

Studi Pembangkit Listrik Tenaga Angin Ditinjau Dari Aspek Pembangkitan Energi Listrik

Luthfi Humaidi Abdurrahman
Teknik Elektro
Universitas Pendidikan Indonesia

Abstrak – Kebutuhan energi listrik semakin bertambah seiring populasu dunia semakin bertambah, ini menandakan bahwa energi alternatif pun harus semakin ditingkatkan guna memenuhi kebutuhan energi listrik dunia. Energi listrik yang mudah penginstalan dan juga pengelolaannya masih tergolong sulit diterapkan di pedesaan, teruma pedesaan yang terpencil yang tidak terjangkau oleh PLN, untuk itu sangat penting dalam pencarian sumber energi alternatif. Salah satu sumber energi yang alternatif yaang tak terbatas dan mudah dalam pengelolaannya adalah Pembangkit Listrik Tenaga Angin (PLTA). Tujuan dari penelitian ini untuk mengetahui spesifikasi turbin angin *The Sky Dancer – 500 (TSD-500)* dan sistemnya selama 2 bulan menghasilkan daya berapa, aspek-aspek yang mempengaruhi PLTA. Metode yang digunakan adalah eksperimental dengan pendekatan kuantitatif. Hasil penelitian mendapati faktor eksternal dan internal yang mempengaruhi produksi energi dari turbin angin. Untuk efisiensi sistem, didapat bahwa dari kecepatan angin terendah sebesar 3 m/s dan tertinggi sebesar 12 m/s selama 2 bulan dengan 6 turbin. Serta PLTA dari PT. Lentera Angin Nusantara dapat menghasilkan daya sebesar 182.408 kWh.

Keywords: Energi Alternatif, Pembangkit Listrik Tenaga Angin, *The Sky Dancer – 500 (TSD-500)*, PT.Lentera Angin Nusantara.

Abstract -- *The need for electrical energy is increasing as the world's population is increasing, this indicates that alternative energy must also be increased in order to meet the world's electrical energy needs. Electrical energy that is easy to install and manage is still relatively difficult to implement in rural areas, especially in remote villages that are not reached by the National Electric Company, for this reason it is very important in the search for alternative energy sources. One alternative energy source that is unlimited and easy to manage is the Wind Power Plant (PLTA). The purpose of this research is to find out the specifications of the wind turbine The Sky Dancer – 500 (TSD-500) and how much power the system produces for 2 months, the aspects that affect hydropower. The method used is experimental with a quantitative approach. The results of the study found external and internal factors that affect energy production from wind turbines. For system efficiency, it was found that the lowest wind speed was 3 m/s and the highest was 12 m/s for 2 months with 6 turbines. As well as PLTA from PT. Nusantara Wind Lanterns can generate power of 182,408 kWh.*

Keywords: *Alternative Energy, Wind Power Plant, The Sky Dancer – 500 (TSD-500), PT.Lentera Angin Nusantara.*

I. LATAR BELAKANG

Sumber daya minyak bumi dan batubara semakin menipis dan sulit untuk diperbaharui. Sehingga perlu adanya upaya untuk terus meningkatkan penggunaan atau pemanfaatan dari energi terbarukan seperti salah satunya PLTA guna memenuhi kebutuhan energi listrik.

Indonesia salah satu negara yang memiliki potensi energi angin yang cukup besar, namun memang belum banyak yang menerapkan pemfaatan energi tersebut. Untuk itu dalam penelitian ini ingin melihat seberapa besar sistem PLTA yang dimiliki sebuah perusahaan dalam menghasilkan daya listrik.

Pemanfaatan energi angin di Indonesia saat ini lebih diarahkan untuk listrik pedesaan dan diharapkan dapat menjadi sumber energi alternatif yang dimaksimalkan penggunaannya. Kecepatan angin dalam sebuah PLTA sangat berperan penting dalam mengasilkkan daya. Dengan terus berkembangnya teknologi energi angin dan meningkatnya kebutuhan energi, sistem energi angin akan dapat bersaing.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian yang di lakukan oleh penulis meggunakan metode eksperimental dengan pendekatan kuantitatif yaitu melakukan pengamatan untuk mencari data penelitian yang bertujuan membuat gambaran secara sistematis, faktual dan akurat mengenai turbin angin TSD-500. Kemudian mengambil data daya yang dihasilkan oleh turbin angin dengan berbagai kecepatan angin yang berhembus. Selain itu penelitian ini menggunakan pula metode Observasi nonpartisipatif. yaitu peneliti tidak terlibat langsung dalam kegiatan sehari-hari sistem yang sedang diamati atau digunakan sebagai sumber data.

