tedjo Narsoyo Reksoatmojo, *Vertical-Axis Differential Drag Windmill*)

Maka untuk menghasilkan daya rotor teoritik 450 watt diperoleh dimensi utama sebagai berikut:

Untuk sudu setengah lingkaran

Jumlah sudu-sudu = 3

Diameter rotor = 0.9 m

Diameter sudu = 0,5 m

Tinggi Rotor = 1.35 m

Offset = 10 cm

Tipe = Helix

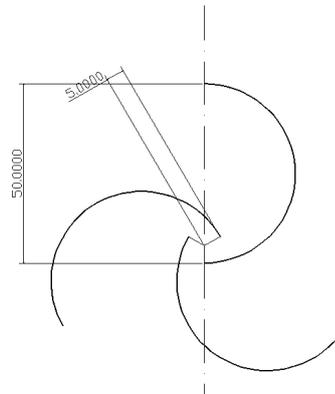
Torsion (puntiran) = 90°

Masa jenis udara@20°C = 1.204 Kg/m<sup>3</sup>

Koefisien hambat =  $C_{d1} : 2,3$

$C_{d2} : 1,2$

Dibawah ini merupakan bentuk sudu setengah lingkaran yang terlihat dari atas rotor



Gambar 1. Jenis sudu setengah lingkaran yang akan di produksi tampak atas

Untuk Sudu Lurus

Jumlah sudu-sudu = 3

Panjang sudu = 0.5 m

Tinggi Rotor = 1.35 m

Offset = 1 m

Tipe = Helix

Torsion (puntiran) = 90°

Masa jenis udara@20°C = 1.204 Kg/m<sup>3</sup>

Koefisien hambat =  $C_{d1} : 1.18$

#### F. Prosedur Penelitian

Pada penelitian ini akan memproduksi 2 jenis tipe rotor turbin angin tipe *helix*, yang membedakan dari kedua jenis rotor ini adalah bentuk sudu penampang dari rotor.



Pertama adalah bentuk penampang lurus, yang kedua bentuk penampang setengah lingkaran masing-masing 3sudu.

Penelitian ini dibagi menjadi 6 tahap, yaitu :

1. Pembuatan *tower* turbin angin
2. Pemilihan diameter poros dan pembuatan dudukan tulang penampang atau *frame*
3. Pembuatan tulang penampang atau *frame*
4. Pembuatan pola layar rotor
5. Pemilihan diameter puli dan Perakitan turbin angin
6. Pengujian turbin angin dan studi kelayakan ekonomi terhadap turbin

Dari setiap tahapan di atas akan dijelaskan secara terperinci di bawah ini :

#### 1. Pembuatan *tower*

*Tower* digunakan sebagai penyangga dari rotor turbin angin dan sebagai dudukan *bearing*.

- a. *Tower* terbuat dari besi siku, dan dimensi dari besi siku tersebut adalah 40 mm x 40 mm x 3 mm.
- b. Dimensi *tower* sebagai berikut :
  - Tinggi keseluruhan 3 m
  - Lebar 1 m

#### 2. Pemilihan diameter poros dan pembuatan dudukan tulang penampang atau *frame*

-Perhitungan ukuran poros

Untuk menentukan ukuran minimum poros, pertama-tama harus dihitung torsi yang dihasilkan turbin terlebih dulu.

Maka di asumsikan kecepatan maksimum dari poros turbin angin 300 r.p.m. Maka digunakanlah persamaan

$$d^3 = 16 T / (\pi \times \tau)$$

Keterangan :

d = diameter poros

T = Torsi

$\tau$  = Tegangan geser baja

-Pembuatan dudukan tulang penampang/ *frame*

Dudukan tulang penampang terbuat dari pipa dengan panjang 13,3 cm, diameter 19,1 dengan tebal 5 mm. dengan ketebalan 5 mm akan dibuat ulir sebagai kuncian dengan membuat ulir M10 kuncian dengan poros agar tidak terjadi slip. Setelah dibuat ulir maka dilas dengan mur M10 sebanyak 3 buah dengan pembagian 120° sebagai sambungan dengan tulang dudukan *frame*. Pembuatan dudukan sebanyak 5 buah.

