

## STUDI POTENSI ENERGI ANGIN KOTA BANDA ACEH DENGAN METODE RAYLEIGH DISTRIBUSI

Wahyu Priyanto<sup>1</sup>, Ira Devi Sara<sup>2</sup>, Rakhmad Syafutra Lubis<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa, Program Studi Magister Teknik Elektro, Universitas Syiah Kuala, Jl. Tgk. Syech Abdurrauf, No. 7 Darussalam, Banda Aceh 23111, INDONESIA (telp: 081380588450);

<sup>2,3</sup>Dosen, Program Studi Magister Teknik Elektro, Universitas Syiah Kuala, Jl. Tgk. Syech Abdurrauf, No. 7 Darussalam, Banda Aceh 23111, INDONESIA

<sup>1</sup>[wahyupiu@gmail.com](mailto:wahyupiu@gmail.com)

### ABSTRACT

*Modeling wind speed variations is a very important requirement in determining energy potential to find out typical winds speed in an area. Data obtained from the average wind speed in Banda Aceh City of Aceh Province were correlated from NASA Data Access (Prediction of Worldwide Energy Resource) for 1 (one) year. Wind speed data is analyzed statistically to determine the potential of wind energy as a small scale power plant, which is grouped on an annual basis. Wind power distribution is obtained by the Rayleigh distribution function method, with the aim of predicting wind energy produced as a wealth study for designing small-scale wind turbine power plants. The calculation results show that by using the annual clustering Rayleigh function method, cumulative distribution and probability density functions will be obtained. The available power from the winds of the Banda Aceh region for 1.4 m<sup>2</sup> turbines swept area with an average wind speed of 4.4 m/s produces an energy potential of around 237.9 kW-hrs per year. The Rayleigh function of this distribution uses estimated parameters, which are expected to provide a more accurate prediction of the average energy produced for a region. The annual variations in wind speed and power density functions described in this article are very useful to ensure that the generator is selected and determined appropriately, so that an optimal wind turbine power plant will be obtained.*

**Keywords:** *energy potential, small wind turbine, Rayleigh Distribution*

### ABSTRAK

Pemodelan variasi kecepatan angin merupakan persyaratan yang sangat penting dalam menentukan potensi energi untuk mengetahui typical angin pada suatu wilayah. Data diperoleh dari kecepatan angin rata-rata di Kota Banda Aceh Propinsi Aceh, yang dikorelasikan dari NASA POWER (*Prediction Of Worldwide Energy Resource*) Data Access selama 1 (satu) tahun. Data kecepatan angin di analisis secara statistik untuk menentukan potensi energi angin sebagai pembangkit listrik skala kecil, yang dikelompokkan secara tahunan. Distribusi tenaga angin diperoleh dengan metode fungsi Rayleigh distribusi, dengan tujuan untuk memprediksi energi angin yang dihasilkan sebagai studi kelayakan untuk mendesain pembangkit listrik turbin angin skala kecil. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dengan menggunakan metode fungsi Rayleigh distribusi secara pengelompokan tahunan, akan diperoleh kumulatif distribusi dan fungsi probability density. Daya yang tersedia dari angin wilayah Banda Aceh untuk turbin angin area sapuan 1.4 m<sup>2</sup> kecepatan angin rata-rata 4.4 m/s menghasilkan potensi energi sekitar 237.9kW-hrs pertahun. Fungsi Rayleigh distribusi ini menggunakan parameter yang diperkirakan, diharapkan dapat untuk memberi prediksi yang lebih akurat tentang energi rata-rata yang dihasilkan untuk suatu wilayah. Variasi tahunan kecepatan angin dan fungsi density

daya yang dipaparkan dalam artikel ini, sangat berguna untuk memastikan dalam memilih serta menentukan generator secara tepat, sehingga nantinya akan diperoleh pembangkit listrik turbin angin yang optimal.

