

# Pemodelan Turbin Angin Sumbu Vertikal (VAWT) tipe H-Rotor untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin

Hanif Kurniawan, Taufik Fajar Nugroho, ST., M.Sc., Ir. Hari Prastowo, M.Sc.

Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan,  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

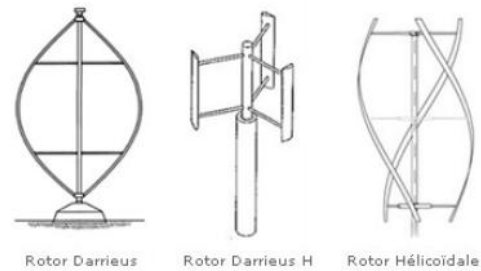
Email: [fnugroho@gmail.com](mailto:fnugroho@gmail.com)

**Abstrak** - Angin merupakan sumber energi yang tak ada habisnya yang dalam pemanfaatannya masih perlu dikembangkan sebagai solusi alternatif energi untuk masyarakat. Berbagai bentuk dan jenis konversi energi angin telah banyak diteliti, namun dalam pemanfaatan di masyarakat masih belum banyak diaplikasikan dan dikembangkan. Seperti halnya di Kabupaten Banyuwangi khususnya Pulau Tabuhan belum ada sistem pembangkit listrik dari pemanfaatan sumber energi yang ada. Berdasarkan penelitian yang ada sebelumnya, diketahui banyak jenis turbin angin yang digunakan untuk meningkatkan efisiensi yang dihasilkan salah satunya adalah vertical axis (VAWT). Tujuan dari skripsi ini adalah mengetahui desain turbin angin VAWT yang sesuai untuk pembangkit listrik di pulau tabuhan dan mengetahui pengaruh variasi panjang chord, jumlah blade dan sudut pitch terhadap torsi yang dihasilkan oleh turbin angin dengan perhitungan matematis. Analisa yang dilakukan untuk melihat efek peningkatan panjang chord, jumlah blade dan variasi sudut pitch. Hasil dari perhitungan tersebut adalah torsi terbesar terdapat pada turbin dengan panjang chord 8 meter untuk jumlah blade 3 buah dan sudut pitch  $9^0$  yaitu sebesar 21.69 Nm.

**Kata kunci:** VAWT, chord, sudut pitch, blade

## I. Pendahuluan

Angin sebagai sumber energi yang jumlahnya melimpah merupakan sumber energi yang terbarukan dan tidak menimbulkan polusi udara karena tidak menghasilkan gas buang yang dapat menyebabkan efek rumah kaca. Energi angin merupakan sumber daya alam yang dapat diperoleh secara cuma-cuma yang jumlahnya melimpah dan ketersediaannya terus menerus sepanjang tahun. Salah satu pemanfaatan energi angin adalah dengan menggunakan turbin angin. Turbin angin mampu mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik dengan bantuan generator. Turbin angin yang sudah banyak digunakan adalah turbin angin sumbu horisontal, dimana dalam penggunaannya memerlukan aliran angin yang berkecepatan tinggi dan arah aliran yang searah dengan turbin. Sedangkan untuk turbin angin sumbu vertikal tidak membutuhkan arah aliran yang kosntan. Sehingga arah aliran angin dari mana saja mampu meenggerakkan turbin jenis ini. Untuk itu akan dilakukan penelitian dalam bentuk skripsi untuk mengetahui kinerja turbin angin sumbu vertikal.



Gambar 1.1 Jenis-jenis turbin angin sumbu vertikal darrieus

sumber: (<http://www.ecosources.info>)

Permasalahan-permasalahan dalam skripsi ini adalah:

1. Desain dan dimensi turbin angin tipe VAWT yang optimal dengan kecepatan angin di Pulau Tabuhan Banyuwangi
2. Pengaruh panjang chord, sudut pitch dan jumlah blade pada desain turbin angin tipe VAWT

Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah untuk menjawab permasalahan tersebut.

## II. Metodologi Penelitian

Berikut adalah metodologi penelitian untuk menyelesaikan permasalahan dalam skripsi ini.

