

Autor:

Taufik fajar Nugroho ST., M.Sc

Ir. Hari Prastowo M.Sc

**PEMODELAN TURBIN ANGIN  
SUMBU VERTIKAL (VAWT)  
TIPE H-ROTOR UNTUK  
PEMBANGKIT LISTRIK  
TENAGA ANGIN DIPULAU  
TABUHAN**

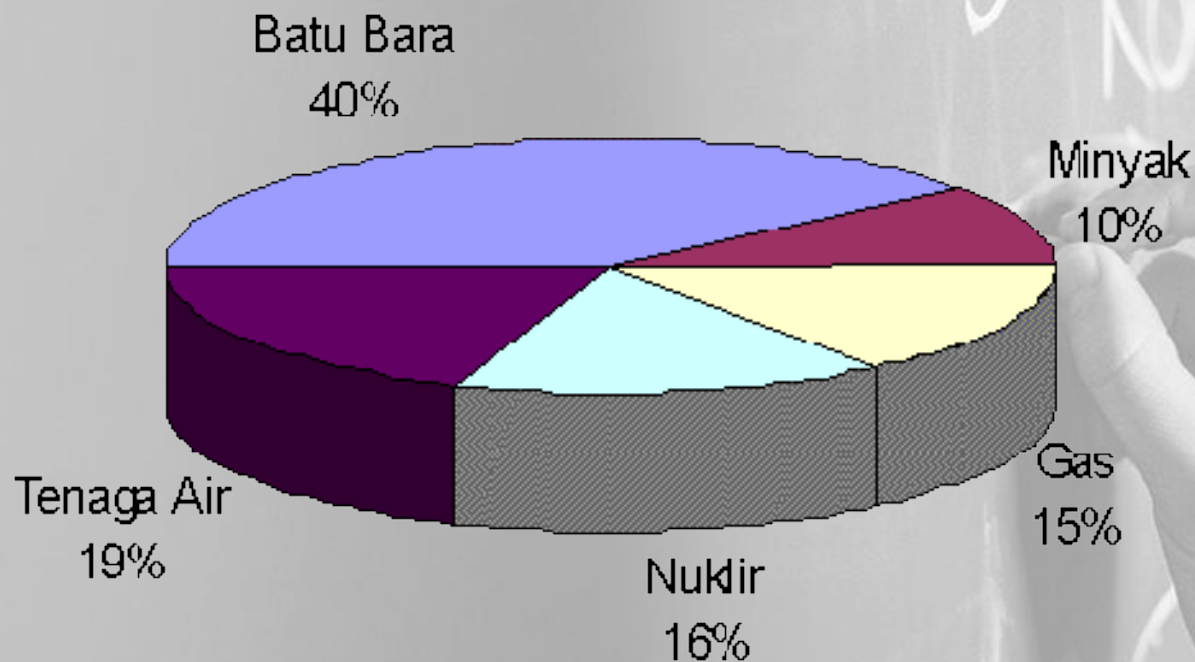
Jurusan Teknik sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Hanif Kurniawan  
4212 100 089

# OUTLINE

Latar Belakang  
Perumusan Masalah  
Batasan Masalah  
Tujuan  
Metodologi  
Pembahasan  
Kesimpulan  
Saran  
Referensi

# LATAR BELAKANG



Persentase penggunaan berbagai bahan bakar untuk pembangkitan listrik di seluruh dunia

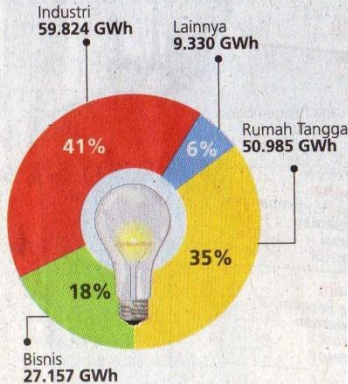
# LATAR BELAKANG

## KONDISI SEKTOR KELISTRIKAN INDONESIA

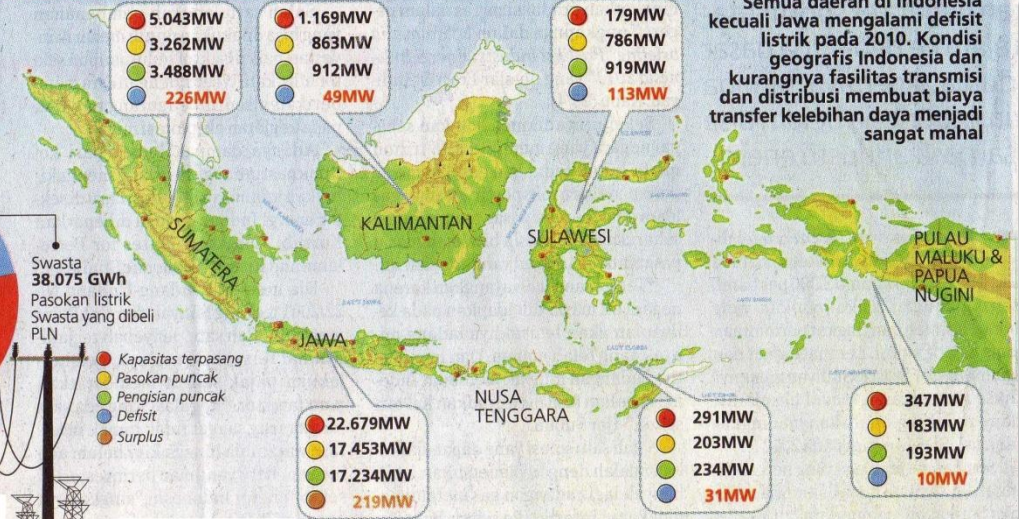
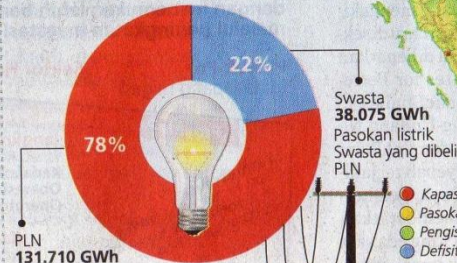
Konsumen utama listrik di Indonesia adalah sektor rumah tangga. Sekitar 78% produksi listrik dipasok PLN dan sisanya dari swasta. Pasar listrik swasta di Indonesia saat ini mengalami pertumbuhan permintaan. Sementara peningkatan distribusi akan menjadi faktor yang menentukan untuk sektor kelistrikan.