**Kata kunci:** Potensi Energi, Turbin Angin skala kecil, Rayleigh Distribusi.

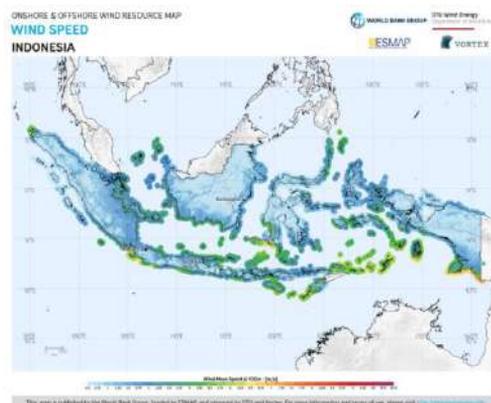
## I. PENDAHULUAN

Pada umumnya pembangkit listrik untuk skala kecil terutama turbin angin masih belum diterapkan baik sebagai sumber energi maupun energi cadangan dalam masyarakat khususnya di Kota Banda Aceh Propinsi Aceh. Energi fosil seperti batubara maupun gas [1] masih menjadi trend dalam memenuhi kebutuhan energi listrik. Saat ini sebagian besar energi listrik dihasilkan dari pembakaran bahan bakar dari fosil yang dapat menimbulkan hujan asam, pencemaran udara serta perubahan iklim. Telah dijelaskan instalasi generator turbin angin secara efektif dapat mengurangi pencemaran lingkungan, konsumsi bahan bakar fosil dan biaya generator listrik secara keseluruhan [2]. Energi yang dapat diserap oleh turbin angin secara keseluruhan sangat bergantung pada kecepatan angin rata-rata pada wilayah tersebut.

Daerah yang biasanya menghasilkan potensi yang besar adalah daerah pesisir pantai atau daerah pedalaman dengan karakter terbuka. Energi listrik yang dihasilkan sangat tergantung dengan kecepatan angin rata-rata, standar penyimpangan kecepatan angin serta lokasi pemasangan turbin angin. Artikel ini menyajikan distribusi Rayleigh untuk menentukan kecepatan angin dan daya turbin angin skala kecil secara musiman dan menunjukkan kapasitas yang optimal dalam instalasi turbin angin. Distribusi Rayleigh telah digunakan untuk mempresetasikan kecepatan angin dalam sebulan selama satu tahun. Kota Banda Aceh pada koordinat latitude  $5.58^\circ$  longitude  $95.36^\circ$  bagian barat Indonesia.

Guna mendorong peningkatan serta pemanfaatan energi angin, selain melakukan studi kelayakan maka perlu juga dilakukan

upaya untuk melakukan tahap desain turbin angin. Potensi kecepatan angin Kota Banda Aceh dapat ditunjukkan pada *resource map* kecepatan angin pada gambar 1 dan gambar 2. *Resource map* tersebut dapat menjadi rujukan untuk mengetahui berapa besar energi yang diperoleh jika dikonversikan menjadi sumber pembangkit listrik, namun demikian yang terbaik adalah dengan pengukuran angin sebagai data real.



Gambar 1. Potensi energi angin wilayah Indonesia [3]

Untuk kebutuhan desain turbin angin data merujuk pada kecepatan angin dari NASA *Prediction Of Worldwide Energy Resource (POWER)* yang memiliki kecepatan angin rata-rata 4.4 m/s. Pengamatan dilakukan selama 1 (satu) tahun yaitu mulai tahun 2017. Gambar 3 dan gambar 4 menunjukkan bahwa potensi untuk pembangkit listrik tenaga angin sangat memungkinkan, namun tidak semua jenis turbin angin dapat efektif digunakan dengan kondisi angin dengan kecepatan rendah.

Kecepatan angin di Kota Banda Aceh tergolong rendah, namun potensi kecepatan

angin tersebut masih dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif skala kecil. Data cuaca yang di tunjukkan oleh *POWER* di kota Banda Aceh pada koordinat latitude 5.58° longitude 95.36°, memiliki rata-rata kecepatan angin yang relatif rendah. Hal tersebut dapat diamati pada tabel 2.1 serta gambar 2.5 yang menunjukkan pemanfaatan potensi angin yang sesuai dengan daerah kota Banda Aceh.

Penerapan jenis turbin angin yang sesuai adalah turbin tipe vertikal *Darrieus*. Tipe ini dapat digunakan sebagai sumber energi listrik alternatif yang dapat beroperasi dengan wilayah perkotaan. Potensi turbin tipe vertikal *Darrieus* dapat bersinergi dengan infrastruktur bangunan gedung kota.