- a. Identifikasi dan Perumusan masalah  
Awal tahapan dalam pengerjaan skripsi ini adalah dengan mengidentifikasi permasalahan yang ada. Pada tugas akhir ini, permasalahan yang akan dibahas mengenai desain turbin angin yang cocok digunakan untuk pembangkit listrik di Pulau Tabuhan.
- b. Studi Literatur  
Pada tahap ini, segala hal yang berkaitan dengan permasalahan dicari tahu dan dipelajari. Berbagai referensi dan literatur guna mendukung dalam pengerjaan skripsi ini. Utamanya berkaitan dengan *wind turbine*, mekanika fluida, dan berbagai literatur yang saling mendukung.
- c. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang akan penulis lakukan adalah dengan studi lapangan di Pulau Tabuhan dan dasar-dasar teori yang relevan guna merancang *wind turbine vertical axis type h-rotor*. Data yang diperlukan antara lain kecepatan angin di Pulau

Tabuhan, dan berbagai variasi yang akan dilakukan dalam perhitungan

d. Perhitungan Awal VAWT

Setelah didapatkan kecepatan angin rata-rata, maka akan dilakukan perhitungan dimensi utama dari desain turbin. Dimensi utama ini meliputi diameter turbin, tinggi turbin, *swept area*, efisiensi turbin, dan panjang chord minimum dari blade turbin.

e. Perhitungan Gaya VAWT

Perhitungan gaya pada turbin sesuai dengan variasi yang telah ditetapkan yaitu, variasi jumlah blade, variasi sudut *pitch*, dan variasi panjang chord. Dari perhitungan ini didapatkan torsi, power turbin, dan power elektrik yang dihasilkan nanti pada generator.

f. Penentuan Variable paling Optimal

Dari hasil perhitungan yang telah ditentukan maka akan didapatkan desain turbin yang paling optimal dengan variasi jumlah blade, sudut *pitch*, dan panjang chord.

g. Analisa Data dan Pembahasan

Dilakukan analisis terhadap turbin angin dengan parameter dan variasi yang ditentukan dan perhitungan matematis.

h. Analisa Keekonomian

Model turbin yang sudah didapatkan dengan proses perhitungan selanjutnya dianalisa kelayakannya dengan menggunakan parameter NPV, IRR, dan *Pay Back Period*.

i. Kesimpulan dan Saran

Tahap ini merupakan tahapan akhir dimana dilakukan penarikan kesimpulan mengenai keseluruhan proses yang telah dilakukan. Selain itu, juga memberikan saran terkait dengan penelitian selanjutnya.

### III. Hasil Dan Pembahasan

a. Perhitungan Awal

Jika dilihat dari spesifikasi alat destilasi yang dibutuhkan untuk memperoleh air sebanyak 1000 liter setiap hari dibutuhkan energy listrik sebesar 2000 W.

Kemudian dilakukan perhitungan awal berdasarkan data yang didapatkan. Minimum daya yang dapat diperoleh dari energy angin adalah:

$$P_{mw} = 800 \text{ W}$$

Kecepatan angin untuk mengekstraksi daya tersebut:

$$V_{mw} \text{ (m/s)} = 2 \text{ m/s}$$

Untuk stabilitas, rasio diameter terhadap tinggi blade

$$D/H = 1.2, D = 1.2H$$

$$A_{swept} = \pi \times D \times H = 1.2 \times \pi \times H^2$$

$$P_{mw} = 0.5 \times \rho_{udara} \times A_{swept} \times v^3$$

$$800 = 0.5 \times 1.225 \times 1.2 \times \pi \times H^2 \times 2^3$$

$$800 = 18.4632 \times H^2$$

Sehingga dapat dihitung,

$$H = (800/18.4632)^{0.5}$$

$$H = 6.58251 \text{ m}$$

Sehingga diameter (D) dari VAWT dapat dihitung yaitu:

$$D = 1.2 H$$

$$D = 7.899 \text{ m}$$

Maka dapat ditentukan bahwa tinggi blade,  $H = 6.5$  m dan diameter dari VAWT,  $D = 7.899$  m. Sehingga  $D/H = 7.9/6.5 = 1.23$ . kemudian besarnya luasan daerah yang tersapu oleh blade dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$A_{swept} = \pi \times D \times H$$

$$A_{swept} = 22/7 \times 7.9 \times 6.5$$

$$A_{swept} = 163.28 \text{ m}^2$$

Dari data kecepatan angin, dapat diketahui bahwa kecepatan angin rata-rata dipulau Tabuhan adalah 1 m/s. maka daya yang diekstraksi sebenarnya pada kecepatan angin,  $v = 1$  m/s sesuai dengan rumus 2.1 adalah:

$$P_w = 0.5 \times \rho_{udara} \times A_{swept} \times v^3$$

$$P_w = 0.5 \times 1.225 \times 163.28 \times 1$$

$$P_w = 100 \text{ W}$$

Kemudian tips speed rasio untuk H rotor,  $\lambda = 1.6$ , maka efisiensi wind turbine dapat diketahui dengan rumus:

$$\eta_{\omega\tau} = 0.055 \lambda + 0.399$$

$$\eta_{\omega\tau} = 0.055 (1.6) + 0.399$$

$$\eta_{\omega\tau} = 0.487$$

$$\eta_{\omega\tau} = 48.7 \%$$

Sehingga didapatkan efisiensi wind turbine  $\eta_{\omega\tau} = 48.7\%$ . Kemudian daya pada poros turbin,  $P_\tau$  dapat diketahui dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$P_\tau = P_w \times \eta_{\omega\tau}$$

$$P_\tau = 100 \times 48.7 \%$$

$$P_\tau = 48.7 \text{ W}$$

Efisiensi generator,  $\eta_{generator} = 0.8$ . Maka daya elektrik yang dihasilkan generator sesuai dengan rumus:

$$P_{elektris} = P_\tau \times \eta_{generator}$$

$$P_{\text{elektris}} = 48.7 \times 0.8$$

$$P_{\text{elektris}} = 38.96 \text{ W}$$

Kemudian dapat dilakukan perhitungan chord.

Besarnya nilai solidity minimum untuk VAWT adalah 0.4, maka panjang chord minimum untuk jumlah blade 3 buah dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$\sigma = NB \times C / D$$

$$0.4 = 3 \times C / 7.89$$

$$C = 1.067 \text{ m}$$

Kemudian kecepatan rotasi turbin dapat diketahui dengan rumus:

$$\omega = (\lambda \times v/R) \times (60/\pi)$$

$$\omega = (1.6 \times 1/4) \times (60/3.14)$$

$$\omega = 7.6433 \text{ rpm}$$

#### b. Perhitungan Gaya pada VAWT

Setelah dihasilkan data pada perhitungan awal.

Kita harus menghitung Reynolds Number pada blade. Reynolds Number didapat dengan menggunakan rumus:

$$Re = (W \times TSR \times \rho_{\text{udara}} \times C) / \nu_{\text{udara}}$$

$$Re = (1 \times 1.6 \times 1.204 \times 1.5) / (1.81 \times 10^{-5})$$

$$Re = 159646.408$$

Dari perhitungan Reynolds Number diatas kita bisa mendapatkan koefisien lift dan koefisien drag melihat pada tabel dengan cara melakukan perhitungan iterasi didapat:

$$Cl = 0.55$$

$$Cd = 0.01392$$

Sehingga gaya lift, gaya drag, dan koefisien tangensial dapat dihitung dengan persamaan:

$$Fl = \frac{1}{2} Cl \rho A_{\text{blade}} v^2$$

$$Fl = \frac{1}{2} \times 0.55 \times 1.225 \times 20.0853 \times 1^2$$

$$Fl = 6.75713 \text{ N}$$

$$Fd = \frac{1}{2} Cd \rho A_{\text{blade}} v^2$$

$$Fd = \frac{1}{2} \times 0.01392 \times 1.225 \times 20.0853 \times 1^2$$

$$Fd = 0.171017 \text{ N}$$

$$Ct = Cl \sin \alpha - Cd \cos \alpha$$

$$Ct = 0.55 \sin 5^\circ - 0.01392 \cos 5^\circ$$

$$Ct = 0.030219$$

Torsi yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q = 0.5 \times \rho \times C \times R \times H \times Ct \times v^2$$

$$Q = 0.5 \times 1.225 \times 1.5 \times 4 \times 6.5 \times 0.030219 \times 1^2$$

$$Q = 0.72186 \text{ Nm}$$

Untuk jumlah blade 3 buah torsi rata-rata yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q_{\text{av}} = (N/2\pi)Q$$

