

Analisis Pemanfaatan Energi Angin Sebagai Sumber Pembangkit Energi Listrik

Andi Mulkan¹⁾, Nazaruddin²⁾, Misswar Abd³⁾

¹Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Iskandarmuda;
Jl. Kampus Unida-Surien, Kota Banda Aceh, Telp. (0651) 42225 - 42098 - 42219
Email: andee_nd@yahoo.com, nazar@unida-aceh.ac.id

ABSTRAK

Tujuan dari studi penelitian ini adalah untuk mengetahui potensi energi angin di Kota Banda Aceh serta merencanakan spesifikasi turbin angin yang sesuai berdasarkan hasil perhitungan. Permintaan akan energi khususnya energi listrik di Indonesia semakin tinggi dan menjadi bagian tak terpisahkan dari kebutuhan hidup masyarakat maupun sektor industri. Bahan bakar fosil yang digunakan sebagai bahan utama untuk menghasilkan listrik, ketersediannya semakin terbatas, belum lagi polusi yang dihasilkan oleh proses konversi dari bahan bakar fosil tersebut. Pengembangan sumber energi alternatif makin digalakkan melalui kebijakan pemerintah untuk mendorong dan memfasilitasi pemanfaatan sumber-sumber energi tersebut misalnya hydro, matahari, panas bumi, biomassa dan juga angin. Dari latar belakang dan rumusan masalah diatas maka dilakukan studi penelitian yang difokuskan kepada sumber energi angin. Hasil perhitungan didapat untuk diameter rotor 8 meter, daya output yang paling besar terlihat pada Bulan Agustus yaitu 18,71 kW dan yang terendah pada Bulan Februari yaitu 0,95 kW. Daya output rata-rata adalah 7,18 kW. Dari hasil perhitungan jelas terlihat bahwa daya output sangat tergantung pada kecepatan angin dan luas area sapuan rotor (rotor swept area). Spesifikasi turbin yang direncanakan adalah turbin angin sumbu horizontal dengan jumlah sudu 3 dan daya output 10 kW. Koefisien rotor adalah 0,42 dengan diameter rotor 8 meter.

Kata Kunci: Sistem Tenaga Angin, Daya Output, Spesifikasi Turbin

1. PENDAHULUAN

Pengembangan energi alternatif baru dan terbarukan sedang digalakkan melalui kebijakan pemerintah untuk mendorong dan memfasilitasi pemanfaatan sumber-sumber energi terbarukan misalnya hydro, matahari, panas bumi, biomassa dan juga angin. Energi angin merupakan energi terbarukan yang sangat fleksibel. Pemanfaatan energi angin dapat dilakukan dimana-mana, baik di daerah landai maupun dataran tinggi, bahkan dapat di terapkan di laut. Pemanfaatan sumber energi angin di Indonesia masih sangat sedikit, hal tersebut dimungkinkan karena teknologi atau pengetahuan yang belum populer, arah angin di daerah Indonesia mudah berubah-ubah dan kecepatannya berfluktuasi dan kurang ekonomis. Namun daerah-daerah yang memiliki potensi energi angin yang tinggi perlu diidentifikasi agar pemanfaatan energi angin ini lebih kompetitif dibandingkan dengan energi alternative lainnya (Marnoto, 2010).

Angin sebagai sumber yang tersedia di alam dapat dimanfaatkan sebagai salah satu sumber energi listrik. Angin merupakan sumber energi yang tak ada habisnya

sehingga pemanfaatan sistem konversi energi angin akan berdampak positif terhadap lingkungan. Angin merupakan salah satu bentuk energi yang tersedia di alam yang diperoleh melalui konversi energi kinetik. Energi dari angin diubah menjadi energi kinetik atau energi listrik. Energi angin dapat memberikan kontribusi signifikan bagi pengurangan emisi karena tidak menghasilkan emisi CO₂ selama produksi energi listrik oleh turbin angin.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghitung besarnya potensi energi angin di Kota Banda serta menentukan spesifikasi turbin angin yang sesuai dengan daya output. Penelitian ini hanya dibatasi pada perhitungan besarnya potensi atau daya yang dibangkitkan oleh energi angin yang berlokasi di Kota Banda Aceh berdasarkan data-data kecepatan angin dari BMKG Blang Bintang.