#### 3. Pembuatan tulang penampang

- Pembuatan tulang penampang setengah lingkaran, Tulang penampang dibuat dengan menggunakan besi pejal dengan ukuran diameter 10 mm. Proses pembengkokkan dilakukan secara manual dengan menggunakan pola yang telah dibuat sebelumnya. Proses pengelasan di ujung dari besi tulang penampang dengan menggunakan baut M12 yang berfungsi sebagai tempat penyambungan tulang penampang dengan dudukan.

- Pembuatan dudukan untuk dudukan lurus Tulang penampang terbuat dengan besi pejal yang berukuran sama dengan dudukan yang setengah lingkaran

yaitu 10 mm. Yang membedakan hanya pada dudukan penampang *frame* setengah lingkaran dengan lurus. Pada dudukan penampang lurus tidak terjadi pembengkokkan. Proses pengelasan di ujung dari besi tulang penampang dengan menggunakan baut M12 yang berfungsi sebagai tempat penyambungan tulang penampang dengan dudukan.

#### 4. Pembuatan layar pada turbin angin

Layar terbuat dari kain parasut yang berlapis tiga dengan harapan mendapatkan *drag koefisien* yang tinggi. Pemilihan kain parasut ini dipilih dengan tujuan mengingat kain memiliki masa yang rendah sehingga tidak terlalu menambah dari masa rotor turbin angin.

#### 5. Pemilihan puli dan proses perakitan turbin angin

Sebelum kita memilih puli perlu diterangkan bahwa pada generator telah terdapat puli sebesar 3.5 cm. untuk mendapatkan putaran generator yang cukup yaitu 3000 r.p.m untuk mendapatkan daya 300 watt menggunakan persamaan :

$$\frac{N1}{N2} = \frac{D2}{D1}$$

#### Perakitan turbin angin

Perakitan semua *part* dimungkinkan dengan sistem modul yaitu dengan mekanisme baut. Yang sebelumnya telah dibuat dengan menggunakan proses pengelasan. Dan untuk layar telah dijahit dudukan untuk melekatkan dengan *frame*.

#### 5. Tahap Pengujian Rotor

- Pengujian akan dilakukan di daerah pada kaki gunung betung. Pengambilan data dilakukan setiap 60 menit sekali selama 10 jam dari pukul 7:00 WIB 17:00 sampai . Dari data dibuatkan grafik stabilitas angin. Data diambil dengan cara mengukur kecepatan angin yang melintas, lalu mengukur kecepatan putaran sudu dan kecepatan putaran generator. Setelah itu mencatat berapa arus dan tegangan yang dihasilkan. semua tahap dilakukan secara bersamaan sehingga data yang dihasilkan data kecepatan angin pada saat pengambilan data.

#### Tahap analisa kelayakan ekonomi

1. Pengumpulan data investasi.
  - a. Data biaya pembuatan turbin
  - b. Data biaya pra riset
  - c. Data operasional dan pemeliharaan
2. Penetapan suku bunga bank.
3. Harga per Kwh dari PLN dan biaya pemasangan baru instalasi listrik.

#### Prosedur Pengambilan Data

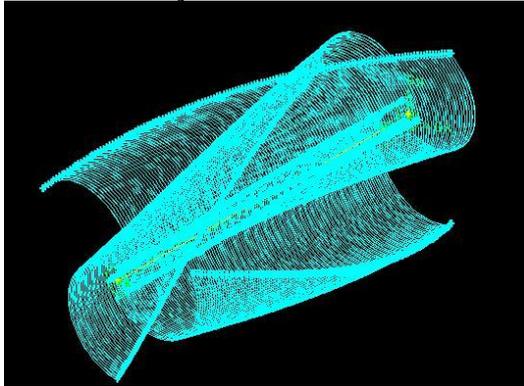
Data diambil pada pagi hari hingga sore hari pada pukul 07.00 – 17.00 setiap 60 menit.