### Konsumsi Listrik

(berdasarkan jenis konsumen) GWh  
(Gigawatt Hour)



### Konsumsi Listrik



Semua daerah di Indonesia kecuali Jawa mengalami defisit listrik pada 2010. Kondisi geografis Indonesia dan kurangnya fasilitas transmisi dan distribusi membuat biaya transfer kelebihan daya menjadi sangat mahal

# RUMUSAN MASALAH

*Permasalahan yang akan dijawab pada penelitian ini adalah:*

- Bagaimana desain dan dimensi turbin angin tipe VAWT yang optimal dengan kecepatan angin di Pulau Tabuhan Banyuwangi?*
- Bagaimana pengaruh panjang chord, sudut pitch dan jumlah blade pada desain turbin angin tipe VAWT?*

## TUJUAN

Tujuan analisa ini adalah sebagai berikut:

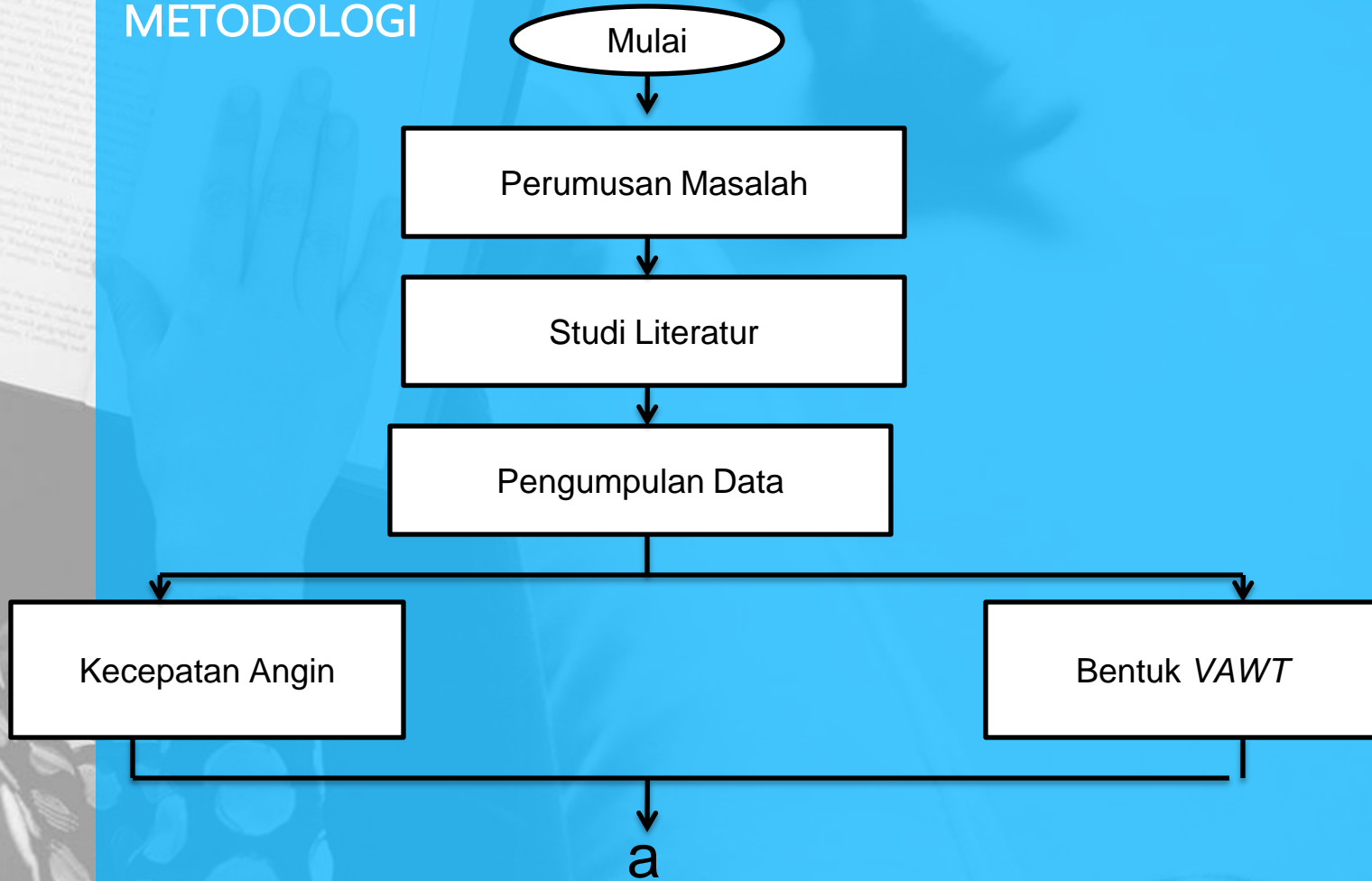
→ Mengetahui desain dan dimensi turbin angin tipe VAWT yang optimal dengan kecepatan angin di Pulau Tabuhan Banyuwangi