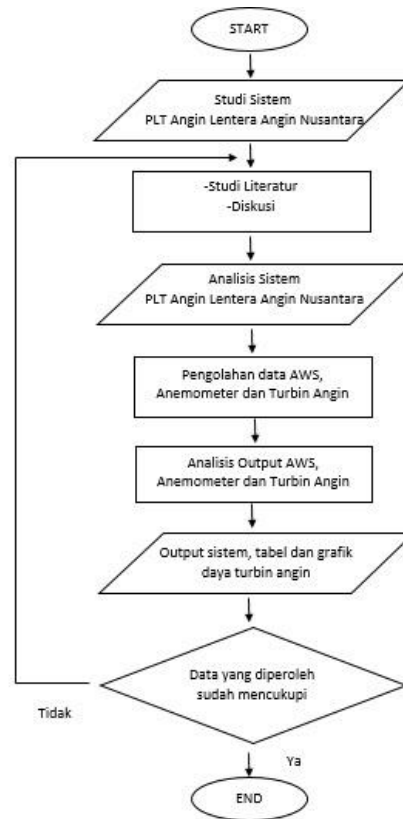


Gambar 1. Diagram alur Pembangkit Listrik Tenaga Angin
PT.Lentera Angin Nusantara

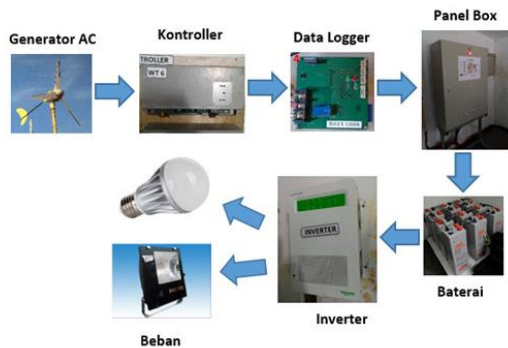
Sistem turbin angin PT. Lentera Angin Nusantara

Putaran bilah membuat generator berputar dan menghasilkan tegangan AC 3 fasa (160 V, 3 A). Kemudian dialirkan menuju *controller* (teknologi pengamanan dan konversi energi) dan hasil keluaran dari controller ini berupa tegangan DC (24V DC, 20A) setelah dikonversi dari AC menjadi DC karena media penyimpanan energi dalam bentuk DC. Kemudian listrik dialirkan kembali menuju *data logger* dilakukan perekaman data dan selanjutnya disimpan ke dalam baterai. Sebelum digunakan ke beban (peralatan listrik tegangan AC), energi yang telah disimpan ini harus dikonversi terlebih dahulu melalui inverter (tegangan DC menjadi AC).

Tegangan yang dihasilkan dari generator turbin angin sendiri merupakan tegangan variatif AC, dikarenakan output generator yang selalu fluktuatif tergantung kondisi angin. Sehingga tegangan sebesar 160V (maksimal di 12 m/s) merupakan setingan controller untuk melakukan pengisian daya ke dalam baterai. Setingan tersebut digunakan sebagai perlindungan dari peralatan dalam sistem turbin angin itu sendiri dan juga sebagai pengamanan tegangan yang akan di suplai ke baterai. Sehingga bila diinginkan pengisian baterai dengan tegangan lebih dari 160 V bisa dilakukan dengan mengatur setingan controller dan MPPT.