Gambar 2. Potensi energi angin wilayah Banda Aceh[3]

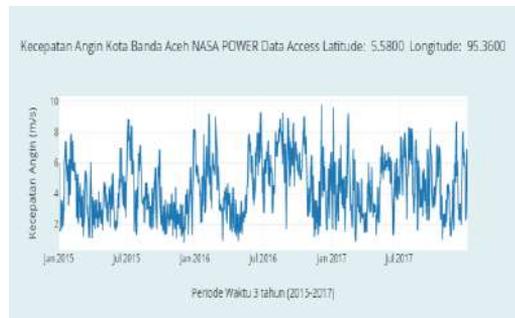
Tabel 1. Data kecepatan angin rata-rata NASA Prediction Of Worldwide Energy Resouce koordinat latitude 5.58° longitude 95.36°, tahun 2017 kota Banda Aceh

Month	Air temperature °C	NASA Power data 2017 m/s	Earth temperature °C
January	26.2	4.53	27.9
February	26.2	4.59	28.3
March	26.3	2.93	28.8
April	26.6	5.80	29.1
May	27.1	3.45	29.2
June	27.2	4.80	29.1
July	27	5.94	28.8
August	26.8	6.74	28.6
September	26.4	4.98	28.4
October	26.1	4.69	28.3
November	25.9	3.72	28.1
December	26.1	4.60	27.9

<b>Average</b>	26.5	4.4	28.5
----------------	------	-----	------



Gambar 3. Grafik data kecepatan angin rata-rata pertahun periode tahun 2015-2017



Gambar 4. Grafik data kecepatan angin pertahun periode tahun 2015 hingga 2017

Dari pola angin yang terlihat pada Gambar 3 dan 4 dapat diamati jumlah energi angin yang terbesar terlihat antara bulan Juli –Oktober serta di akhir Desember hingga Januari. Pola angin di wilayah tersebut sangat berpotensi dan dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi alternatif sebagai pembangkit energi listrik.

## II. METODE PENULISAN

### 1. Daya Tersedia di Udara

Angin merupakan udara yang bergerak secara acak dengan massa udara. Ketika massa udara memiliki kecepatan, angin yang dihasilkan memiliki energi kinetik (KE) yang sebanding dengan massa udara dan kuadrat dengan kecepatan udara, yaitu  $= (\frac{1}{2}) \times (\text{kecepatan udara})^2 \times (\text{massa udara})$ , energi kinetik melewati area dalam satuan waktu [4] sehingga daya turbin angin adalah:

$$P_w = \frac{1}{2} \rho A v x v^2 = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (1)$$

Dimana :

$\rho$  adalah densitas udara 1.22 kg/m<sup>3</sup>,

$v$  kecepatan angin,

$A$  area yang dilewati angin,

$\rho A v$  massa udara yang dilewati angin dalam satuan waktu, dan  $P_w$  merupakan daya yang tersedia pada angin untuk diekstraksi oleh turbin angin. Hanya sebagian kecil dari  $P_w$  dapat benar-benar diekstraksi. Meskipun sebagian penelitian menggunakan distribusi kecepatan angin sederhana yang hanya parameter rata-rata kecepatan angin.

## 2. Sweapt Area

*Sweapt Area* merupakan area sapuan turbin angin di udara tergantung dari jenis turbin angin baik jenis sumbu horizontal yang berbentuk lingkaran maupun sumbu vertikal lurus yang berbentuk persegi panjang tergantung konfigurasi rotor dan *sweapt area* dihitung dengan:

$$A = D \cdot h \quad (2)$$

Dimana:

$A$  *sweapt area* (area sapuan turbin),

$D$  diameter dan

$h$  merupakan tinggi rotor turbin.

Area sapuan membatasi volume udara yang lewat oleh turbin angin. Rotor mengubah energi yang tersimpan oleh angin dalam gerakan rotasinya sehingga semakin besar daerah, keluaran daya semakin besar dalam kondisi angin yang sama, daya berbanding lurus terhadap *sweapt area*.

Tidak semua energi yang tersedia dapat diekstrak seluruhnya. Sebagai acuan awal ada batas teoritis untuk energi yang kita dapatkan sebagai batas yang disebut dengan Batas Betz. Menurut teori turbin angin tidak akan mencapai dari 59.3% [4][5], Derivasi batas Betz tersebut banyak di jumpai di berbagai sumber artikel yang lain dan tidak akan dibahas disini karena bukan merupakan topik

utama kami. Turbin angin tidak akan pernah mencapai efisiensi batas teoritis tersebut. Kemudian pengaruh dengan ketidak efisiensi generator, system elektronik dan baterai, hal tersebut dapat mengurangi berapa banyak energi ini yang dapat terbuang. Di sisi lain akan berarti untuk mencari peluang dalam merancang turbin angin dengan cermat.