→ Dapat mengetahui pengaruh panjang chord, sudut pitch dan jumlah blade pada turbin angin tipe h-rotor menggunakan pendekatan numerik

## Batasan Masalah

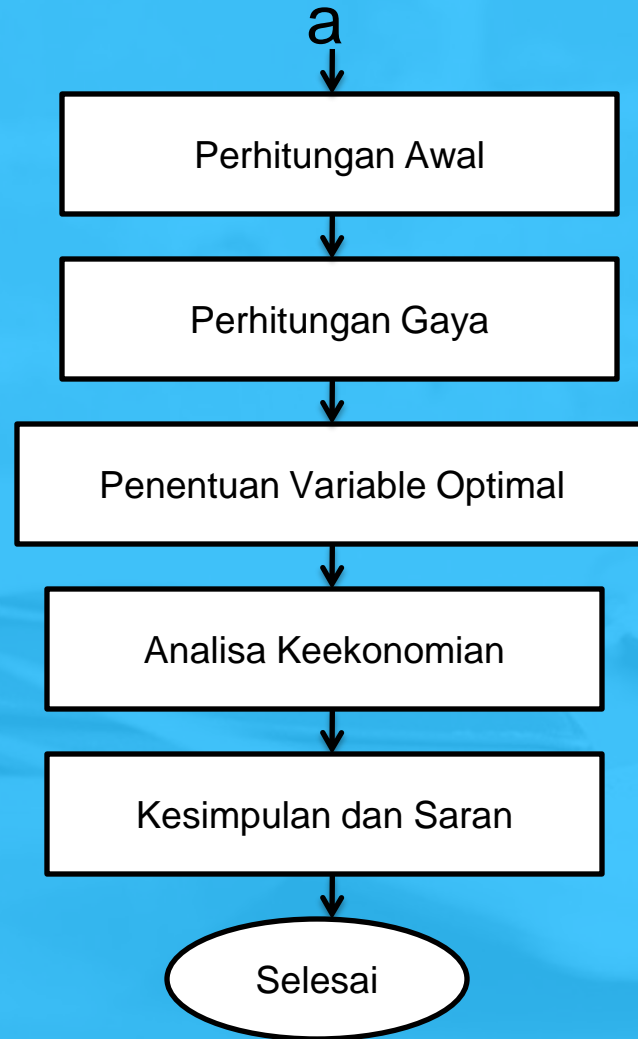
- Kebutuhan listrik untuk destilasi
- Kincir angin yang digunakan adalah kincir angin sumbu vertical tipe *h-rotor*
- Daya listrik yang ingin dicapai sebesar 2000 Watt

# METODOLOGI





## METODOLOGI



## PEMBAHASAN

→ Swept Area

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

$$D = 8 \text{ m}$$

$$H = 6,5 \text{ m}$$

→ Panjang chord minimum

Besarnya nilai solidity minimum untuk VAWT adalah 0.4

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

$$0.4 = 3 \times C / 8$$

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

## Blade 3 & Chord 1,5 m

No.	Sudut Pitch	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi(Nm)	Torsi rata-rata(Nm)	Pt(W)	Pel(W)
1	1	0,110	0,010	-0,008	1,351	0,128	-0,202	-0,097	-0,739	-0,591
2	2	0,220	0,011	-0,003	2,703	0,130	-0,074	-0,035	-0,271	-0,217
3	3	0,330	0,011	0,006	4,054	0,140	0,141	0,067	0,513	0,410
4	4	0,440	0,012	0,018	5,406	0,152	0,437	0,209	1,595	1,276
5	5	0,550	0,014	0,034	6,757	0,172	0,810	0,387	2,956	2,365
6	6	0,660	0,015	0,054	8,107	0,187	1,286	0,614	4,694	3,755
7	7	0,746	0,017	0,074	9,163	0,209	1,767	0,844	6,448	5,159
8	8	0,827	0,019	0,097	10,158	0,227	2,310	1,103	8,430	6,744
9	9	0,852	0,020	0,113	10,464	0,251	2,701	1,290	9,857	7,885
10	10	0,132	0,019	0,004	1,623	0,232	0,102	0,049	0,371	0,297
11	11	0,195	0,076	-0,038	2,390	0,935	-0,898	-0,429	-3,277	-2,622
12	12	0,153	0,014	0,018	1,882	0,171	0,436	0,208	1,591	1,273
13	13	0,203	0,152	-0,102	2,493	1,867	-2,448	-1,169	-8,933	-7,146
14	14	0,255	0,171	-0,104	3,127	2,101	-2,492	-1,191	-9,097	-7,277
15	15	0,308	0,190	-0,104	3,785	2,334	-2,481	-1,185	-9,055	-7,244