2. TINJAUAN PUSTAKA

Energi kinetik dari udara dengan massa "m" yang bergerak dan kecepatan "V", dapat dilihat pada persamaan dibawah:

$$\text{Energi Kinetik} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2 \quad (\text{Joule}) \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

Daya di dalam udara yang bergerak adalah laju alir energi kinetik per detik, seperti yang terlihat pada persamaan berikut:

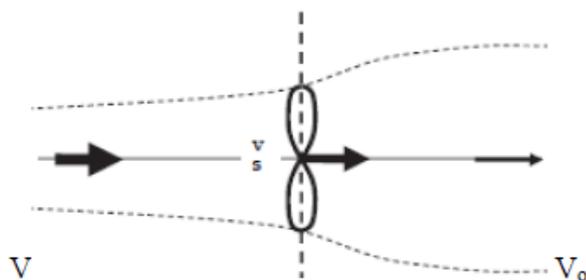
$$\text{Daya} = \frac{1}{2} \cdot (\text{massa laju alir per detik}) \cdot V^2 \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

Jika P = Daya mekanik di dalam udara yang bergerak, ρ = densitas udara (kg/m³), A = luas area sapuan baling-baling (m²) dan V = kecepatan angin (m/s), maka laju alir volumetrik adalah A.V, laju alir massa udara adalah ρ.A.V, maka persamaan (2.2) menjadi:

$$\begin{aligned} \text{Daya} &= \frac{1}{2} \cdot (\rho \cdot A \cdot V) \cdot V^2 \\ &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (\text{Watt}) \quad \dots\dots\dots (2.3) \end{aligned}$$

2.2 Daya Yang Diekstrak dari Angin

Daya aktual yang diekstrak dari rotor baling-baling adalah perbedaan antara kecepatan angin yang di hulu dan kecepatan angin di hilir, seperti yang terlihat pada Gambar 2.1 dibawah:



Gambar 2.1 Penampang kecepatan angin hulu (V) dan hilir (Vo)

$$\text{Daya aktual } P_o = \frac{1}{2} \cdot (\text{laju alir massa per detik}) \cdot (V^2 - V_o^2) \dots\dots (2.4)$$

Dimana:

P_o = daya yang diekstrak oleh rotor

V = kecepatan angin di hulu (yang memasuki baling baling)

V_o = kecepatan angin di hilir (yang keluar dari baling-baling)

Laju alir massa udara melalui baling-baling adalah:

$$\text{Laju alir massa} = \rho \cdot A \cdot \frac{V + V_o}{2} \dots\dots\dots (2.5)$$

Daya mekanikal yang diekstrak oleh rotor untuk menggerakkan generator adalah:

$$P_o = \frac{1}{2} \left[\rho \cdot A \cdot \frac{(V + V_o)}{2} \right] \cdot (V^2 - V_o^2) \dots\dots\dots (2.6)$$

$$P_o = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \frac{\left(1 + \frac{V_o}{V}\right) \left[1 - \left(\frac{V_o}{V}\right)^2\right]}{2} \dots\dots\dots (2.7)$$

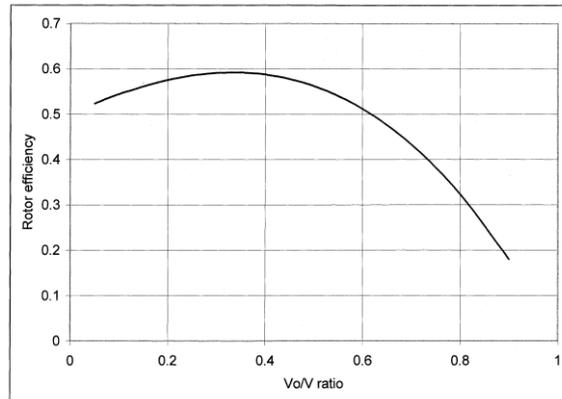
Daya yang diekstrak dari rotor dinyatakan sebagai fraksi dari tenaga angin di hulu, dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$P_o = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot C_p \dots\dots\dots (2.7)$$

dimana

$$C_p = \frac{\left(1 + \frac{V_o}{V}\right) \left[1 - \left(\frac{V_o}{V}\right)^2\right]}{2}$$