Tabel 2. Contoh Tabel Pengambilan Data

	Kecepatan angin (m/s)	Kecepatan generator (rpm)	Tegangan (volt)	Arus (ampere)	Daya generator (watt)

#### H. Gambar Benda Kerja

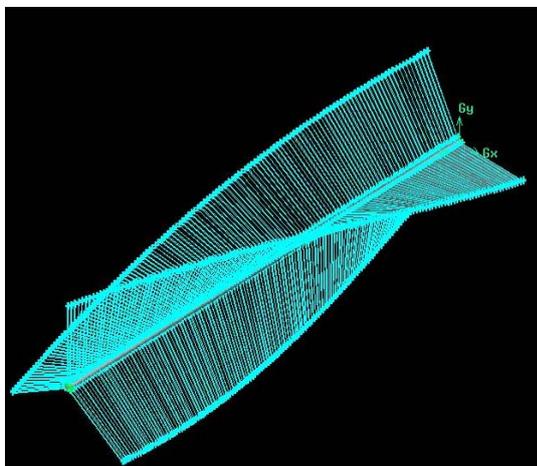


Gambar 2. Gambar 3D untuk sudu setengah lingkaran

Keterangan

Jumlah sudu : 3

- Diameter rotor : 900 mm
- Lebar rotor : 500 mm
- Tinggi Rotor : 1350 mm
- Jumlah tingkat : 1
- Offset : 50 mm



Gambar 3. Rotor 3D turbin angin dengan *blade* persegi panjang

Keterangan

Jumlah sudu : 3

- Lebar rotor : 900 mm
- Tinggi Rotor : 1350 mm
- Jumlah tingkat : 1

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembuatan dan pengujian turbin angin tipe *helix* telah dilakukan, diperoleh hasil yang kemudian dianalisa dengan memperhatikan faktor-faktor yang berpengaruh

terhadap daya yang dihasilkan oleh generator turbin angin dan kelayakan ekonominya. Pada umumnya turbin angin tipe vertikal aksis ini memiliki batas kecepatan maksimum tidak seperti turbin angin tipe *fan* atau horizontal. Karena turbin angin tipe vertikal ini memanfaatkan gaya hambat dari sudu-sudu turbin. Sehingga jarang orang memanfaatkannya untuk dijadikan sebagai pembangkit listrik.

Dalam hal ini penelitian hanya difokuskan terhadap daya yang dihasilkan oleh generator turbin angin. Ada beberapa parameter yang mempengaruhi daya yang dihasilkan oleh generator, diantaranya adalah :

1. Kecepatan angin
2. Dimensi turbin angin
3. Bentuk sudu
4. Mekanisme puli
5. Jenis generator yang digunakan.

Pada penelitian ini peneliti memvariasikan kecepatan angin yang berhembus melewati turbin dan bentuk sudu yang telah dijelaskan pada Bab III.

Selain hal-hal di atas untuk menjadikan turbin angin tipe *helix* ini sebagai alternatif pembangkit harus dikaji secara kelayakan ekonominya, dengan mempertimbangkan kecepatan rata-rata angin di suatu tempat yang akan dijadikan suatu lahan *wind farm* yang memproduksi turbin angin secara masal.

#### A. Bentuk jadi turbin angin

Bentuk jadi dari turbin angin yang telah melalui beberapa tahapan pembuatan

- a. Perhitungan ukuran poros

Untuk menentukan ukuran minimum poros, pertama-tama harus dihitung torsi yang dihasilkan turbin terlebih dulu. Maka di asumsikan kecepatan maksimum dari poros turbin angin 300 r.p.m. Maka digunakanlah persamaan

$$d^3 = 16 T / (\pi \times \tau)$$

Keterangan :

d = diameter poros

T = Torsi

$\tau$  = Tegangan geser baja

$$\begin{aligned} T &= 60 P / (2\pi N) \\ &= 60 \times 450 / (2 \pi 300) \\ &= 14,32 \text{ Nm} \end{aligned}$$