## Blade 3 & Chord 2 m

No.	Sudut Pitch	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi(Nm)	Torsi rata-rata(Nm)	Pt(W)	Pe(W)
1	1	0,110	0,010	-0,008	1,351	0,119	-0,248	-0,118	-0,904	-0,723
2	2	0,220	0,010	-0,003	2,703	0,124	-0,083	-0,040	-0,303	-0,243
3	3	0,330	0,011	0,007	4,054	0,131	0,210	0,100	0,765	0,612
4	4	0,440	0,012	0,019	5,406	0,144	0,605	0,289	2,208	1,767
5	5	0,550	0,013	0,035	6,757	0,162	1,105	0,528	4,034	3,227
6	6	0,550	0,014	0,043	6,757	0,177	1,374	0,657	5,016	4,013
7	7	0,752	0,016	0,076	9,243	0,197	2,413	1,153	8,805	7,044
8	8	0,834	0,018	0,099	10,251	0,216	3,142	1,501	11,466	9,173
9	9	0,874	0,019	0,118	10,738	0,237	3,747	1,790	13,674	10,939
10	10	0,357	0,019	0,043	4,382	0,229	1,383	0,660	5,046	4,037
11	11	0,385	0,061	0,013	4,728	0,753	0,422	0,202	1,540	1,232
12	12	0,240	0,016	0,035	2,953	0,190	1,109	0,530	4,047	3,238
13	13	0,222	0,118	-0,065	2,730	1,445	-2,058	-0,983	-7,510	-6,008
14	14	0,264	0,154	-0,085	3,240	1,890	-2,721	-1,300	-9,930	-7,944
15	15	0,314	0,190	-0,102	3,859	2,334	-3,259	-1,557	-11,893	-9,514

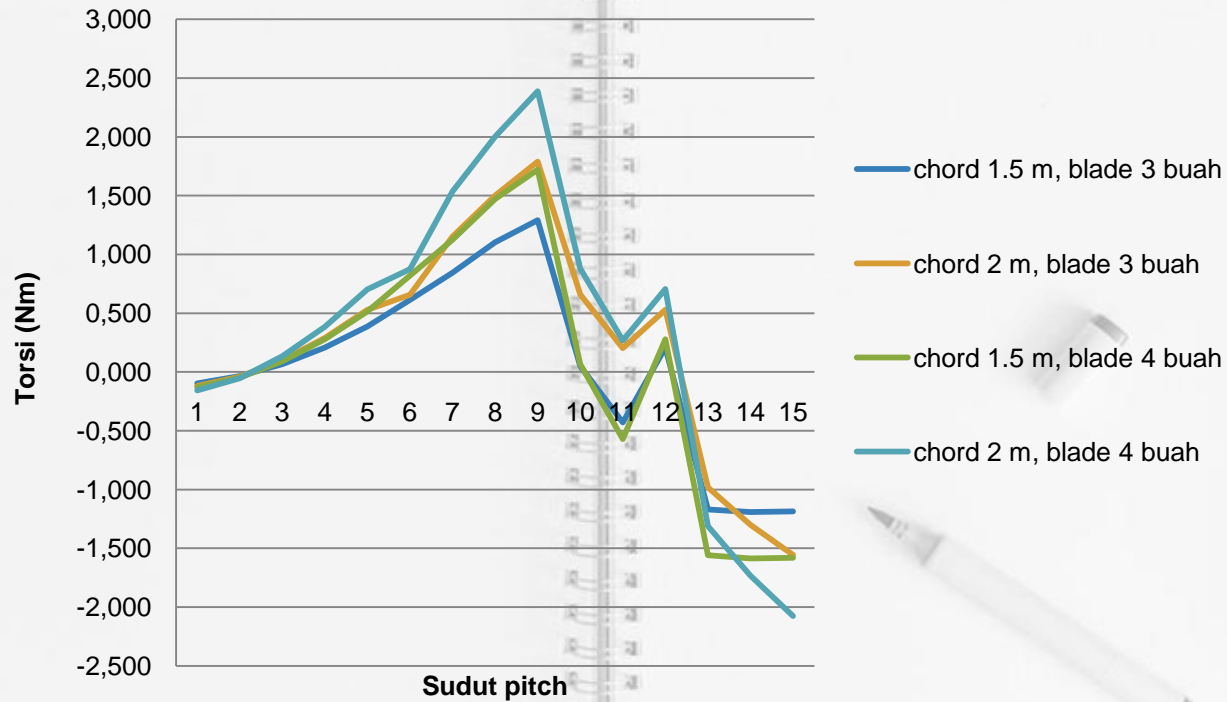
## Blade 4 & Chord 1,5 m

No.	Sudut Pitch	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi(Nm)	Torsi rata-rata(Nm)	Pt(W)	Pe(W)
1	1	0,110	0,010	-0,008	1,351	0,128	-0,202	-0,129	-0,985	-0,788
2	2	0,220	0,011	-0,003	2,703	0,130	-0,074	-0,047	-0,361	-0,289
3	3	0,330	0,011	0,006	4,054	0,140	0,141	0,089	0,684	0,547
4	4	0,440	0,012	0,018	5,406	0,152	0,437	0,278	2,127	1,702
5	5	0,550	0,014	0,034	6,757	0,172	0,810	0,516	3,941	3,153
6	6	0,660	0,015	0,054	8,107	0,187	1,286	0,819	6,259	5,007
7	7	0,746	0,017	0,074	9,163	0,209	1,767	1,125	8,598	6,878
8	8	0,827	0,019	0,097	10,158	0,227	2,310	1,471	11,239	8,992
9	9	0,852	0,020	0,113	10,464	0,251	2,701	1,720	13,142	10,514
10	10	0,132	0,019	0,004	1,623	0,232	0,102	0,065	0,495	0,396
11	11	0,195	0,076	-0,038	2,390	0,935	-0,898	-0,572	-4,369	-3,496
12	12	0,153	0,014	0,018	1,882	0,171	0,436	0,278	2,122	1,698
13	13	0,203	0,152	-0,102	2,493	1,867	-2,448	-1,559	-11,910	-9,528
14	14	0,255	0,171	-0,104	3,127	2,101	-2,492	-1,588	-12,129	-9,703
15	15	0,308	0,190	-0,104	3,785	2,334	-2,481	-1,580	-12,073	-9,658