C_p adalah sebagian kecil dari tenaga angin hulu, yang ditangkap oleh baling-baling. Sisa daya dibuang atau terbuang dalam angin hilir. Faktor C_p disebut koefisien kekuatan rotor atau efisiensi rotor. Untuk mengingat kecepatan angin hulu, nilai C_p tergantung pada rasio aliran turun ke kecepatan angin hulu, yaitu (V_o / V). Grafik koefisien daya (V_o / V) menunjukkan bahwa C_p adalah fungsi tunggal, maksimum-nilai, seperti yang terlihat pada Gambar 2.2.



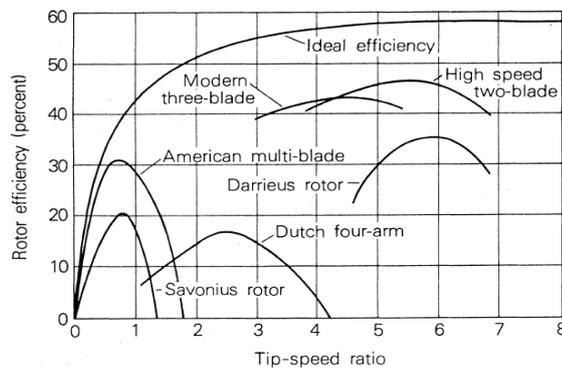
Gambar 2.2 Effisiensi rotor versus rasio Vo/V (Sumber: Patel, 1999)

Effisiensi rotor memiliki nilai maksimum 0,59 ketika (V_o / V) adalah sepertiga. Daya maksimum diekstraksi dari angin pada saat itu rasio kecepatan, ketika kecepatan angin hilir sama dengan sepertiga dari kecepatan hulu. Dalam kondisi ini:

$$P_{\max} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot 0.59 \quad (\text{Watt}) \dots\dots\dots (2.8)$$

Nilai teoritis maksimum C_p adalah 0,59. Dalam desain praktis, maksimum dicapai C_p bawah 0,5 untuk kecepatan tinggi, turbin dua bilah, dan antara 0,2 dan 0,4 untuk turbin kecepatan lambat dengan bilah lebih (Gambar 2.3). Jika nilai C_p 0,5 sebagai efisiensi rotor maksimum praktis, output daya maksimum turbin angin menjadi:

$$P_{\max} = \frac{1}{4} \cdot \rho \cdot V^3 \quad (\text{Watt/m}^2) \dots\dots\dots (2.9)$$



Gambar 2.3 Effisiensi rotor versus rasio kecepatan ujung (Sumber: Patel, 1999)

2.3 Daya Aktual Yang Dibangkitkan Turbin

Sistem konversi energi angin yang dapat menghasilkan energi listrik ditentukan oleh faktor kecepatan angin, kerapatan udara (merupakan fungsi temperatur dan tekanan udara), efisiensi transmisi gearbox, efisiensi baterai dan efisiensi generator (Tong, 2010).

Maka, $P_{\text{maks}} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot c_p \cdot \eta_{Tr} \cdot \eta_G \cdot \eta_B \dots\dots\dots (2.10)$

Dimana η_{Tr} = Effisiensi transmisi
 η_G = Effisiensi generator
 η_B = Effisiensi Baterai

2.4 Area Sapuan Rotor (Rotor Swept Area)

Seperti yang tertulis pada persamaan daya 2.8, keluaran daya turbin angin berbanding lurus dengan area sapuan rotor. Untuk turbin angin sumbu horizontal (Horizontal Axis Wind Turbine), area sapuan rotor dapat dihitung:

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

dimana D adalah diameter rotor (meter) ... (2.11)

Untuk turbin Darriues (turbin sumbu vertikal), perhitungan area sapuan lebih kompleks karena berhubungan dengan integral bentuk elips. Namun demikian, pendekatan bentuk baling-baling seperti parabola, sehingga persamaan dapat ditulis:

$$A = \frac{2}{3} \cdot (\text{Maksimum lebar rotor di tengah}) \times (\text{Tinggi rotor}) \dots (2.12)$$

3. METODELOGI

Penelitian ini dilakukan mulai Bulan April 2015 sampai dengan Bulan Mei 2015 dengan lokasi penelitian adalah di Kota Banda Aceh.