Gambar 4. Flow chart pelaksanaan Studi Pembangkit Listrik Tenaga Angin di PT. Lentera Angin Nusantara



Gambar 2. Diagram blok sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT.Lentera Angin Nusantara

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

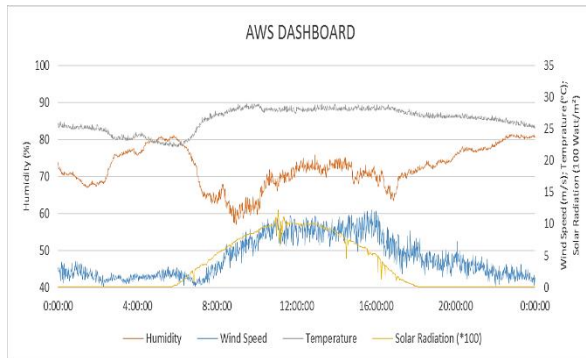
Dasar dalam perhitungan potensi energi angin adalah pengukuran angin. Di dalam pengukuran angin terdapat dua variabel utama yaitu kecepatan (m/s) dan arah angin ($^{\circ}$). Pengukuran kecepatan angin dapat menggunakan anemometer, sementara untuk arah angin dengan menggunakan *wind direction sensor* (WDS). Keduanya akan menyampaikan data untuk direkam oleh *data logger* (DL). Data angin yang dihasilkan ini berupa data per detik. Selain WDS dan DL ada juga alat yang dapat mengambil data cuaca secara lengkap yaitu *automatic weather station* (AWS).

Automatic Weather Station (AWS)

Lentera Angin Nusantara menggunakan Automatic Weather Station (AWS) sebagai alat untuk mendapatkan data cuaca secara lengkap, rinci dan faktual karena alat ini berhubungan langsung dengan satelit. AWS merupakan suatu peralatan atau sistem terpadu yang di disain untuk pengumpulan data cuaca secara otomatis serta di proses agar pengamatan menjadi lebih mudah. AWS ini umumnya dilengkapi dengan sensor, Remote Terminal Unit (RTU), Komputer, unit LED Display dan bagian-bagian lainnya. Sensor-sensor yang digunakan meliputi sensor temperatur, arah dan kecepatan angin (Wind Direction

sensor /WDS), kelembaban, tekanan udara, dan lain-lain.

Data yang di peroleh oleh AWS di PT.Lentera Angin Nusantara diantaranya kecepatan angin (m/s), arah mengalirnya angin (deg N), suhu (C), tekanan udara (hPa), curah hujan (mm), kelembaban (%), tenaga surya (Wm^2) dan lain-lain.



Grafik 5. Hasil olahan data AWS 11 Januari 2015

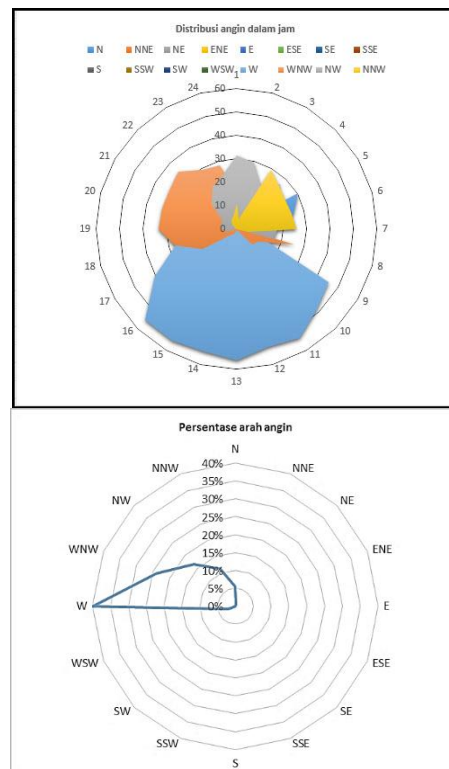
Pada grafik AWS terlihat perbedaan nilai pada setiap jam. Kelembaban (humidity) ditunjukkan dengan garis berwarna jingga, ketika sekitar jam 02.00 – 07.00 udara memiliki kelembaban yang tinggi sekitar 75% - 80% namun ketika memasuki jam 8.00 – 16.00 kelembaban relatif turun, sinar matahari (garis kuning) cenderung memiliki nilai yang meningkat pada jam tersebut. Panas matahari mempengaruhi tekanan udara yang ada di daerah ini sehingga pada jam 8.00 – 16.00 angin berhembus sekitar 6 – 10 m/s.