## Blade 4 & Chord 2 m

No.	Sudut Pitch	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi(Nm)	Torsi rata-rata(Nm)	Pt(W)	Pe(W)
1	1	0,110	0,010	-0,008	1,351	0,119	-0,248	-0,158	-1,205	-0,964
2	2	0,220	0,010	-0,003	2,703	0,124	-0,083	-0,053	-0,405	-0,324
3	3	0,330	0,011	0,007	4,054	0,131	0,210	0,133	1,020	0,816
4	4	0,440	0,012	0,019	5,406	0,144	0,605	0,385	2,944	2,356
5	5	0,550	0,013	0,035	6,757	0,162	1,105	0,704	5,379	4,303
6	6	0,550	0,014	0,043	6,757	0,177	1,374	0,875	6,688	5,351
7	7	0,752	0,016	0,076	9,243	0,197	2,413	1,537	11,740	9,392
8	8	0,834	0,018	0,099	10,251	0,216	3,142	2,001	15,288	12,230
9	9	0,875	0,019	0,118	10,744	0,237	3,749	2,388	18,244	14,595
10	10	0,357	0,019	0,043	4,382	0,229	1,383	0,881	6,728	5,382
11	11	0,385	0,061	0,013	4,728	0,753	0,422	0,269	2,053	1,643
12	12	0,240	0,016	0,035	2,953	0,190	1,109	0,706	5,397	4,317
13	13	0,222	0,118	-0,065	2,730	1,445	-2,058	-1,311	-10,013	-8,010
14	14	0,264	0,154	-0,085	3,240	1,890	-2,721	-1,733	-13,240	-10,592
15	15	0,314	0,190	-0,102	3,859	2,334	-3,259	-2,076	-15,857	-12,686

# Grafik Perubahan Torsi Terhadap Sudut Pitch



## Blade 4

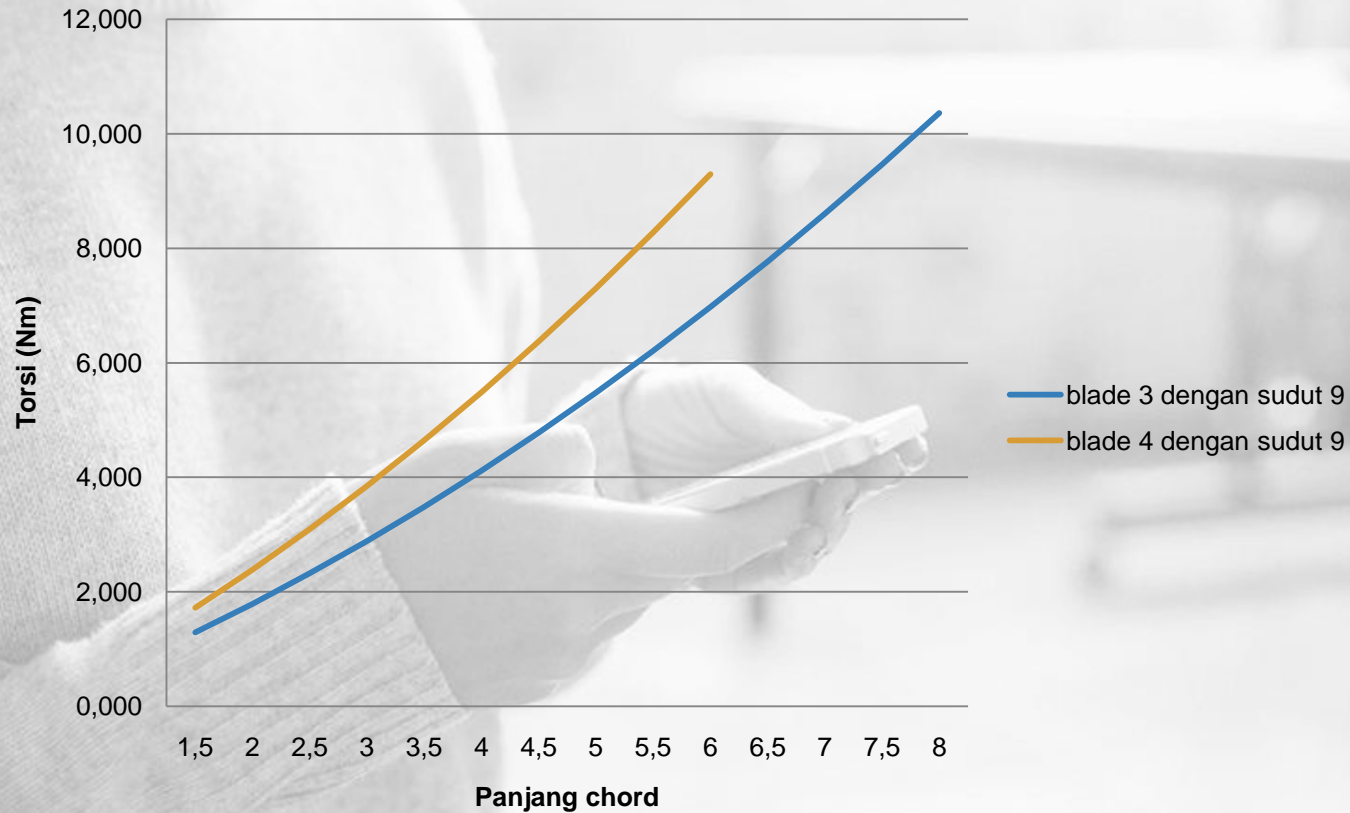
chord(m)	Sudut Pitch	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi(Nm)	Torsi rata-rata(Nm)	Pt(W)	Pe(W)
1,5	9	0,852	0,020	0,113	10,464	0,251	2,701	1,720	13,142	10,514
2	9	0,875	0,019	0,118	10,744	0,237	3,749	2,388	18,244	14,595
2,5	9	0,8964	0,0183	0,122	11,013	0,225	4,862	3,097	23,660	18,928
3	9	0,9184	0,0174	0,126	11,283	0,214	6,041	3,848	29,399	23,519
3,5	9	0,9403	0,0164	0,131	11,552	0,201	7,294	4,646	35,495	28,396
4	9	0,9623	0,0155	0,135	11,823	0,190	8,612	5,485	41,908	33,526
4,5	9	0,9842	0,0145	0,140	12,092	0,178	10,005	6,372	48,685	38,948
5	9	1,0062	0,0136	0,144	12,362	0,167	11,461	7,300	55,772	44,618
5,5	9	1,0281	0,0126	0,148	12,631	0,155	12,994	8,276	63,230	50,584
6	9	1,0501	0,0116	0,153	12,901	0,143	14,598	9,298	71,038	56,830