## 3. Distribusi Rayleigh

Salah satu hal yang sangat penting dalam merancang turbin angin adalah untuk mengetahui seberapa besar kecepatan angin yang diharapkan. Pengetahuan tentang sumber daya angin akan menjadi faktor dalam menentukan area turbin, diameter turbin, dan karakteristik generator. Untuk mencari target kecepatan angin dengan mengetahui statistik untuk mendeskripsikan angin. Salah satu cara untuk mendeskripsikan kecepatan angin adalah salah satunya dengan menggunakan Rayleigh Distribusi.

Dengan mengetahui kecepatan angin rata-rata maka fungsi probability density terhadap angin dapat diketahui. Distribusi Rayleigh dapat dinyatakan dalam bentuk kurva baik Probability density Function maupun Cumulative Distribution yang memberikan area dibawah kurva tentang kepadatan kecepatan angin tersebut.

Model statistik Rayleigh distribusi [6] dengan menggunakan rata-rata kecepatan angin akan memberikan penilaian yang lebih baik dari potensi tenaga angin di lokasi pembangkit turbin angin yang diterapkan. Data kecepatan angin merujuk pada data yang ditampilkan oleh *NASA POWER data access* yang ditampilkan pada tabel 1 di koordinat wilayah Kota Banda Aceh. Distribusi Rayleigh sering diamati secara alami muncul ketika kecepatan angin di analisis dalam dua dimensi. Dengan asumsi bahwa setiap komponen tidak berkorelasi, terdistribusi normal dengan varian yang sama, dan mean nol, maka kecepatan angin keseluruhan akan dicirikan oleh distribusi Rayleigh.

Distribusi probabilitas, yang secara luas digunakan untuk menggambarkan kecepatan

angin, adalah Distribusi Rayleigh. Fungsi probabilitas density dari distribusi Rayleigh ditunjukkan dengan :

$$f(x;\sigma) = \frac{x}{x^2} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}, \quad x \geq 0, \quad (3)$$

Dimana:  $\sigma$  adalah merupakan skala parameter distribusi dan  $x$  kecepatan angin rata-rata.

$$\sigma = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \quad (4)$$

Kemudian fungsi kumulatif distribusi di jabarkan dengan:

$$f(x;\sigma) = 1 - e^{-x^2/(2\sigma^2)} \quad (5)$$

Berapa besar energi yang tersedia terkait dengan berapa banyak daya yang tersedia dan berapa kecepatan angin yang dapat diharapkan. Kita dapat menghitung berapa banyak daya yang tersedia dalam kecepatan angin rata-rata atau berbagai kecepatan angin di suatu wilayah tertentu, tetapi untuk menghitung ketersediaan energi, maka kita perlu tahu berapa lama angin akan bertiup pada kecepatan itu.

Dengan Metode Rayleigh Distribusi akan menentukan :

- *Probability Density Function*, kemungkinan kecepatan angin yang akan terjadi (muncul) dengan acuan kecepatan angin rata-rata.
- *Cumulative Distribution*, fungsi distribusi kumulatif.
- Distribusi energi, estimasi potensi energi yang dikumpulkan berkorelasi dengan daya yang tersedia.

Maka kita dapat menggabungkan konsep distribusi statistik kecepatan angin dan ketersediaan daya untuk mengetahui grafik distribusi energi. Besarnya energi yang tersedia pada berbagai kecepatan angin yang di dasarkan untuk area rotor turbin 1.4 m<sup>2</sup>

selama 1 (satu) tahun di wilayah kota Banda Aceh dimana kecepatan angin rata-rata 4,4 m/s [3].

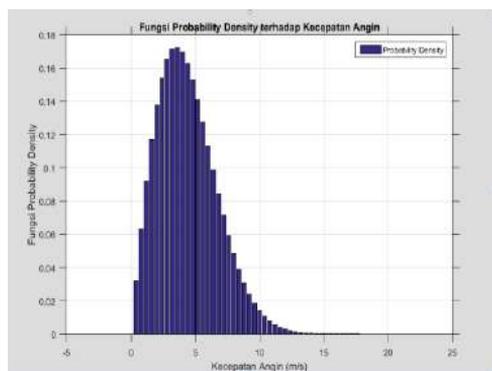
**Tabel 2.** Parameter energi distribusi kecepatan angin