Salah satu fungsi lain AWS adalah sebagai radar yang bisa menentukan arah Bergeraknya angin. Karena AWS menentukan arah Bergerak angin ke arah yang di tuju (azimuth) maka harus untuk menentukan arah datangnya angin harus menentukan dahulu arah kebalikannya (back azimuth). Sebaran angin berbentuk melingkar 360° dengan patokan 16 mata angin yaitu N, NNE, NE, ENE, E, ESE, SE, SSE, S, SSW, SW, WSW, W, WNW, NW dan NNW. Sehingga setiap arah mata angin memiliki sebaran sebanyak 22,5°. Misalkan karena utara berada pada arah 360° atau 0° maka sebarannya terdapat di arah 348,75 sampai 11,25. Begitupun dengan mata angin yang lain terdapat di dua daerah antara arah utama mata angin tersebut.

Tabel 1. Mata angin dan sebarannya dalam derajat

Mata angin	Sebaran dalam derajat	
N (North)	348,75	11,25
NNE	11,25	33,75
NE	33,75	56,25
ENE	56,25	78,75
E (East)	78,75	101,25
ESE	101,25	123,75

SE	123,75	146,25
SSE	146,25	168,75
S (South)	168,75	191,25
SSW	191,25	213,75
SW	213,75	236,25
WSW	236,25	258,75
W (West)	258,75	281,25
WNW	281,25	303,75
NW	303,75	326,25
NNW	326,25	348,75



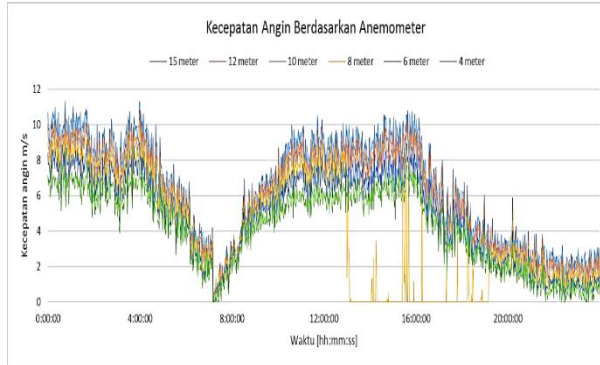
Grafik 6. Radar distribusi angin dalam jam dan persentase arah angin

Dari radar distribusi angin dapat terlihat bahwa jam 9.00 sampai jam 16.00 angin bergerak dari arah barat selama 40 – 55 menit, sedangkan radar persentase angin dari arah barat angin bertiup sebanyak 40%. Data yang disajikan tersebut merupakan faktor yang mempengaruhi kondisi angin yang memutarakan bilah karena setiap mata angin memiliki karakteristik angin tersendiri terpengaruh dengan kondisi alam yang terjadi di arah mata angin tersebut, sehingga mempengaruhi kinerja dari generator pada turbin angin.

Anemometer

Anemometer (AN) merupakan alat yang secara khusus digunakan untuk mendapatkan nilai kecepatan angin

per detik. Karena kecepatan angin di setiap tempat dan ketinggian berbeda-beda akan berpengaruh pada putaran bilah pada turbin angin. Lentera Angin Nusantara menggunakan beberapa anemometer pada ketinggian yang berbeda untuk di analisis diantaranya pada ketinggian 4 meter (AN6), 6 meter (AN5), 8 meter (AN4), 10 meter (AN3), 12 meter (AN2) dan 15 meter (AN1) sebagai pembandingan dengan turbin angin yang di pasang pada ketinggian yang sama.



Gambar 7. Kecepatan angin per menit pada 11 Januari 2015

Kecepatan angin merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besar energi yang dihasilkan oleh sebuah turbin angin. Dengan diketahuinya kecepatan angin maka dapat di peroleh energi yang dihasilkan turbin angin pada suatu waktu dengan menggunakan rumus teoritis.

$$P_{wind} = \frac{1}{2} (\rho \cdot V^3 \cdot A) \cdot Et \cdot Eg \cdot Ec$$

$\rho = 1,225$ (Massa jenis udara)

$V = 3 - 12$ m/s (Kecepatan angin dalam meter/detik)

$A = \pi r^2$ dimana ($\pi = 3,14$ dan $r = 1$ atau $0,8$)