Tabel 3.1 berikut adalah data-data kecepatan angin untuk Banda Aceh tahun 2014. Data ini diperoleh dari BMKG Balai Besar Wilayah I, Stasiun Meteorologi Blang Bintang Banda Aceh. Tabel 3.1 Data Kecepatan Angin Banda Aceh Tahun 2014

No	Bulan	Arah Angin Terbanyak	Kecepatan Angin (Knot)
1	Januari	Timur Laut	12
2	Februari	Calm/ Tenggara	10
3	Maret	Calm/ Tenggara	15
4	April	Calm/ Tenggara	14
5	Mei	Selatan	17
6	Juni	Selatan	15
7	Juli	Barat Daya	23
8	Agustus	Selatan	27
9	September	Calm/ Barat Daya	18
10	Oktober	Calm/ Barat	25
11	November	Barat Daya	23
12	Desember	Selatan	20

Sumber: BMKG Balai Besar Wilayah I, Stasiun Meteorologi Blang Bintang Banda Aceh.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data kecepatan angin yang diperoleh dari BMKG Balai Besar Wilayah I, Stasiun Meteorologi Blang Bintang Banda Aceh adalah dalam satuan Knot. Untuk menghitung daya, maka satuan kecepatan Knot harus dikonversikan ke satuan SI yaitu m/s, maka didapat kecepatan angin pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Data Kecepatan Angin Banda Aceh Tahun 2014 setelah dikonversi

No	Bulan	Arah Angin Terbanyak	Kec. Angin (Knot)	Kec. Angin (m/s)
1	Jan	Timur Laut	12	6,17
2	Feb	Calm/ Tenggara	10	5,14
3	Mar	Calm/ Tenggara	15	7,72
4	Apr	Calm/ Tenggara	14	7,20
5	Mei	Selatan	17	8,75
6	Jun	Selatan	15	7,72
7	Jul	Barat Daya	23	11,83
8	Agust	Selatan	27	13,89
9	Sept	Calm/ Barat Daya	18	9,26
10	Okt	Calm/ Barat	25	12,86
11	Nov	Barat Daya	23	11,83
12	Des	Selatan	20	10,29

Sumber: BMKG Balai Besar Wilayah I, Stasiun Meteorologi Blang Bintang Banda Aceh.

Dari Tabel 4.1 diatas, dapat dihitung energi kinetik, untuk kecepatan angin pada Bulan Januari ($V = 6,17$ m/s):

$$\text{maka } E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$

Dimana :

$$m = \text{laju aliran massa udara} = \rho \cdot A \cdot V$$

ρ = densitas udara,

Dari Quaschnig 2005, besarnya densitas udara adalah fungsi dari temperatur, seperti yang terlihat pada tabel dibawah:

Tabel 4.2: Densitas udara sebagai fungsi dari temperatur

Temperature θ in $^{\circ}\text{C}$	-20	-10	0	10	20	30	40
Density ρ in kg/m^3	1.377	1.324	1.275	1.230	1.188	1.149	1.112

Sumber: Quaschning 2005

Maka, dalam penelitian ini temperatur diasumsikan 30°C dan $\rho = 1,149\text{ kg/m}^3$.
Selanjutnya, A (luas daerah sapuan rotor) = $\pi/4 \cdot D^2$. Pada penelitian ini, diameter rotor (D) diambil 8 meter (mengikuti penelitian terdahulu). Maka, luas daerah sapuan :

$$A = \frac{3,14}{4} \cdot (8)^2$$
$$= 50,24\text{ m}^2$$

Maka laju alir massa udara:

$$m = \rho \cdot A \cdot V$$
$$= 1,149\text{ kg/m}^3 \cdot 50,24\text{ m}^2 \cdot 6,17\text{ m/s}$$
$$= 356,17\text{ kg/s}$$

Maka energi kinetik dapat dihitung:

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot V^2$$
$$= \frac{1}{2} \cdot 356,17\text{ kg/s} \cdot (6,17\text{ m/s})^2$$
$$= 6779,5\text{ Joule}$$