Setelah torsi diketahui, maka dengan asumsi tegangan geser baja  $\tau = 150 \text{ MPa}$

Maka diameter poros minimum :

$$\begin{aligned} d^3 &= 16 T / (\pi \times \tau) \\ &= 16 \times 14,32 / (\pi \times 150 \times 10^6) \\ &= 4,586 \times 10^{-3} \text{ m} \\ &= 4,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

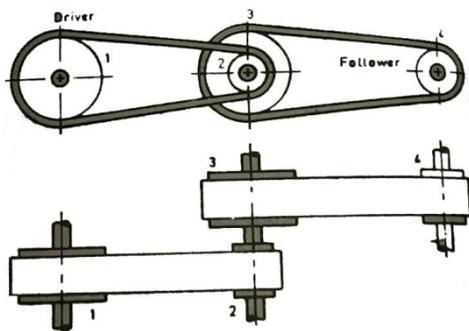


Dengan *safety factor* 2 maka diameter minimum :

$$d = 2 \times 4,5 \text{ mm} \\ = 9 \text{ mm}$$

Maka penulis menggunakan yang lebih besar yaitu : 0,75 inch = 19,05 mm

- b. Pembuatan dudukan tulang penampang/*frame*  
Dudukan tulang penampang terbuat dari pipa dengan panjang 13,3 cm, diameter 19,1 dengan tebal 5 mm dengan ketebalan 5 mm akan dibuat ulir sebagai kunci dengan membuat ulir M10 kunci dengan poros agar tidak terjadi slip. Setelah dibuat ulir maka dilas dengan mur M10 sebanyak 3 buah dengan pembagian 120° sebagai sambungan dengan tulang dudukan *frame*. Pembuatan dudukan sebanyak 5 buah.
  - c. Pembuatan tulang penampang setengah lingkaran  
Tulang penampang dibuat dengan menggunakan besi pejal dengan ukuran diameter 10 mm.
  - d. Pembuatan dudukan untuk dudukan lurus  
Tulang penampang terbuat dengan besi pejal yang berukuran sama dengan dudukan yang setengah lingkaran yaitu 10 mm.
- Yang membedakan hanya pada dudukan penampang *frame* setengah lingkaran dengan lurus. Pada dudukan penampang lurus tidak dilakukan pembengkokan.
  - Proses pengelasan di ujung dari besi tulang penampang dengan menggunakan baut M12 yang berfungsi sebagai tempat penyambung tulang penampang dengan dudukan.
  - Proses di atas dilakukan sebanyak 15 buah
- e. Pemilihan puli



Gambar 4. Puli yang mereduksi dari dimensi puli

Dengan nilai hasil perhitungan yang diambil dengan mengingat kondisi actual untuk  $N1 = 75 \text{ r.p.m}$  dan  $N4 = 4000 \text{ r.p.m}$

$N1: 75 \text{ r.p.m}$

$D1 : 50 \text{ cm}$

$D2 : 10 \text{ cm}$

$D3 : 25 \text{ cm}$

$D4 : 3,5$

$N4 : 4000 \text{ r.p.m}$

Keterangan

$N1$  : rpm motor penggerak

$N4$  : rpm mesin yang digerakkan

$D1$  : Diameter puli penggerak

$D4$  : Diameter puli mesin yang digerakkan

f. Perakitan turbin angin

Perakitan semcua *part* dimungkinkan dengan sistem modul yaitu dengan mekanisme baut. Yang sebelumnya telah dibuat dengan menggunakan proses pengelasan. Dan untuk layar telah dijahit dudukannya untuk melekatkan dengan *frame*.

## 1. Turbin angin dengan sudu setengah lingkaran



Gambar 5. Turbin angin sudu setengah lingkaran

Dapat dilihat pada gambar layar pada jenis turbin angin tipe *helix* ini menggunakan bahan parasut, yang bertujuan agar mudah dalam pembentukannya dan agar dapat di lepas pasang dengan mudah. *Tower* terbuat dari besi siku yang dihubungkan dengan baut yang bertujuan sama agar dapat mudah ditransportasikan.