Efisiensi turbin (Et) = $0,41$

Efisiensi generator (Eg) = $0,9$

Efisiensi controller (Ec) = $0,85$

(Lentera Angin Nusantara, 2014)

Nilai tersebut merupakan efisiensi khusus PLTA Lentera Angin Nusantara yang akan dijadikan patokan untuk mendapatkan nilai daya yang dihasilkan secara teoritis. Dalam menentukan daya yang dihasilkan dalam theoretical power, maka data logger akan merekam nilai yang dihasilkan anemometer dalam bentuk .exe

13	RAW DATA ANEMOMETER						
14	Time	AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6
54707	15:11:31	227	230	244	228	189	173
54708	15:11:32	203	228	193	247	203	197
54709	15:11:33	213	441	199	185	221	218
54710	15:11:34	224	425	206	196	227	170
54711	15:11:35	238	365	213	211	196	205
54712	15:11:36	215	503	223	169	159	177
54713	15:11:37	193	541	243	195	197	156
54714	15:11:38	212	430	182	237	160	149
54715	15:11:39	200	468	204	185	203	150

Gambar 9. Raw data anemometer yang di simpan oleh data logger

Dari raw data tersebut bisa ditentukan kecepatan angin yang berhembus dengan cara dihitung kedalam rumus teoritis dengan batasan kecepatan angin 3m/s sampai 12 m/s (kecepatan dimana generator melakukan pengisian daya ke baterai). Bila kecepatan angin berada dibawah 3 m/s maka nilai daya yang dihasilkan dihitung nol, dan bila kecepatan angin berada diatas 12 m/s maka perhitungan dalam rumus teoritis dianggap tetap 12m/s yaitu generator dalam kondisi melakukan pengisian maksimal. Lalu dikalikan dengan efisiensi turbin, efisiensi generator dan efisiensi controller sehingga didapatkan *theoretical power* atau nilai (daya) yang didapatkan dari hasil menghitung secara teoritis.

Theoretical power merupakan nilai daya yang dihasilkan dalam 24 Jam. Setelah nilai daya tiap detik (86400 data) didapatkan dari perhitungan menggunakan rumus teoritical, kemudian nilai tersebut di konversikan kedalam daya selama 24 jam yaitu jumlah daya dibagi 3600, sehingga didapatkan nilai daya yang dihasilkan dalam *Watt hour* (Wh).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	Parameter	AN1	AN2	AN3	AN4	AN5	AN6	Unit		
2	Period Measurement	86154	86154	86154	86154	86154	86154	seconds		
3										
4	Maximum Windspeed	7,28953	19,8414	6,56752	5,67889	5,304	4,234869	m/s		
5	Minimum Windspeed	0	0	0	0	0	0	m/s		
6	Average Windspeed	1,84503	1,82181	1,48721	1,12466	0,91279	0,743546	m/s		
7										
8	Blade r=0,8m									
9	Theoretical Power	28,4462	187,654	15,4889	8,76986	5,06064	1,676111	Wh		
10										
11	Blade r=1m									
12	Theoretical Power	44,4473	293,209	24,2014	13,7029	7,90724	2,618923	Wh		

Gambar 8. Data theoritical power

Nilai kecepatan angin maksimum adalah kecepatan tertinggi yang terjadi satu detik dalam kurun waktu 24 jam angin berhembus (86400 detik). Sedangkan rata-rata kecepatan angin adalah rata-rata kecepatan angin per detik selama 24 jam angin berhembus. Kecepatan angin perdetik ini sangat diperhitungkan sebab dalam turbin angin terjadi fluktuasi daya yang dihasilkan karena tergantung pada kecepatan angin yang terjadi pada saat itu. Sehingga nilai daya yang bisa dihasilkan kincir angin bisa diperoleh secara akurat.

Pengukuran Energi Listrik Turbin Angin (Wind Turbine)

Pengukuran daya turbin angin dilakukan dengan cara mengambil nilai daya dan arus dari data logger yang berhubungan langsung dengan turbin angin. Nilai inilah yang kemudian akan diolah dalam aplikasi ms.exel sehingga didapatkan data energi listrik yang dihasilkan turbin dalam watt hour (Wh).