Daya Output

Dari persamaan daya output dari turbin dapat dihitung:

$$P_{\text{maks}} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot c_p$$

Dalam penelitian ini, efisiensi rotor c_p diambil 0,42 (dari Diagram / Gambar 2.3) karena desain turbin direncanakan dengan tiga bilah.

$$\text{Maka, } P_{\text{maks}} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot c_p$$
$$= \frac{1}{2} \cdot 1,149\text{ kg/m}^3 \cdot 50,24\text{ m}^2 \cdot (6,17\text{ m/s})^3 \cdot 0,42$$
$$= 2847,37\text{ Watt}$$

Sistem konversi energi angin yang dapat menghasilkan energi listrik ditentukan oleh faktor kecepatan angin, kerapatan udara (merupakan fungsi temperatur dan tekanan udara), efisiensi transmisi gearbox, efisiensi baterai dan efisiensi generator.

Pada penelitian ini efisiensi transmisi gearbox 90%, efisiensi generator 80% dan efisiensi baterai 80% , maka energi listrik yang dapat dibangkitkan:

$$P_{\text{maks}} = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot V^3 \cdot c_p \cdot \eta_{\text{Tr}} \cdot \eta_{\text{G}} \cdot \eta_{\text{B}}$$
$$= \frac{1}{2} \cdot 1,149\text{ kg/m}^3 \cdot 50,24\text{ m}^2 \cdot (6,17\text{ m/s})^3 \cdot 0,42 \cdot (0,9) \cdot (0,8) \cdot (0,8)$$
$$= 1640,09\text{ Watt}$$

Perhitungan putaran generator untuk menghasilkan listrik, didapat dengan persamaan:

$$n = \frac{60 \cdot \lambda \cdot V}{\pi \cdot D}$$

dimana n = putaran generator (rpm)
 λ = Tip Speed Ratio
 V = kecepatan angin
 D = diameter sudu

Tip Speed Ratio TSR (λ) dalam perhitungan ini diambil 4,2 (Gambar 2.3) berdasarkan perencanaan tiga sudu. Maka, putaran generator:

$$\begin{aligned} n &= \frac{60 \cdot \lambda \cdot V}{\pi \cdot D} \\ &= \frac{60 \times 4,2 \times (6,17)}{3,14 \times 8} \\ &= \frac{1554,84}{25,12} = 61,9 \text{ rpm} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan untuk bulan Februari sampai dengan Desember selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut:

Tabel 4.3 Hasil Perhitungan (Diameter Rotor = 8 meter)

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)	Laju Aliran Massa Udara (kg/s)	Energi Kinetik (kJ)	Daya Output (kW)	Densitas Daya (W/m ²)	Putaran Generator (rpm)
Jan	6,17	356,17	6,78	1,64	67,47	61,90
Feb	5,14	296,71	3,92	0,95	39,01	51,56
Mar	7,72	445,64	13,28	3,21	132,16	77,45
Apr	7,2	415,63	10,77	2,61	107,22	72,23
Mei	8,75	505,10	19,34	4,68	192,44	87,78
Jun	7,72	445,64	13,28	3,21	132,16	77,45
Jul	11,83	682,90	47,79	11,56	475,57	118,68
Agust	13,89	801,81	77,35	18,71	769,78	139,34
Sept	9,26	534,54	22,92	5,54	228,08	92,89
Okt	12,86	742,35	61,39	14,85	610,92	129,01
Nov	11,83	682,90	47,79	11,56	475,57	118,68
Des	10,29	594,00	31,45	7,61	312,97	103,23
Rata-Rata	9,39	541,95	29,67	7,18	295,28	94,18

Tabel 4.4 dibawah adalah hasil perhitungan dengan kecepatan angin yang sama, dengan diameter rotor 6 meter.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan (Diameter Rotor = 6 meter)

Bulan	Kecepatan Angin (m/s)	Laju Aliran Massa Udara (kg/s)	Energi Kinetik (kJ)	Daya Output (kW)	Densitas Daya (W/m ²)	Putaran Generator (rpm)
Jan	6,17	200,34	3,81	0,92	67,47	82,53
Feb	5,14	166,90	2,20	0,53	39,01	68,75
Mar	7,72	250,67	7,47	1,81	132,16	103,26
Apr	7,2	233,79	6,06	1,47	107,22	96,31
Mei	8,75	284,12	10,88	2,63	192,44	117,04
Jun	7,72	250,67	7,47	1,81	132,16	103,26