$$Q_{\text{av}} = (3/6.28)0.72186$$

$$Q_{\text{av}} = 0.344838 \text{ Nm}$$

Tabel 3.1 Panjang chord 1,5 meter dengan jumlah blade 3 buah

No.	Sudut Pitch( $^\circ$ )	Torsi rata-rata(Nm)	$P_T$ (W)	$P_{\text{elektris}}$ (W)
1	1	-0,097	-0,739	-0,591
2	2	-0,035	-0,271	-0,217
3	3	0,067	0,513	0,410
4	4	0,209	1,595	1,276
5	5	0,387	2,956	2,365
6	6	0,614	4,694	3,755
7	7	0,844	6,448	5,159
8	8	1,103	8,430	6,744
9	9	1,290	9,857	7,885
10	10	0,049	0,371	0,297
11	11	-0,429	-3,277	-2,622
12	12	0,208	1,591	1,273
13	13	-1,169	-8,933	-7,146
14	14	-1,191	-9,097	-7,277
15	15	-1,185	-9,055	-7,244

Tabel 3.2 Panjang chord 2 meter dengan jumlah blade 3 buah

No.	Sudut Pitch( $^\circ$ )	Torsi rata-rata(Nm)	$P_T$ (W)	$P_{\text{elektris}}$ (W)
1	1	-0,118	-0,904	-0,723
2	2	-0,040	-0,303	-0,243
3	3	0,100	0,765	0,612
4	4	0,289	2,208	1,767
5	5	0,528	4,034	3,227
6	6	0,657	5,016	4,013
7	7	1,153	8,805	7,044
8	8	1,501	11,466	9,173
9	9	1,791	13,683	10,946
10	10	0,660	5,046	4,037
11	11	0,202	1,540	1,232
12	12	0,530	4,047	3,238
13	13	-0,983	-7,510	-6,008
14	14	-1,300	-9,930	-7,944
15	15	-1,557	-11,893	-9,514

Tabel 3.3 Sudut pitch  $9^\circ$  dengan jumlah blade 4 buah

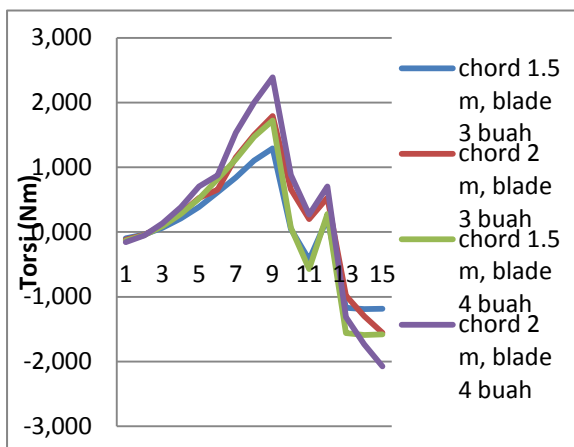
Chord(m)	Sudut Pitch( $^\circ$ )	Torsi rata-rata(Nm)	$P_T$ (W)	$P_{\text{elektris}}$ (W)
1,5	9	1,720	13,142	10,514
2	9	2,388	18,244	14,595
2,5	9	3,097	23,660	18,928
3	9	3,848	29,399	23,519
3,5	9	4,646	35,495	28,396
4	9	5,485	41,908	33,526
4,5	9	6,372	48,685	38,948
5	9	7,300	55,772	44,618
5,5	9	8,276	63,230	50,584
6	9	9,298	71,038	56,830

Tabel 3.4 Sudut pitch  $9^{\circ}$  dengan jumlah blade 3 buah

Chord(m)	Sudut Pitch( $^{\circ}$ )	Torsi rata-rata(Nm)	$P_T$ (W)	$P_{\text{elektris}}$ (W)
1,5	9	1,290	9,857	7,885
2	9	1,791	13,683	10,946
2,5	9	2,323	17,745	14,196
3	9	2,886	22,049	17,639
3,5	9	3,484	26,621	21,297
4	9	4,114	31,431	25,145
4,5	9	4,779	36,514	29,211
5	9	5,475	41,829	33,463
5,5	9	6,207	47,423	37,938
6	9	6,974	53,278	42,623
6,5	9	7,769	59,354	47,483
7	9	8,602	65,721	52,577
7,5	9	9,462	72,289	57,831
8	9	10,362	79,168	63,334

c. Grafik Hasil Perhitungan

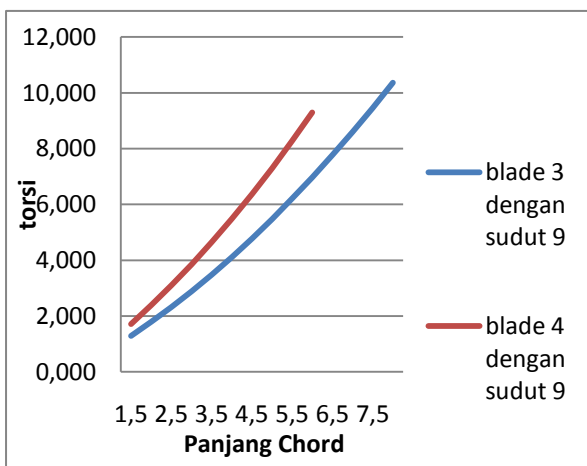
Berikut disajikan grafik perubahan besar torsi rata-rata VAWT terhadap perubahan sudut yang divariasikan



Gambar 3.1 Grafik perubahan Torsi terhadap sudut Pitch

Pada grafik bisa dilihat bahwa pada setiap variasi VAWT memiliki torsi maksimal pada sudut  $9^{\circ}$ . Torsi terbesar dihasilkan oleh turbin dengan panjang chord 2 meter, blade 4 buah dan pada sudut pitch  $9^{\circ}$ .

Jika melihat dari semua variasi panjang chord dan jumlah blade, pada sudut  $13^{\circ}$  semua torsi bernilai negatif, itu mengindikasikan bahwa pada sudut  $13^{\circ}$  hingga  $15^{\circ}$  variasi VAWT tidak dapat digunakan, karena tidak mungkin dapat memutar turbin.



Gambar 3.2. Grafik perubahan Torsi terhadap Panjang Chord

Pada grafik yang dihasilkan di atas, dapat diketahui bahwa pada masing-masing turbin akan mengalami peningkatan torsi apabila diberikan peningkatan panjang chord. Karena keterbatasan panjang chord yakni, pada turbin dengan blade 4 buah, chord maksimal hanya sebesar 6 meter pada masing-masing chord. Dan pada turbin dengan blade 3 buah, panjang chord maksimal adalah 8 meter pada masing-masing chord. Torsi terbesar diberikan oleh turbin dengan jumlah blade sebanyak 3 buah dan dengan panjang chord 8 m yaitu sebesar 63.33 Nm.

d. Analisa Hasil Perhitungan

Dari data yang ditabulasikan dalam bentuk tabel pada subbab sebelumnya, dapat diketahui bahwa rata-rata daya yang dapat dihasilkan oleh satu turbin angin adalah 63.33 Watt. Sementara itu dengan kebutuhan listrik untuk menyuplai alat destilasi sebesar 2000 Watt. Maka jumlah kebutuhan turbin angin untuk pulau Tabuhan tersebut adalah:

$$\text{Kebutuhan daya} = 2000 \text{ Watt}$$

$$\text{Jumlah turbin angin} = \frac{\text{Kebutuhan daya}}{\text{Daya yang dihasilkan turbin}}$$

$$\text{Jumlah turbin angin} = \frac{2000}{63,33}$$

$$\text{Jumlah turbin angin} = 31.58$$

Untuk memenuhi suplai daya yang dibutuhkan oleh alat destilasi tersebut dibutuhkan turbin angin sejumlah 32 buah

Dari tabel tabulasi data yang diperoleh dari perhitungan, dapat dilihat bahwa untuk panjang chord 1.5 m. Peningkatan sudut pitch menyebabkan peningkatan pada besaran koefisien lift dan koefisien drag hingga sudut pitch  $9^{\circ}$ . Sehingga terjadi peningkatan pada koefisien tangensial. Sehingga torsi, torsi rata-rata, power turbin dan power elektrik yang dihasilkan turbin juga mengalami penurunan. Sedangkan setelah sudut pitch  $9^{\circ}$ , yakni dari sudut pitch  $10^{\circ}$  hingga  $15^{\circ}$  kembali terjadi penurunan koefisien lift dan koefisien drag.