Data daya yang diolah dalam aplikasi ms.exel ini merupakan data tegangan dan arus per detik yang direkam oleh data logger selama 24 jam. Nilai tersebut merupakan nilai konversi data logger LAN agar nilai yang direkam data logger dapat di olah menjadi nilai arus dan tegangan. Data logger diibaratkan sebagai alat ukur tegangan dan arus sehingga perlu adanya nilai konversi sebagai pembanding dengan alat ukur arus dan tegangan yang sebenarnya (ampere meter).

Di PT.Lentera Angin Nusantara nilai tegangan (V) dan arus (I) dihitung dengan menggunakan rumus berikut :

$$V = N \times 0,0012207 \times 7$$

$$I = 9,0617 \times (N \times 0,0012207) - 8,0078$$

Dimana :

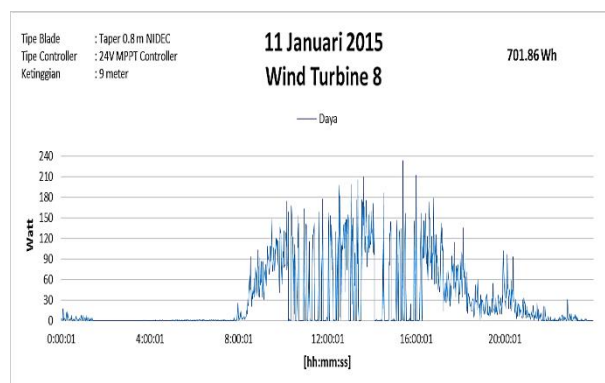
V = Tegangan

I = Arus

N = Nilai yang direkam oleh data logger
(Lentera Angin Nusantara, 2014)

Setelah nilai arus dan tegangan didapatkan, kemudian kedua nilai tersebut dikalikan untuk mendapatkan daya perdetik. Data perdetik di berlakukan agar nilai yang dihasilkan memiliki keakuratan yang baik sehingga daya yang dihasilkan dapat dihitung seakurat mungkin. Nilai daya dihasilkan dari perkalian tegangan dengan arus ($P = V \cdot I$).

Untuk mendapatkan data daya yang dihasilkan selama satu jam, data daya per detik dijumlahkan (86400 data) kemudian di bagi dengan 3600 agar daya tersebut dalam besaran *Watt hour* (Wh). Daya yang dihasilkan ini disebut *Obtained Power*.



Grafik 9. Energi listrik turbin angin WT 8, 11 Januari 2015

Grafik 4.4 menggambarkan bahwa terjadi kondisi fluktuatif dari energi yang dihasilkan oleh turbin angin. Hal bisa terjadi salah-satunya karena kondisi angin di lokasi turbin angin yang tidak stabil. Terkadang dalam beberapa waktu tidak terdapat hembusan angin bila cuaca dalam kondisi panas terik. maka dari itu turbin angin di kopel dengan sel surya sehingga tegangan didalam batrai tetap ada untuk menjaga kondisi batrai itu sendiri.

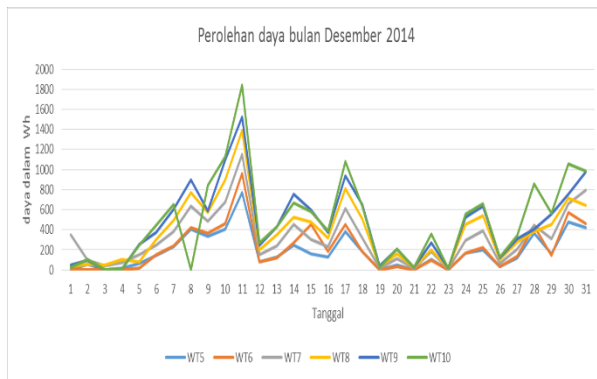
4.1 Pengukuran Energi Listrik PLT Angin PT.LAN

Dengan perhitungan seperti yang sudah dijabarkan sebelumnya pembangkit listrik tenaga angin Lentera Angin Nusantara (LAN), selama dua bulan (Desember 2014, Januari 2015) menghasilkan energi listrik sebesar 182,408 KWh yang diperoleh dari 6 buah turbin angin dengan tegangan penyimpanan 24 V MPPT kontroller.