## Blade 3

chord(m)	Sudut Pitch	Cl	Cd	Ct	Fl	Fd	Torsi(Nm)	Torsi rata-rata(Nm)	Pt(W)	Pe(W)
1,5	9	0,8517	0,0204	0,113	10,464	0,251	2,701	1,290	9,857	7,885
2	9	0,8745	0,0193	0,118	10,744	0,237	3,749	1,791	13,683	10,946
2,5	9	0,8964	0,0183	0,122	11,013	0,225	4,862	2,323	17,745	14,196
3	9	0,9184	0,0174	0,126	11,283	0,214	6,041	2,886	22,049	17,639
3,5	9	0,9403	0,0164	0,131	11,552	0,201	7,294	3,484	26,621	21,297
4	9	0,9623	0,0155	0,135	11,823	0,190	8,612	4,114	31,431	25,145
4,5	9	0,9842	0,0145	0,140	12,092	0,178	10,005	4,779	36,514	29,211
5	9	1,0062	0,0136	0,144	12,362	0,167	11,461	5,475	41,829	33,463
5,5	9	1,0281	0,0126	0,148	12,631	0,155	12,994	6,207	47,423	37,938
6	9	1,0501	0,0116	0,153	12,901	0,143	14,598	6,974	53,278	42,623
6,5	9	1,0721	0,0107	0,157	13,172	0,131	16,263	7,769	59,354	47,483
7	9	1,0941	0,0097	0,162	13,442	0,119	18,007	8,602	65,721	52,577
7,5	9	1,1159	0,0088	0,166	13,710	0,108	19,807	9,462	72,289	57,831
8	9	1,1379	0,0078	0,170	13,980	0,096	21,692	10,362	79,168	63,334

# Grafik Perubahan Torsi Terhadap Perubahan Panjang Chord



## Jumlah Turbin

Kebutuhan daya = 2000 Watt  
Power turbin = 63,33 Watt  
Jumlah turbin angin = 32 buah

# Capital Expenditure (CAPEX)

## Material Turbin

Item	Jumlah	Cost
Airfoils	3	Rp 7.930.000
Radial arm	6	Rp 1.950.000
Shaft	1	Rp 1.950.000
Connectin	1	Rp 390.000
Base	4	Rp 4.030.000
Base steel	2	Rp 520.000
Blade assembly	1	Rp 65.000
Linear spr	3	Rp 195.000
Bearing	3	Rp 3.900.000
	Total	Rp 20.930.000

## Item untuk Destilasi

Item	Jumlah	Cost
Turbin Angin	32	Rp 669.760.000
Inverter	1	Rp 36.000.000
Generator	1	Rp 8.500.000
Baterai	1	Rp 10.000.000
Kabel daya	1	Rp 1.600.000
Fondasi	1	Rp 8.000.000
Alat Destilasi	1	Rp 8.500.000
	Total	Rp 742.360.000