## 2. Turbin angin dengan sudu lurus

Tidak jauh berbeda bentuk dari turbin angin bersudu lurus dengan turbin angin bersudu setengah lingkaran.



Gambar 6. Turbin angin sudu lurus



Sama halnya dengan turbin angin bersudu setengah lingkaran bahan dari layar berbahan parasut, dimensi dari turbin angin dibuat seragam bertujuan agar perbedaan hanya pada bentuk dari sudu.

### Kecepatan Angin

Setelah dilakukan pengukuran selama 2 hari. Maka diperoleh data-data kecepatan angin (V) yang berhembus melewati turbin angin tipe *helix*. Pengambilan data dilakukan pada pukul 07:00 sampai 17:00. Yang diharapkan pada pukul tersebut mendapatkan kecepatan angin maksimum pada saat itu. Data kecepatan angin dapat dilihat dalam bentuk grafik seperti di bawah ini.



Grafik 1. Kecepatan angin

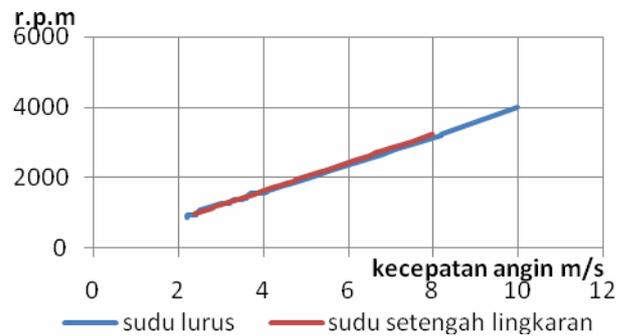
Kecepatan angin alami tidak dapat diatur besarnya, sehingga pada waktu pengambilan data kecepatan angin berubah-ubah. Pada grafik terlihat kecepatan angin selalu berubah-ubah dan selama 2 hari pengambilan data angin berkisar antara 2.3 – 10 m/s.

Data kecepatan angin yang diambil oleh penulis hanya selama 2 hari, oleh sebab itu untuk dapat diaplikasikan dalam perhitungan kelayakan ekonominya penulis mencocokkan kecepatan angin yang didapat dari Balai Besar Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika Stasiun Meteorologi Radin Inten II Bandar Lampung. Dari data kecepatan angin yang berhembus dari bulan November hingga bulan April rata-rata kecepatan angin yang berhembus adalah 4 m/s.

Setelah diperoleh data-data yang diperlukan untuk perhitungan, kemudian data tersebut didapatkan daya dari generator turbin angin untuk kedua jenis variasi bentuk sudu. Di bawah ini adalah contoh data kecepatan angin, kecepatan generator, tegangan, arus, dan daya untuk variasi sudu lurus, dan sudu setengah lingkaran.

### Daya Generator Turbin Angin

Secara teoritik daya yang dihasilkan turbin angin adalah sama dengan daya yang dihasilkan oleh generator. Tetapi dalam keadaan aktualnya daya yang dihasilkan adalah berbeda. Penurunan daya aktual dari generator disebabkan oleh banyak hal, namun tidak dibahas dalam penelitian ini.