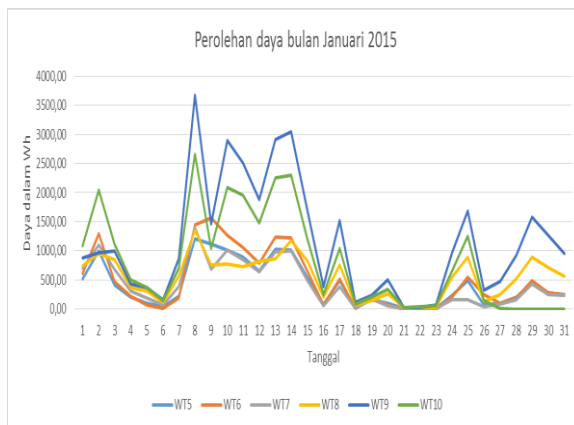
Tabel 2. Jenis Turbin angin di PLTA Lentera Angin Nusantara

No	Nama Turbin	Tipe Bilah	Panjang (m)	Tinggi Tiang (m)
1	WT 5	Taper LAN	0,8	4
2	WT 6	Taperless LAN	1	4
3	WT 7	Taperless SMK Surabaya	0.9	6
4	WT 8	Taperless LAN	0.8	9
5	WT 9	Taperless Lumajang	1	11
6	WT 10	Taperless LAN	0.8	11

Turbin angin dipasang pada beberapa tempat yang berbeda, karena satu tiang turbin angin dipasang satu turbin angin sehingga membangun pembangkit listrik tenaga angin tentunya memerlukan lahan yang luas dan memiliki hembusan angin yang baik, namun perbedaan posisi tersebut juga berpengaruh pada hembusan angin yang diterima, karena hembusan angin di setiap tempat berbeda-beda tergantung dengan kondisi daerah disekitarnya. Kecepatan angin yang dijadikan standar oleh PT.LAN yaitu pada kecepatan 3 – 12 m/s.



Gambar 10. Perolehan energi listrik bulan Desember 2014



Grafik 11. Perolehan energi listrik bulan Januari 2015

Dari grafik 4.5 dan 4.6 bisa diperhatikan bahwa setiap turbin angin menghasilkan energi listrik yang berbeda-beda setiap harinya. Hal ini bisa terjadi dikarenakan kondisi angin yang tidak stabil setiap waktu. Selain itu jenis baling-baling dari setiap turbin angin serta perbedaan ketinggian dan posisi turbin angin juga mempengaruhi perolehan daya yang dihasilkan turbin angin.

Antara turbin angin dengan ketinggian 4, 6, 9 dan 11 meter terdapat perbedaan output energi listrik yang dihasilkan, perbedaan output energi listrik juga terlihat pada perbedaan jenis baling-baling yang digunakan.

Pada tabel daya dan grafik output selama 2 bulan secara umum terlihat bahwa WT 9 dan WT 10 memiliki penghasilan energi listrik terbesar, dikarenakan posisi turbin dengan tiang yang tinggi yaitu 11 meter sehingga turbin mendapatkan hembusan angin yang cukup banyak. WT 5 dan WT 6 memiliki ketinggian yang sama namun panjang dan jenis baling-baling yang digunakan berbeda sehingga memiliki luas sapuan baling-baling yang berbeda pula. Hasil energi listrik yang di dapatkan terlihat perbedaan bahwa WT 6 memiliki output energi listrik 10% lebih besar dibandingkan dengan WT 5.

Pada WT 9 dan WT 10 dengan ketinggian yang sama tapi memiliki output turbin angin yang berbeda pula.

WT 9 memiliki output energi listrik 11% lebih besar dari WT 10 yang bisa terjadi karena perbedaan jenis baling-baling dan panjang baling-baling, WT 9 memiliki 0,2 meter lebih panjang dibandingkan WT 10 sehingga sapuan baling-baling menjadi lebih luas. Secara teoritis hal ini mempengaruhi energi yang dihasilkan turbin angin.