Parameter	Nilai	Satuan
Kecepatan Angin rata-rata	4.35	m/s
Area sapuan Turbin angin	1.4	m <sup>2</sup>
Periode waktu 365 hari	8760	Jam
Densitas Udara $\rho$	1.22	Kg/m <sup>3</sup>
Turbin efisiensi $C_p$	0.18	

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

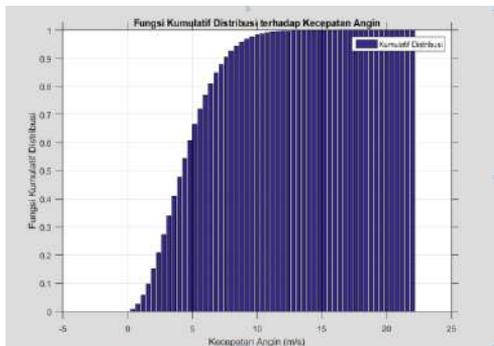
Estimasi potensi energi pada turbin angin di udara yang terdapat pada kecepatan angin bebas dapat kita dekati nilainya dengan menggunakan metode Rayleigh distribusi, yang pendekatan ini kami terangkan pada sub Bab 2.2 dimana menggunakan data turbin angin tabel 2, sebagai dasar parameter dari grafik yang dihasilkan, menggunakan kecepatan angin rata rata (rentang 1(satu) tahun di tahun2017) 4.4 m/s.

Durasi waktu yang digunakan 24 jam dalam rentang satu tahun (365 hari) maka hasil yang diperoleh sesuai dengan Gambar 5 dan 6 untuk fungsi probability density dan fungsi *cumulative* distribusi.



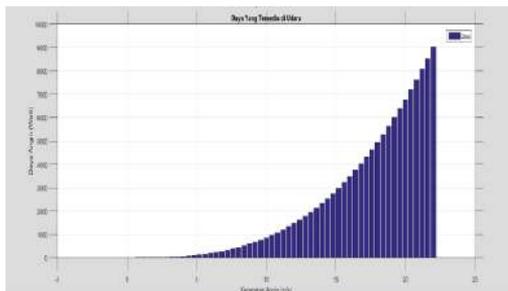
**Gambar 5.** Probability kecepatan angin yang muncul pertahun

Daya angin yang tersedia diudara dimodelkan dengan mengkalkulasi kecepatan angin yang terendah hingga mencapai kecepatan yang tertinggi sesuai dengan grafik pada tabel 4. serta menghasilkan gambar.7, atau di sebut dengan kurva daya yang tersedia di udara dengan asumsi area sapuan  $1.4 \text{ m}^2$ .



**Gambar 6.** Kumulatif distribusi kecepatan angin setiap tahun

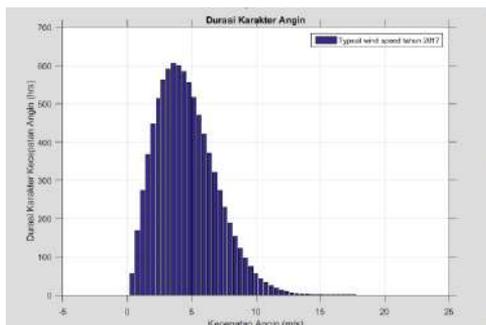
Daya yang tersedia di modelkan dengan kecepatan yang lembut sampai dengan kecepatan angin yang tertinggi, untuk mengetahui daya angin yang tersedia diudara, yang di tuntukkan pada gambar dibawah ini.



**Gambar 7.** Daya yang tesedia di udara untuk turbin dengan area sapuan  $1 \text{ m}^2$ .

Kecepatan angin yang muncul pada pada distribusi Rayleigh sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin rata-rata. Dengan kecepatan angin rata rata  $4.4 \text{ m/s}$  pada wilayah kota Banda aceh, jumlah energi yang besar dapat diketahui dari fungsi *cumulative* menghasilkan sesuai dengan gambar 6.

Dengan menganalisis gambar tersebut jumlah energi yang besar dihasilkan pada kecepatan angin  $7.6 \text{ m/s}$  dengan  $70\%$ .