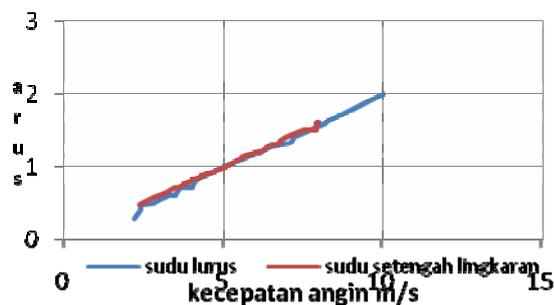


Grafik 2. Hubungan Kecepatan Angin dan Putaran Generator

Sebelum mengetahui berapa daya dari generator maka dapat dilihat kecepatan yang dihasilkan generator berdasarkan angin yang melintas pada saat pengambilan data. Pada grafik hubungan kecepatan angin dan kecepatan generator terlihat pada kecepatan angin 8 m/s kecepatan generator yang menggunakan sudu setengah lingkaran berada di atas dibandingkan generator yang menggunakan sudu lurus dan kenaikan kecepatan generator berbanding lurus dengan pertambahan kecepatan angin. Pada kecepatan angin rendah yaitu pada kisaran 2.3 m/s – 4.5 m/s kenaikan kecepatan generator yang menggunakan sudu lurus terlihat berfluktuasi atau tidak halus, hal ini disebabkan pada kecepatan angin rendah pada sudu lurus terdapat *delay respons* terhadap kecepatan angin. Karena perbandingan koefisien hambat dari sudu lurus sama antara bagian depan turbin yang terhembus angin dan bagian belakang. Sehingga tidak terdapat selisih koefisien hambat. Hal ini tidak terjadi pada sudu turbin setengah lingkaran. Hal tersebut mempengaruhi tegangan yang dihasilkan oleh generator pada grafik hubungan kecepatan angin dan tegangan terlihat tidak jauh berbeda dengan grafik hubungan kecepatan angin dan tegangan. Pada kecepatan angin rendah yaitu berkisar antara 2.3 m/s – 4.5 m/s grafik tegangan sudu lurus terlihat berfluktuasi. Karena kecepatan generator berbanding lurus dengan tegangan yang dihasilkan.

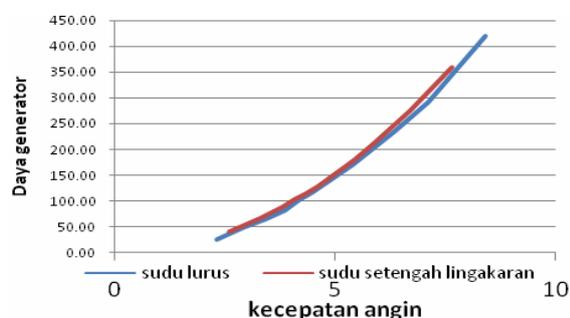
Tetapi tegangan yang dihasilkan pada kecepatan angin 8 m/s tidak jauh berbeda antara sudu lurus dan sudu setengah lingkaran. yaitu pada sudu lurus menghasilkan 236 V dan pada sudu setengah lingkaran menghasilkan tegangan 247 V.





Grafik 3. Hubungan Kecepatan Angin dan Arus

Untuk mencari daya yang dihasilkan oleh generator adalah arus dikalikan dengan tegangan maka didapatkan daya yang dihasilkan oleh generator dapat dilihat pada grafik hubungan angin dengan daya yang dihasilkan oleh generator.



Grafik 4. Hubungan Kecepatan Angin dan Daya

Pada grafik hubungan kecepatan angin dan daya yang dihasilkan oleh generator terlihat gambar grafik yang berbanding lurus, makin tinggi kecepatan angin maka semakin tinggi pula daya yang dihasilkan.

Perbandingan antara sudu lurus dengan sudu setengah lingkaran terlihat bahwa daya yang dihasilkan lebih besar bila dibandingkan dengan yang bersudu lurus. Daya yang bersudu setengah lingkaran mulai naik pada kecepatan angin 5.5 m/s dan terus naik hingga kecepatan angin 8.2 m/s dan dimungkinkan akan terus naik hingga pada kecepatan sudu maksimum.

Dengan membuat suatu tabulasi kecepatan angin dan daya generator yang dihasilkan maka dapat diambil besaran daya generator yang melintas pada saat tertentu.

Tabel 1. Tabulasi kecepatan angin dan daya yang dihasilkan generator

m/s	Watt (sudu lurus)	Watt (sudu setengah lingkaran)
3	51,875	55,65
4	84,43	98,4
5	147,45	153,28
6	212,4	220,35
7	286,29	305,124
8	381,23	395,2

Kecepatan angin rata-rata di daerah Lampung berdasarkan data yang dari badan meteorologi dan geofisika Radin Intan II adalah 4 m/s. Sehingga berdasarkan batasan masalah yang telah dibahas pada batasan masalah daya generator minimum yang dihasilkan adalah 300 watt sedangkan untuk kecepatan angin rata-rata di daerah Bandar Lampung berkisar 4 m/s, daya yang dihasilkan adalah 98,4 watt untuk sudu setengah lingkaran dan 84,43 watt untuk sudu lurus. Untuk dikatakan layak secara teknik daya yang dihasilkan yaitu 300 watt maka harus menggunakan 4 buah turbin angin dan generator, baik untuk yang bersudu lurus atau pun yang bersudu setengah lingkaran. Sehingga daya generator yang dihasilkan 393,6 watt untuk turbin angin bersudu setengah lingkaran dan 337,72 watt untuk turbin angin bersudu lurus.

Komponen biaya pembuatan turbin angin tipe *helix* sudu lurus dan sudu setengah lingkaran. Komponen biaya di bawah ini sudah untuk membuat satu buah turbin angin yang akan menghasilkan daya listrik lebih 84,43 watt pada kecepatan angin rata-rata 4 m/s.

#### KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan terhadap pembuatan dan studi kelayakan ekonomi *prototype* turbin angin sebagai alternatif pembangkit listrik, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pembuatan turbin angin tipe *helix* dengan sistem modul dapat diaplikasikan, dengan setiap sambungannya menggunakan mekanisme baut, sehingga turbin angin tipe *helix* ini mudah ditransportasikan.
2. Semakin tinggi kecepatan angin yang melintas di turbin angin tipe *helix* ini baik yang bersudu lurus maupun yang bersudu setengah lingkaran, maka semakin tinggi daya yang dihasilkan oleh generator.
3. Untuk menghasilkan daya minimum 300 Watt, baik yang bersudu lurus ataupun yang bersudu setengah lingkaran turbin angin harus menggunakan empat buah turbin angin, dengan kecepatan angin rata-rata di daerah Bandar Lampung 4 m/s.

#### DAFTAR PUSTAKA

- (1) Daryanto, Y., F. A. Yohanes dan F. Hasim. 2005. *Potensi, Peluang dan Tantangan Energi Angin di Indonesia*. BPPT. Tangerang.
- (2) Geoffrey G. Meredith. 2000. *Kewirausahaan teori dan praktek*. PT. Pustaka Binaman Pressindo.
- (3) Gourieres, Desire Le. 1982. *Wind Power Plants – Theory and Design*. Pergamon Press. Oxford OX3 OBW. England.
- (4) Purba, J. K. 2006. *Perancangan, Pembuatan dan Pengujian Rotor Savonius sebagai Pembangkit Energi Listrik Untuk Penerangan Jalan Tol*. Tugas Sarjana Teknik Mesin ITB. Bandung.



- (5) NN. 2009. *Wind Energy Basics*. American Wind Energy Association.
- (6) NN. <http://www.windpower.org/en/tour/wtrb/comp/index.htm>, Wind turbine components diakses 8 Mei 2010
- (7) NN. 2006. Wind Turbine Design Cost and Scaling Model, Technical Report NREL/TP-500-40566
- (8) NN. <http://www.aweo.org/windmodels.html>, diakses 11 April 2010
- (9) R.S. Khurmi. 1991. *A text of machine design*. Eurasia publishing House. Ram nagar. New Delhi.
- (10) Suryana. 2000. *Kewirausahaan*. Salemba Empat. Jakarta.
- (11) Sularso. 2004. *Dasar perencanaan dan pemilihan elemen mesin*. PT. Pradnya Paramita. Jakarta.
- (12) Wiley, Jhon. 1985. *Intoduction to Fluid Mechanics third edition*. New York.
- (13) Wyatt, Alan. 1986. *Electric Power: Challenges and Choices*. Book Press Ltd., Toronto