Namun pada beberapa kondisi, seperti pada bulan desember 2014, WT 10 memiliki output energi listrik yang lebih besar dibandingkan WT 9. Hal ini bisa terjadi karena WT 10 menerima hembusan angin yang lebih banyak dibandingkan WT 9. Kondisi cuaca juga mempengaruhi perolehan energi listrik. Seperti terlihat dalam tabel 4.3, pada tanggal 3 Desember 2014 meskipun WT 09 dan WT 10 berada pada ketinggian 11 meter, namun perolehan energi listrik kedua turbin pada hari tersebut adalah nol. Hal ini disebabkan karena kondisi hembusan angin dibawah 3 m/s.

Dari hasil studi ini terlihat beberapa aspek-aspek yang mendukung Pembangkit Listrik Tenaga Angin di PT.Lentera Angin Nusantara (PT.LAN) diantaranya jenis dan panjang baling-baling serta ketinggian posisi turbin angin itu sendiri. Sehingga dapat disimpulkan bahwa pemilihan sistem yang tepat dan posisi yang baik mendukung optimalnya turbin angin dalam memproduksi energi listrik.

Selain itu kondisi lingkungan terutama cuaca juga menjadi salah satu pengaruh penting dalam produksi energi listrik oleh turbin angin, maka dari itu pemilihan tempat yang memiliki potensi angin yang baik sangat dianjurkan agar turbin angin dapat memproduksi energi secara maksimal.

IV. KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil studi, PT.Lentera Angin Nusantara merupakan pembangkit listrik skala mikro yang terletak di desa Ciheras Cipatujah Tasikmalaya. Daerah ini memiliki kondisi angin yang cukup ekstrim diantaranya pengaruh dari suhu udara, kadar garam, dan angin laut selatan sehingga sangat baik sebagai lokasi pengembangan dan pengujian turbin angin.
2. Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT.Lentera Agin Nusantara terdiri dari turbin angin dengan generator yang menggunakan permanen magnet dan sistem eksitasi brushless. Charge controller dengan rectifier untuk merubah listrik AC menjadi DC dan MPPT untuk menstabilkan tegangan input. Data logger sebagai media perekam data. Panel box berisi MCB sebagai pengaman. Baterai dengan kapasitas 24 V 800 ah dan inverter untuk mengubah listrik DC menjadi AC.

3. Berdasarkan hasil studi energi listrik yang dihasilkan turbin angin dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya faktor eksternal seperti ketinggian tempat dan kondisi lingkungan. Faktor-faktor tersebut yang secara langsung mempengaruhi kecepatan hembusan angin. Serta faktor internal yaitu ketepatan dalam membuat sistem turbin angin (tipe baling-baling serta generator yang digunakan) dan efisiensi dari turbin serta sistem turbin angin tersebut.
4. Pembangkit Listrik Tenaga Angin PT.Lentera Angin Nusantara, dalam rentang kecepatan angin 3 - 12 m/s, selama 2 bulan (Desember 2014 dan Januari 2015) menghasilkan energi listrik sebesar 182,408 kWh. Perbedaan kecepatan angin setiap detik mempengaruhi besar daya yang bisa dihasilkan generator.

V. REFERENSI

- [1] Elson, Ricky. (2014). *Pengenalan teknologi pemanfaatan energi angin*. Lentera Angin Nusantara, Tasikmalaya.
- [2] Piggot, Hugh. (1997). *Windpower workshop: Building Your Own Wind Turbine*, British Wind Energy Association.
- [3] Salminen, Pia. (2004). *Fractional Slot Permanent Magnet Synchronous*. (Tesis). Lappeenranta University of Technology.
- [4] Pane, Ennopati. (2009). *Studi Sistem eksitasi dengan menggunakan permanen magnet generator (Aplikasi Pada Generator Sinkron di PLTD PT.Mangunggal Wiratama)*. (Tugas Akhir). Universitas Sumatera Utara, Medan.
- [5] Juliyanto. (2011). *Rancang bangun simulator pembangkit listrik tenaga angin*. (Tugas Akhir). Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung.
- [6] Amos, S.W. (1981). *Dictionary of electronics*. Butterworth & Co (Publishers).
- [7] Departemen Pendidikan Nasional. (2003). *Teknik Dasar Generator*. Yogyakarta : Depdiknas.