## Operational Expenditure (OPEX)

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

# Perhitungan Kajian Ekonomis

Tahun	CAPEX	Payment Bank	OPEX	Revenue	Earning before Tax	Tax	Earning after Tax	Cash Flow	mmulative Cash F
0	Rp 742.360.000	0	0	0	0	0	0	Rp (742.360.000)	Rp (742.360.000)
1		Rp 120.815.671	Rp 37.118.000	Rp 322.915.500	Rp 164.981.829	Rp 16.498.183	Rp 148.483.646	Rp 148.483.646	Rp (593.876.354)
2		Rp 120.815.671	Rp 37.860.360	Rp 322.915.500	Rp 164.239.469	Rp 16.423.947	Rp 147.815.522	Rp 147.815.522	Rp (446.060.832)
3		Rp 120.815.671	Rp 38.617.567	Rp 322.915.500	Rp 163.482.262	Rp 16.348.226	Rp 147.134.036	Rp 147.134.036	Rp (298.926.796)
4		Rp 120.815.671	Rp 39.389.919	Rp 322.915.500	Rp 162.709.910	Rp 16.270.991	Rp 146.438.919	Rp 146.438.919	Rp (152.487.877)
5		Rp 120.815.671	Rp 40.177.717	Rp 322.915.500	Rp 161.922.112	Rp 16.192.211	Rp 145.729.901	Rp 145.729.901	Rp (6.757.976)
6		Rp 120.815.671	Rp 40.981.271	Rp 322.915.500	Rp 161.118.558	Rp 16.111.856	Rp 145.006.702	Rp 145.006.702	Rp 138.248.726
7		Rp 120.815.671	Rp 41.800.897	Rp 322.915.500	Rp 160.298.932	Rp 16.029.893	Rp 144.269.039	Rp 144.269.039	Rp 282.517.765
8		Rp 120.815.671	Rp 42.636.915	Rp 322.915.500	Rp 159.462.914	Rp 15.946.291	Rp 143.516.623	Rp 143.516.623	Rp 426.034.387
9		Rp 120.815.671	Rp 43.489.653	Rp 322.915.500	Rp 158.610.176	Rp 15.861.018	Rp 142.749.158	Rp 142.749.158	Rp 568.783.546
10		Rp 120.815.671	Rp 44.359.446	Rp 322.915.500	Rp 157.740.383	Rp 15.774.038	Rp 141.966.345	Rp 141.966.345	Rp 710.749.891

# Kesimpulan

## 1st

Untuk memenuhi suplay daya yang dibutuhkan alat destilasi di Pulau Tabuhan dibutuhkan vertical axis wind turbin sebanyak 32 buah

## 4th

Penambahan panjang chord pada turbin menyebabkan torsi rata-rata, power turbin, dan power elektrik yang dihasilkan oleh VAWT meningkat.

## 2nd

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.

## 5th

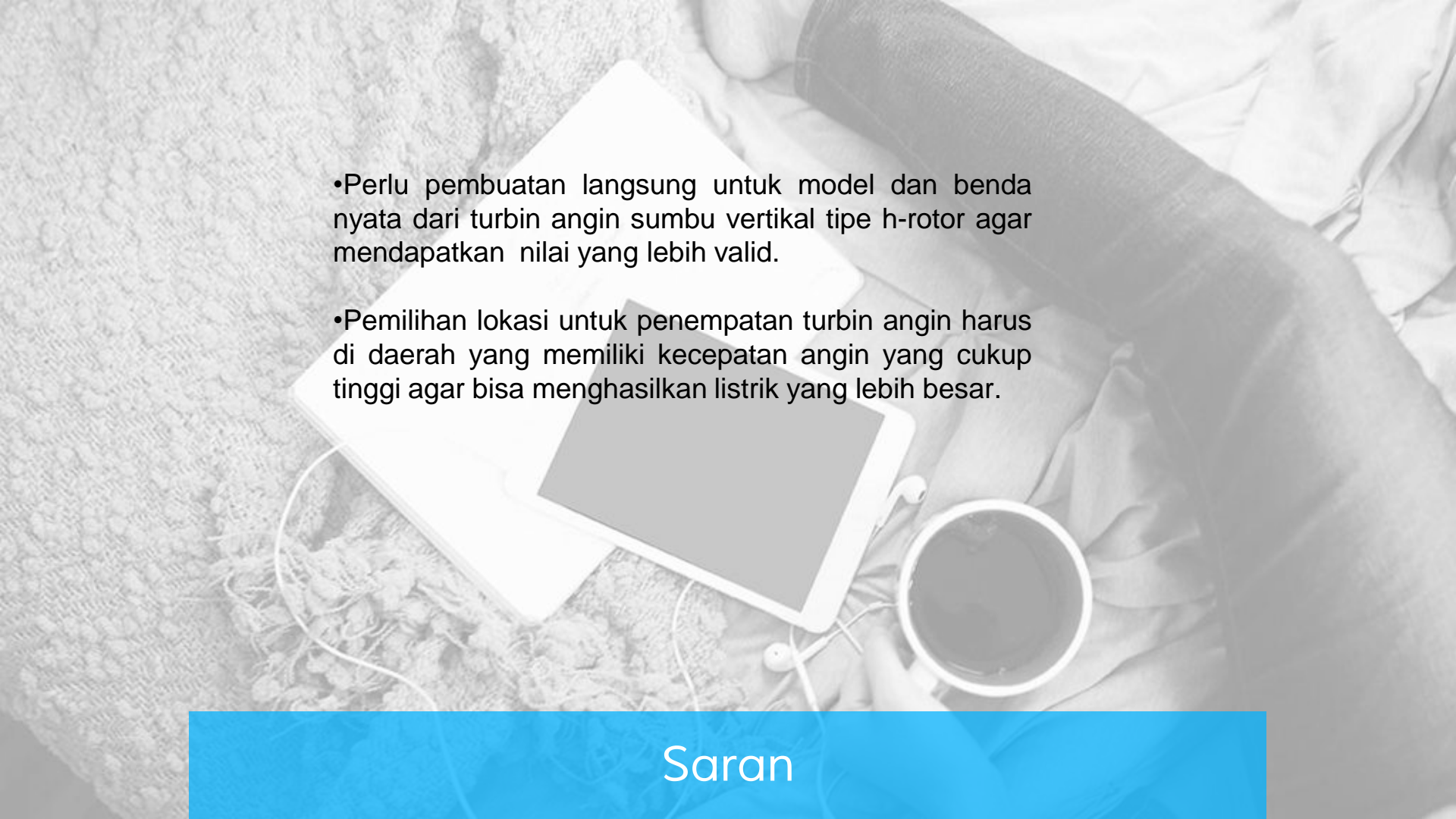
Sudut pitch yang paling optimal untuk desain turbin di pulau Tabuhan pada penelitian ini adalah sebesar  $9^{\circ}$  untuk semua variasi jumlah blade dan panjang chord.