Begitu juga untuk panjang chord 2 m. Peningkatan sudut pitch menyebabkan peningkatan pada besaran koefisien lift dan koefisien drag hingga sudut pitch  $9^{\circ}$ . Sehingga terjadi peningkatan pada koefisien tangensial. Sehingga torsi, torsi rata-rata, power turbin dan power elektrik yang dihasilkan turbin juga mengalami penurunan. Sedangkan setelah sudut pitch  $9^{\circ}$ , yakni dari sudut pitch  $10^{\circ}$  hingga  $15^{\circ}$  kembali terjadi penurunan koefisien lift dan koefisien drag.

Selain itu juga dapat dilihat bahwa pada variasi panjang chord 1.5 m dengan jumlah blade 4 buah dan sudut pitch  $9^{\circ}$  torsi yang dihasilkan sebesar 1.720 Nm, power turbin yang dihasilkan sebesar 13.142 watt dan power elektrik yang dihasilkan sebesar 10.514 watt, lebih kecil dibandingkan torsi, power turbin, efisiensi dan power elektrik yang dihasilkan pada variasi panjang chord 2 m dengan jumlah blade 4 buah dan

sudut pitch  $9^{\circ}$  yaitu torsi 2.388 Nm, power turbin yang dihasilkan sebesar 18,244 watt, dan power elektris yang dihasilkan sebesar 14,595 watt

Dapat disimpulkan bahwa sudut pitch untuk menghasilkan torsi yang optimal didapatkan pada sudut pitch antara  $9^{\circ}$ . Peningkatan sudut pitch pada penelitian ini yaitu dari  $10^{\circ}$  hingga  $15^{\circ}$  menyebabkan penurunan yang besar pada koefisien tangensial sehingga mengakibatkan penurunan yang besar pada torsi rata-rata, power turbin, dan power elektris yang dihasilkan oleh turbin.

Penambahan panjang chord pada penelitian ini yaitu dari variasi panjang chord dari 1.5 meter sampai 8 meter untuk jumlah blade 3 buah, dan panjang chord 1.5 meter sampai 6 meter untuk jumlah blade 4 buah menyebabkan peningkatan pada koefisien tangensial sehingga mengakibatkan kenaikan pada torsi rata-rata, power turbin, dan power elektris yang dihasilkan oleh turbin .

e. Kajian Ekonomis

- *Capital Expenditure (CAPEX)*

Data untuk analisa ekonomi turbin angin sumbu vertikal didasarkan dari hasil perhitungan bada subbab sebelumnya yang memiliki spesifikasi teknis dan biaya sebagai berikut:

Kapasitas terpasang, 63.3 W, umur teknis 10 tahun

Tabel 3.5 Material desain VAWT

No.	Item	Jumlah	Cost
1	Airfoils	3	Rp 7.930.000
2	Radial arms	6	Rp 1.950.000
3	Shaft	1	Rp 1.950.000
4	Connecting bracket	1	Rp 390.000
5	Base	4	Rp 4.030.000
6	Base steel connecting bracket	2	Rp 520.000
7	Blade assembly connection	1	Rp 65.000
8	Linear springs	3	Rp 195.000
9	Bearing	3	Rp 3.900.000
		Total	Rp20.930.000

Setelah didapatkan biaya total dalam pembangunan turbin angin, selanjutnya dilakukan perhitungan dalam biaya pembangunan sebagai berikut

Tabel 3.6. Item untuk alat destilasi

No.	Item	Jumlah	Cost
1	Turbin Angin	32	Rp 669.760.000
2	Inverter	1	Rp 36.000.000
3	Generator	1	Rp 8.500.000
4	Baterai	1	Rp 10.000.000

5	Kabel daya	1	Rp 1.600.000
6	Fondasi	1	Rp 8.000.000
7	Alat Destilasi	1	Rp 8.500.000
Total			Rp 742.360.000

Berdasarkan tabel hasil perhitungan pada tabel 4.9 didapatkan biaya investasi awal paling minimum sebesar Rp742.000.000,00.