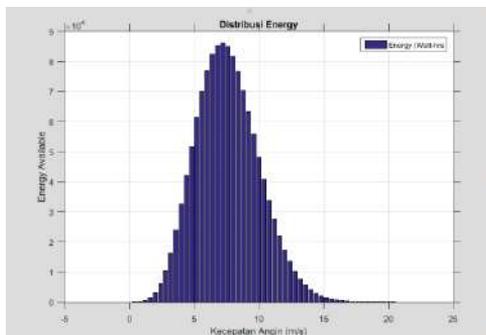


**Gambar 8.** Analisis durasi typical Angin yang terjadi

Terkait dengan jumlah energi angin yang terkumpul dalam waktu tertentu, hal ini tidak terlepas oleh pengaruh jumlah dari durasi yang dihasilkan oleh karakter angin (typical angin).

Durasi *typical* angin akan mempengaruhi total energi yang terkumpul, hal ini dapat di analisis dari grafik fungsi *cumulative* distribusigambar 8 terhadap periode waktu,nilai tersebut sangat menentukan jumlah energi yang dihasilkan sesuai dengan analisis pada gambar 9 merupakan total energi yang terkumpul (energy available) dengan asumsi area sapuan turbin  $1.4 \text{ m}^2$ .

Jumlah energi yang tersedia diudara di udara merupakan hasil korelasi dari daya angin yang tersedia di udara dengan durasi waktu kecepatan angin yang terjadi.



**Gambar 9.** Jumlah energi yang dihasilkan 1 (satu) tahun dengan kecepatan angin rata-rata  $4.4 \text{ m/s}$

**Tabel 3.** Parameter ekstraksi energi 1 (satu) tahun dengan Releigh Disribusi wilayah angin Kota Banda Aceh

Parameter	Nilai	Satuan
Rata-rata angin (Va)	4.4	m/s
Siqma ( $\sigma$ ) $\sigma \cdot Va$	3.51	
Sigma squer ( $\sigma^2$ )	12.33	
Periode waktu 365 hari x 24 jam	8760	Jam
Total energi kW-hrs pertahun	237.9	kWatt-hrs
Total perhari Energy availabe	0.65	kWatt-hrs

Dalam penelitian mendatang memungkinkan untuk melakukan pengukuran data angin agar potensi energi dapat di bandingkan dan sebagai dasar yang lebih akurat untuk memaksimalkan penggunaan pemilihan jenis generator yang cocok untuk diterapkan dengan kecepatan angin yang rendah.

#### IV. KESIMPULAN DAN SARAN

##### 1. KESIMPULAN

Studi statistik secara terperinci telah dilakukan dengan kecepatan angin dan kepadatan tenaga angin pada wilayah kota Banda Aceh. Kecepatan angin dimodelkan menggunakan fungsi Rayleigh distribusi dan parameter turbinnya diperkirakan 1.4 m<sup>2</sup>. Hal ini menunjukkan bahwa fungsi Rayleigh dengan parameter tersebut memprediksi variasi kecepatan angin yang terjadi dan jumlah daya yang dihasilkan lebih akurat. Analisis yang di terapkan dalam artikel ini berguna untuk perencanaan pembangkit listrik tenaga angin sekala kecil dan dapat diterapkan sebagai penilaian potensi tenaga angin di suatu lokasi untuk mendesain turbin angin sekala kecil, dengan demikian besarnya energi yang tersedia di suatu wilayah dapat diketahui besarnya yang sesuai dengan potensinya.

##### 2. SARAN

Dalam penelitian kedepan mungkin akan lebih baik data kecepatan angin yang digunakan berdasarkan pengukuran dengan

anemometer pada lokasi tertentu agar hasil akan lebih real, serta menggunakan metode yang lain, guna memastikan hasil total energy yang dihasilkan sesuai potensinya.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Yudiartono, Anindhita, A. Sugiyono, L. M. A. Wahid, and Adiarso, "INDONESIA ENERGY OUTLOOK 2018," 2018.
- [2] T. H. Yeh and L. Wang, "A study on generator capacity for wind turbines under various tower heights and rated wind speeds using Weibull distribution," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 23, no. 2, pp. 592–602, 2008.
- [3] "Global Wind Speed Atlas," *online available*, 2017. [Online]. Available: <https://globalwindatlas.info/area/Indonesia>.
- [4] A. L. Manwell, J.F. McGowan, J.G. Rogers, *Wind energy explained - theory, design and application*, vol. 2. 2009.
- [5] KarlH.Bergey, "The Lanchester-Betz Limit," *J Energy*, vol. 3, no. 6, pp. 382–385, 1979.
- [6] F. Merovci and I. Elbatal, "Weibull Rayleigh Distribution : Theory and Applications," vol. 2137, no. 4, pp. 2127–2137, 2015.