Jul	11,83	384,13	26,88	6,50	475,57	158,24
Agust	13,89	451,02	43,51	10,53	769,78	185,79
Sept	9,26	300,68	12,89	3,12	228,08	123,86
Okt	12,86	417,57	34,53	8,35	610,92	172,01
Nov	11,83	384,13	26,88	6,50	475,57	158,24
Des	10,29	334,12	17,69	4,28	312,97	137,64
Rata-Rata	9,39	304,85	16,69	4,04	295,28	125,58

5. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan pembahasan yang telah dilakukan pada Bab IV, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

Untuk diameter rotor 8 meter, daya output yang paling besar pada Bulan Agustus yaitu 18,71 kW dan yang terendah pada Bulan Februari yaitu 0,95 kW. Daya output rata-rata adalah 7,18 kW dengan kecepatan angin rata-rata pada tahun 2014 adalah 9,39 m/s. Sedangkan untuk diameter rotor 6 meter, daya output tertinggi terlihat pada Bulan Agustus yaitu 10,53 kW dan yang terendah pada Bulan Februari yaitu 0,53 kW.

Kecepatan angin dan luas area sapuan rotor (*rotor swept area*) berpengaruh kepada daya output yang dihasilkan.

Perencanaan spesifikasi turbin angin adalah

Jenis turbin angin	Sumbu Horizontal (HAWT)
Daya output	10 kW
Daya output maksimum	15 kW
Jumlah sudu (<i>blade</i>)	3
Kecepatan angin (<i>cut-in speed</i>)	3 m/s
Batas kecepatan angin (<i>cut-out speed</i>)	10 m/s
Effisiensi rotor C_p	0,42
Diameter rotor	Ø 8 m

DAFTAR PUSTAKA

- 1.Khalig, Alireza and Onar, Omer C., 2010, Energy Harvesting Solar, Wind and Ocean Energy Conversion Systems, CRC Press, Taylor and Francis Group, Boca Raton, Florida.
- 2.Manwell, J.F. and McGowan, J.G., 2009, Wind Energy Explained: Theory, Design and Application, 2nd Edition, John Wiley and Sons, UK.
- 3.Marnoto, Tjukup., 2010, Prarancangan Kincir Angin Axis Vertikal Type Baru Untuk Generator Listrik Tenaga Angin, Prosiding Seminar Nasional Teknik Kimia “Kejuangan” Pengembangan Teknologi Kimia untuk Pengolahan Sumber Daya Alam Indonesia, Yogyakarta, 26 Januari 2010
- 4.Mathew, Sathyajith., 2006, Wind Energy Fundamentals, Resource Analysis and Economics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Netherland.
- 5.Muthallib, Abdul., 2013, Pengaruh Over Voltage Terhadap Kinerja Inverter Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin 10 kW , Skripsi Teknik Elektro, Universitas Iskandarmuda, Surien, Banda Aceh.
- 6.Patel, Mukund R., 1999, Wind and Solar Power Systems, CRC Press, Boca Raton, Florida, USA.
- 7.Pudjanarsa, Astu dan Nursuhud, Djati., 2008, Mesin Konversi Energi, Edisi Revisi, Penerbit ANDI, Yogyakarta.
- 8.Quaschnig, Volker., 2005, Understanding Renewable Energy Systems, Earthscan, London, UK
- Sabonnadiere, Jean-Claude., 2009, Renewable Energies, ISTE Ltd and John Wiley and Sons Inc.
- .Sam, Alimuddin dan Patabang, Daud., 2005, Studi Potensi Energi Angin di Kota Palu Untuk Membangkitkan Energi Listrik, Jurnal SMARTek, Vol 3 No. 1, Februari 2005: 21-26
- 11.Tong, Wei., 2010, Wind Power Generation and Wind Turbine Design, WIT Press, Southampton, UK
- 12.Twidell, John and Weir, Tony., 2006, Renewable Energy Resources, 2nd Edition, Taylor and Francis Group, London.