- *Operational Expenditure*

*Maintenance cost* didapatkan dari 5% dari biaya investasi awal yang dikeluarkan untuk membangun turbin angin, dan terjadi kenaikan 2% untuk tiap tahunnya. Rincian biaya operasional dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 3.7 Rincian biaya operasional pertahun

Tahun ke-1	Rp	37.118.000
Tahun ke-2	Rp	37.860.360
Tahun ke-3	Rp	38.617.567
Tahun ke-4	Rp	39.389.919
Tahun ke-5	Rp	40.177.717
Tahun ke-6	Rp	40.981.271
Tahun ke-7	Rp	41.800.897
Tahun ke-8	Rp	42.636.915
Tahun ke-9	Rp	43.489.653
Tahun ke-10	Rp	44.359.446
Total		Rp 406.431.744

- *Payback Period*

Pada kajian ekonomis kali ini diharapkan *payback period* dapat terjadi di tahun ke 5 setelah investasi awal dengan total pengunjung harian di pulau Tabuhan sebanyak 50 orang

Dari tabel biaya total investasi sebesar Rp.1.614.588.455,00. Kemudian dilakukan perhitungan maka didapatkan biaya minimum tiket masuk dapat dilihat pada tabel dibawah'

**Tabel 4.12.** Perhitungan Minimum

Harga Tiket Masuk Pulau Tabuhan

Total Investasi	Rp	1,614,588,455
<i>Payback period</i>		5 tahun
Minimum harga tiket	Rp	17,694.12

Selanjutnya dilakukan perhitungan kajian ekonomis dan didapatkan net present value sebesar Rp. 710.749.891,00 sebagai keuntungan bersih dari perusahaan.

IV. Kesimpulan

Dari analisa yang didapatkan dari perhitungan di bab sebelumnya, dapat disimpulkan bahwa:

1. Untuk memenuhi suplay daya alat destilasi di Pulau Tabuhan dibutuhkan vertical axis wind turbin sebanyak 32 buah.
2. Torsi rata-rata terbesar yang dapat dihasilkan oleh turbin terdapat pada variasi jumlah blade 3 buah dengan panjang chord 8 meter dan sudut pitch dari blade sebesar  $9^{\circ}$  dengan nilai 10, 362 Nm.
3. Penambahan jumlah blade pada turbin menyebabkan peningkatan torsi rata-rata, power turbin, dan power elektris yang dihasilkan oleh VAWT.
4. Penambahan panjang hord pada turbin menyebabkan peningkatan torsi rata-rata, power turbin, dan power elektris yang dihasilkan oleh VAWT.
5. Sudut pitch yang paling optimal untuk desain turbin di pulau Tabuhan pada penelitian ini adalah sebesar  $9^{\circ}$  untuk semua variasi jumlah blade dan panjang chord.
6. Dengan *payback period* 5 tahun, maka didapatkan minimum harga tiket sebesar Rp.17.695,00 dengan *Net Present Value (NPV)* pada tahun ke10 sebesar Rp.710.749.891

#### V. Saran

Saran yang dapat diberikan dari penelitian ini adalah:

1. Perlu pembuatan langsung untuk model dan benda nyata dari turbin angin sumbu vertikal tipe h-rotor agar mendapatkan nilai yang lebih valid.
2. Pemilihan lokasi untuk penempatan turbin angin harus di daerah yang memiliki kecepatan angin yang cukup tinggi.

#### VI. DAFTAR PUSTAKA

- Andrew Tendai, Zhuga, 2011. *Design of Alternative Energy System: A Self-Starting Vertical Axis Wind Turbine for Stand-Alone Application (charging batteries)*, Thesis. Department of Mechatronic Engineering-School of Engineering Sciences and Technology-Chinhoyi University of Technology.
- Arif Afifudin, Mochamad, 2010. *Studi Experimental Performansi Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) Dengan Variasi Desain Turbin*, Thesis. Jurusan Teknik Fisika-Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Castillo, Javier, 2011. *Small-Scale Vertical Axis Wind Turbine Design*, Thesis. Department Aeronautical Engineering-Tampere Univesity of Applied Sciences.
- Guidelines for Design of Wind Turbines Second Edition*. DNV / Rise press, 2002. Copenhagen. Denmark.
- Justin Carrigan, Travis, 2010. *Aerodynamic Shape Optimization of A Verical Axis Wind Turbine*, Disertation. Department Aerospace Engineering-The University of Texas.
- Miller,Steven D, 2008. *Lift, Drag and Moment of NACA 0015 Airfoil*, Thesis. Department of Aerospace Engineering-The Ohio State University.
- [http://en.wikipedia.org/wiki/NACA\\_airfoil](http://en.wikipedia.org/wiki/NACA_airfoil)  
[https://id.wikipedia.org/wiki/Massa\\_jenis](https://id.wikipedia.org/wiki/Massa_jenis)