## 3rd

Penambahan jumlah blade pada turbin mengakibatkan torsi, torsi rata-rata, power turbin, dan power elektrik yang dihasilkan oleh VAWT meningkat

## 6th

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

- 
- A grayscale photograph of a person sitting on a bed. They are wearing dark trousers and a light-colored shirt. In front of them is a white laptop, a white tablet, and a white coffee cup. The person's hands are visible near the tablet and coffee cup. The background is a textured, light-colored surface, possibly a rug or blanket.
- Perlu pembuatan langsung untuk model dan benda nyata dari turbin angin sumbu vertikal tipe h-rotor agar mendapatkan nilai yang lebih valid.
  - Pemilihan lokasi untuk penempatan turbin angin harus di daerah yang memiliki kecepatan angin yang cukup tinggi agar bisa menghasilkan listrik yang lebih besar.

Saran



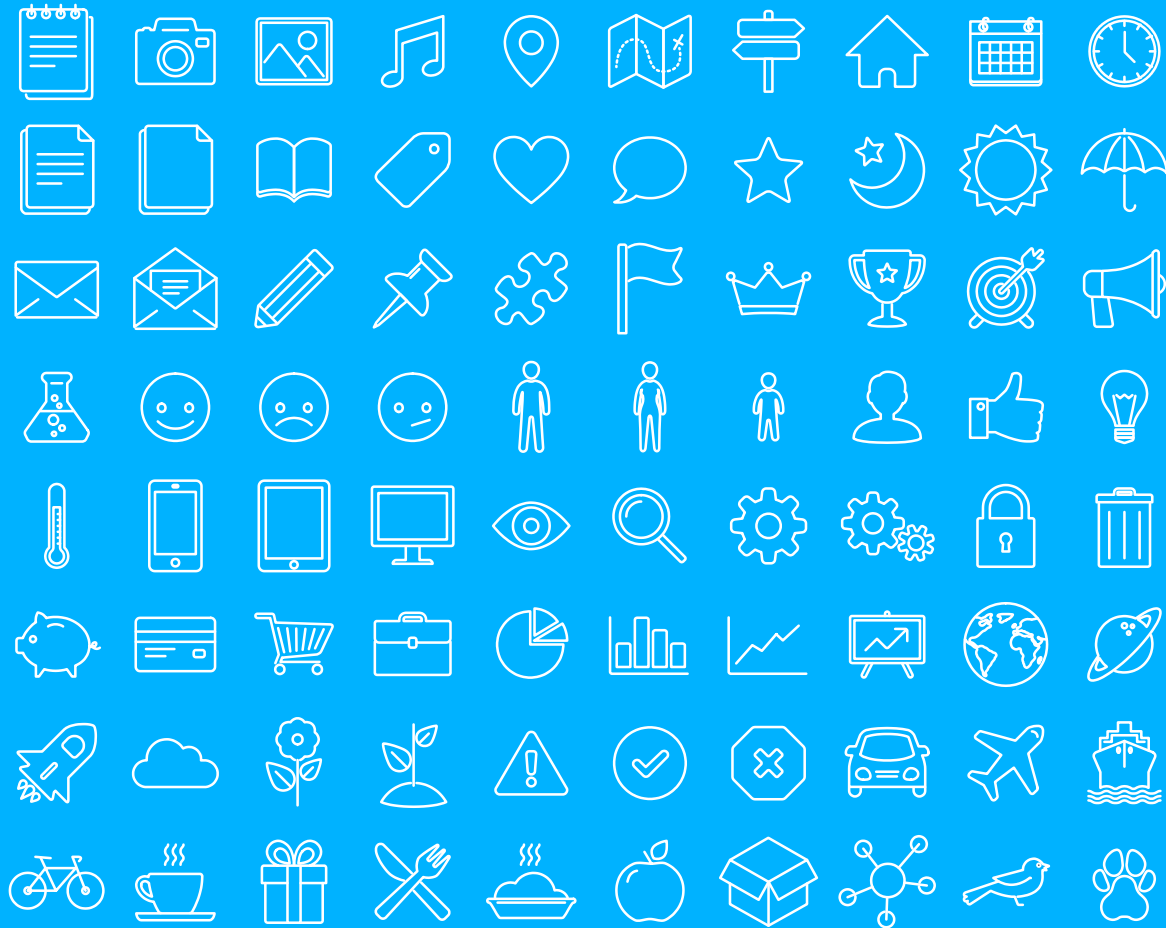
## Referensi

- 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 University 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 Vertical Axis Wind Turbine*, Dissertation. 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)

# Thanks!

Any questions?





SlidesCarnival icons are editable shapes.

This means that you can:

- Resize them without losing quality.
- Change line color, width and style.

Isn't that nice? :)

Examples:

