

## **Penggunaan *Hybrid Weibull Distribution* untuk Memodelkan Kecepatan Angin Bulanan dengan Memperhatikan Kecepatan Angin Tenang di Kota Bandung**

The Usage of Hybrid Weibull Distribution to Modeling Monthly Wind Speed with Concern to the Calm Wind Speed in Bandung

<sup>1</sup>Neng Iyani Maulida, <sup>2</sup>Siti Sunendiari

<sup>1,2</sup>*Prodi Statistika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Islam Bandung, Jl. Tamansari No.1 Bandung 40116*  
*email: <sup>1</sup>niyanimau@gmail.com, <sup>2</sup>diarisunen22@gmail.com*

**Abstract.** Classic Weibull distribution is used to solve the problems of a long time of an object that is able to endure until such an object is not functioning. However, the classic Weibull distribution does not accurately represent the probability of zero observation and very low observations. If it is ignored, it will produce an invalid model. So this distribution is not suitable if it is used to model data that has zero observation frequency of more than 15%. The solution to the problem of zero observation is to use a hybrid Weibull distribution. Hybrid Weibull distribution will be applied to model wind speed data. The application of this solution will be compared with standard techniques, namely normal distribution and classic Weibull distribution. The data modeling procedure using hybrid Weibull distribution is: (1) describing wind speed data to see whether the calm wind speed is more than 15%, (2) estimating the parameters of normal distribution, Classic Weibull distribution, and hybrid Weibull distribution, (3) choosing the best distribution to model wind speed using a coefficient of determination and root mean square error. The description results show that Bandung has very high calm wind speeds of more than 29%. From the calculation of goodness of fit concluded that hybrid Weibull distribution is suitable for monthly wind speed with concern to the calm wind speed in Bandung. The best wind speed model is April 2014 with a value of  $F_0 = 0.549$ ;  $k = 2.013$ ; and  $c = 3.8302$ .

**Keywords:** Normal Distribution, Classic Weibull Distribution, Hybrid Weibull Distribution.

**Abstrak.** Distribusi Weibull klasik digunakan untuk menyelesaikan masalah menyangkut lama waktu suatu objek yang mampu bertahan hingga akhirnya objek tersebut tidak berfungsi sebagaimana mestinya. Namun, distribusi Weibull klasik tidak secara akurat mewakili probabilitas pengamatan nol dan pengamatan yang sangat rendah. Jika hal itu diabaikan maka akan menghasilkan model yang tidak valid. Sehingga distribusi ini tidak cocok jika digunakan untuk memodelkan data yang memiliki frekuensi pengamatan nol lebih dari 15%. Solusi untuk mengatasi masalah pengamatan nol adalah dengan menggunakan *hybrid Weibull distribution*. *Hybrid Weibull distribution* akan diaplikasikan untuk memodelkan data kecepatan angin. Penerapan solusi ini akan dibandingkan dengan teknik standar yaitu distribusi normal dan distribusi Weibull klasik. Prosedur pemodelan data menggunakan *hybrid Weibull distribution* adalah:

(1) mendeskripsikan data kecepatan angin untuk melihat apakah kecepatan angin tenang lebih dari 15%, (2) menaksir parameter distribusi normal, distribusi Weibull Klasik, dan *hybrid Weibull distribution*, (3) memilih distribusi terbaik untuk memodelkan kecepatan angin menggunakan koefisien determinasi dan *root mean square error*. Hasil pendeskripsian menunjukkan bahwa Kota Bandung memiliki kecepatan angin tenang yang sangat tinggi lebih dari 29%. Dari perhitungan *goodness of fit* menyimpulkan bahwa *hybrid Weibull distribution* cocok untuk memodelkan kecepatan angin dengan memperhatikan kecepatan angin tenang di Kota Bandung. Model kecepatan angin terbaik adalah bulan April 2014 dengan nilai  $F_0 = 0,549$ ;  $k = 2,013$ ; dan  $c = 3,8302$ .

**Kata Kunci:** Distribusi Normal, Distribusi Weibull Klasik, *Hybrid Weibull Distribution*.

### **Pendahuluan**

Distribusi Weibull klasik digunakan untuk menyelesaikan

masalah menyangkut lama waktu suatu objek yang mampu bertahan hingga akhirnya objek tersebut tidak berfungsi

sebagaimana mestinya. Distribusi ini dapat berubah menjadi distribusi lainnya seperti distribusi eksponensial atau distribusi normal. Perubahan itu tergantung pada perubahan parameter skala dan bentuknya (Otaya, 2016). Distribusi Weibull klasik memiliki kemampuan untuk menyesuaikan dengan data dari berbagai bidang seperti data iklim, ekonomi, administrasi bisnis, hidrologi, biologi atau ilmu teknik (Rinne, 2009).

Data iklim yang dapat diaplikasikan menggunakan distribusi Weibull klasik adalah data kecepatan angin. Angin merupakan aliran udara dalam jumlah besar yang timbul akibat adanya rotasi bumi, perbedaan suhu dan perbedaan tekanan udara antara dua tempat dengan kecepatan yang dinamis dan fluktuatif (Tjasyono, 2004). Pergerakan kecepatan angin dipengaruhi oleh gradien barometer, relief permukaan bumi, ketinggian tempat, letak lintang, dan panjang siang dan malam. Kecepatan angin sangat bergantung pada letak dan waktu mengukur kecepatan angin. Sebagai contoh wilayah Indonesia bagian Timur mempunyai kecepatan angin yang cukup tinggi, sementara wilayah Indonesia barat cenderung lebih rendah.

Kecepatan angin memiliki banyak manfaat untuk kehidupan manusia. Salah satu manfaat kecepatan angin adalah sebagai sumber pembangkit tenaga listrik. Dengan menggunakan kecepatan angin sebagai pembangkit tenaga listrik, maka dapat mengurangi pencemaran dan polusi udara, serta menjaga keutuhan cadangan bahan bakar fosil. Pembangkit tenaga listrik yang bersumber dari kecepatan angin termasuk dalam energi terbarukan (*renewable energy*) yang terus dikembangkan oleh dunia.

Indonesia salah satu negara

yang mengembangkan energi terbarukan. Pembangunan Pembangkit tenaga listrik Tenaga Bayu (PLTB) Sidrap di Kabupaten Sidenreng Rappang, Sulawesi Selatan, menempatkan Indonesia sebagai negara pemilik PLTB terbesar se-Asia Tenggara. Dengan total 30 turbin angin (*wind turbin generator/WTG*) yang memiliki ketinggian 80 meter dan baling-baling sepanjang 57 meter, PLTB ini mampu menghasilkan listrik sebesar 75 megawatt (MW) (OkeZone, 2018).

Pengoperasian PLTB di Sidrap membuat perbandingan antara jumlah penduduk yang bisa menikmati aliran listrik dengan total jumlah penduduk (rasio elektrifikasi nasional) meningkat. Rasio elektrifikasi nasional dalam pemanfaatan energi terbarukan berada pada level 14% dari target 23% di tahun 2025 (KESDM, 2018). Untuk membantu pemerintah dalam mencapai target tersebut, pemodelan kecepatan angin sangat diperlukan untuk mengembangkan energi terbarukan.

Beberapa penelitian mengenai pemodelan kecepatan angin telah dilakukan sebelumnya, antara lain oleh Li Meishen dan Li Xianguo (2004) meneliti distribusi kecepatan angin probabilistik: pengembangan teoritis dan perbandingan dengan data. Para peneliti ini membandingkan antara prinsip entropi maksimum (MEP) dan distribusi Weibull klasik. Hasilnya model MEP dapat menggambarkan data aktual lebih akurat daripada distribusi Weibull klasik. Hal itu dikarenakan salah satu batasan utama dari distribusi Weibull klasik yaitu tidak secara akurat mewakili probabilitas pengamatan nol dan kecepatan angin yang sangat rendah. Oleh karena itu, distribusi Weibull klasik tidak cocok digunakan untuk memodelkan kecepatan angin suatu daerah yang memiliki frekuensi

kecepatan angin tenang (0 m/s) lebih dari 15 %.

Solusi untuk mengatasi masalah kecepatan angin tenang adalah dengan menggunakan *hybrid Weibull distribution* (Salami dkk, 2013). Penerapan solusi ini akan dibandingkan dengan teknik standar yaitu distribusi normal dan distribusi Weibull klasik. Perbandingan ini dilakukan untuk mengkonfirmasi validitas menggunakan *hybrid Weibull distribution* sebagai solusi terbaik untuk memodelkan kecepatan angin bulanan dengan memperhatikan kecepatan angin tenang di Kota Bandung.

**Landasan Teori**

**Distibusi Normal**

Distribusi normal merupakan distribusi probabilitas paling banyak digunakan sebagai model bagi data riil diberbagai bidang. Distribusi normal memiliki kurva berbentuk lonceng yang simetris. Dua parameter yang menentukan distribusi normal adalah rata-rata/ekspektasi ( $\mu$ ) dan varians ( $\sigma^2$ ). Fungsi probabilitas distribusi normal adalah (Sunendiari, 2010):

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2}, & -\infty < x < \infty \\ 0, & \text{lainnya.} \end{cases}$$

dimana  $x$  adalah kecepatan angin.

Penaksir parameter  $\hat{\mu}$  dan  $\hat{\sigma}^2$  didapat menggunakan metode maksimum likelihood, persamaan  $\hat{\mu}$  dan  $\hat{\sigma}^2$  adalah:

$$\hat{\mu} = \frac{\sum x_i}{n}$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{\sum(x_i - \mu)^2}{n}$$

**Distribusi Weibull Klasik**

Distribusi Weibull klasik memiliki dua parameter yaitu parameter  $k$  dan  $c$ .  $k$  merupakan parameter bentuk yang

menunjukkan ukuran penyebaran data waktu hidup dan  $c$  merupakan parameter skala yang menunjukkan karakteristik hidup distribusi Weibull klasik. Fungsi densitas peluang dari distribusi Weibull klasik adalah sebagai berikut (Salami dkk, 2013):

$$f(x) = \begin{cases} \frac{k}{c} \left(\frac{x}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{c}\right)^k}, & x > 0 \\ 0, & \text{lainnya.} \end{cases}$$

Penaksir parameter  $\hat{k}$  dan  $\hat{c}$  didapat menggunakan metode maksimum *likelihood* dengan penyelesaian numerik metode *Newton-Rapshon*, persamaan  $\hat{k}$ :

$$\hat{k}_{n+1} = \hat{k}_n - \frac{f(\hat{k})}{f'(\hat{k})}$$

fungsi  $\hat{k}$  adalah (kinasih, 2013),

$$f(\hat{k}) = \left(\frac{1}{\hat{k}} + \frac{\sum \ln x_i}{n} - \frac{\sum x_i^{\hat{k}} \ln x_i}{\sum x_i^{\hat{k}}}\right)$$

diperlukan turunan pertama dari  $f(\hat{k})$  (kinasih, 2013),

$$f'(\hat{k}) = -\frac{1}{\hat{k}^2} - \frac{\sum x_i^{\hat{k}} (\ln x_i)^2}{\sum x_i^{\hat{k}}} + \frac{[\sum x_i (\ln x_i)]^2}{(\sum x_i^{\hat{k}})^2}$$

Setelah menaksir parameter  $\hat{k}$  maka di dapat penaksir parameter  $\hat{c}$ ,

$$\hat{c} = \left(\frac{1}{n} \sum x_i^{\hat{k}}\right)^{\frac{1}{\hat{k}}}$$

**Hybrid Weibull Distribution**

Menurut Ihaddadene, dkk. (2016), Jika suatu daerah memiliki frekuensi kecepatan angin tenang (0 m/s) lebih dari 15 % maka menghapus nilai-nilai kecepatan angin tenang dengan daftar secara terpisah. Pendekatan untuk melakukan itu disebut *hybrid Weibull distribution*. Fungsi densitas peluang dari *hybrid Weibull distribution* adalah sebagai berikut (Salami dkk, 2013):

$$f_h(x) = \begin{cases} (1 - F_0) \frac{k}{c} \left(\frac{x}{c}\right)^{k-1} e^{-\left(\frac{x}{c}\right)^k}, & x > 0 \\ F_0, & x = 0 \end{cases}$$

dimana  $F_0$  adalah frekuensi relatif kecepatan angin tenang.

Penaksir parameter  $\hat{k}$  dan  $\hat{c}$  berdasarkan persamaan parameter distribusi Weibull klasik.

### **Goodness of Fit**

*Goodness of fit* menggambarkan seberapa baik atau cocok model distribusi kecepatan angin menggunakan hybrid Weibull distribution yang dibandingkan dengan distribusi normal dan distribusi Weibull klasik. Tes statistik yang digunakan yaitu koefisien determinasi ( $R^2$ ) dan root mean square error (*RMSE*).

### **Koefisien Determinasi**

Menurut Ghozali (2012) koefisien determinasi ( $R^2$ ) merupakan alat untuk mengukur seberapa jauh kemampuan model dalam menerangkan variasi variabel dependen. Nilai koefisien determinasi adalah antara nol atau satu. Nilai  $R^2$  yang kecil berarti kemampuan variabel-variabel independen dalam menjelaskan variasi variabel dependen amat terbatas. Dan sebaliknya jika nilai yang mendekati 1 berarti variabel-variabel independen memberikan hampir semua informasi yang dibutuhkan untuk memprediksi variabel-variabel dependen.

Menentukan nilai  $R^2$  sebagai (Akdag dan Dinler, 2009):

$$R^2 = 1 - \frac{\sum(f_i - g_i)^2}{\sum(f_i - \bar{f})^2}$$

dimana  $f_i$  adalah frekuensi relatif data pengamatan kecepatan angin.  $g_i$  adalah frekuensi data prediksi kecepatan angin dengan menggunakan normal, Weibull, dan *hybrid Weibull distribution*.  $\bar{f}$  adalah rata-rata dari nilai  $f_i$ .

### **Root Mean Square Error**

*Root mean square error (RMSE)* merupakan nilai rata-rata dari jumlah kuadrat kesalahan dan menyatakan ukuran besarnya kesalahan yang dihasilkan oleh suatu model prakiraan. Rumus *RMSE* adalah sebagai berikut (Akdar dan Dinler, 2009):

$$RMSE = \left( \frac{\sum(f_i - g_i)^2}{m} \right)^{0.5}$$

Dimana  $m$  adalah banyak interval kecepatan angin. Semakin kecil nilai *RMSE* maka semakin baik pemodelan yang dimodelkan oleh distribusi teoritis.

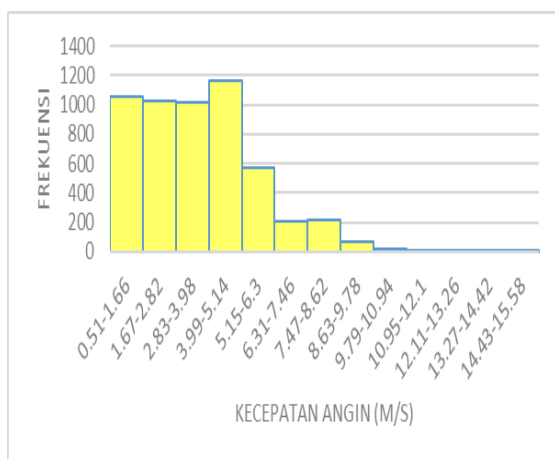
## **Hasil dan Pembahasan**

### **Deskripsi Data**

**Tabel 1.** Distribusi Frekuensi Kecepatan Angin Bulanan Tahun 2014

$x$	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Agu	Sep	Okt	Nov	Des
0.51-1.66	81	70	125	83	104	139	109	108	61	36	51	88
1.67-2.82	80	65	70	69	95	124	127	113	95	66	50	67
2.83-3.98	79	73	35	59	71	57	75	97	71	115	146	138
3.99-5.14	136	87	68	61	59	66	83	133	135	142	115	80
5.15-6.3	97	61	37	41	17	21	39	55	68	41	43	52
6.31-7.46	22	27	11	11	5	1	3	1	30	41	17	35
7.47-8.62	27	23	10	3	0	1	1	1	14	58	35	45
8.63-9.78	5	5	0	0	0	0	0	0	6	18	13	17
9.79-10.94	0	0	2	0	0	1	0	0	0	3	1	7
10.95-12.1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	3	1	1
12.11-13.26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
13.27-14.42	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
14.43-15.58	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0

Distribusi frekuensi kecepatan angin diperlukan untuk mengukur kecocokan distribusi data dengan prediksi data teoritis menggunakan normal distribusi, distribusi Weibull klasik dan hybrid Weibull distribution. Distribusi frekuensi disajikan pada tabel 1.



**Gambar 1.** Histogram Kecepatan Angin Tahun 2014

**Tabel 2.** Persentase Kecepatan Angin Tenang Bulanan Tahun 2014.

Bulan	Kecepatan Angin Tenang (0 m/s)
Jan	29.17
Feb	38.84
Mar	51.88
Apr	54.44
May	52.82
Jun	41.67
Jul	42.64
Aug	31.72
Sep	33.19
Oct	29.30
Nov	34.44
Dec	28.76
<b>2014</b>	<b>39.07</b>

**Tabel 3.** Deskripsi Data Kecepatan Angin Bulanan Tahun 2014

Bulan	Rata-rata	Varians
Januari	2.90	6.04
Februari	2.48	6.36
Maret	1.58	4.45
April	1.54	4.30
Mei	1.35	2.88
Juni	1.57	2.88
Juli	1.81	3.47
Agustus	2.25	3.69
September	2.68	5.90
Oktober	3.36	8.26
November	2.80	6.89
Desember	3.04	7.60
2014	2.28	5.65

Frekuensi kecepatan angin tenang lebih 15% pada setiap bulannya maka hybrid Weibull distribution dapat digunakan untuk menggambarkan kecepatan angin di Kota Bandung.

Pada bulan Maret, April, dan Mei frekuensi kecepatan angin tenang melebihi 50% dan bulan April adalah persentase kecepatan angin tenang yang paling tinggi yaitu 54,8.

**Penaksiran Parameter**

Penaksiran parameter dari distribusi normal, distribusi Weibull klasik, dan *hybrid Weibull distribution* untuk memodelkan kecepatan angin di Kota Bandung .

**Tabel 4.** Penaksir Parameter Bulanan Tahun 2014 dari Ketiga Distribusi

Bulan	Distribusi Normal		Distribusi Weibull Klasik		Hybrid Weibull Distribution		
	$\hat{\mu}$	$\hat{\sigma}^2$	$\hat{k}$	$\hat{c}$	$F_0$	$\hat{k}$	$\hat{c}$
Jan	2.90	6.04	2.3178	4.6376	0.292	2.3178	4.6376
Feb	2.48	6.36	2.168	4.5904	0.388	2.168	4.5904
Mar	1.58	4.45	1.8346	3.6086	0.519	1.8346	3.6086
Apr	1.54	4.30	2.013	3.8302	0.544	2.013	3.8302
Mei	1.35	2.88	2.2889	3.2382	0.528	2.2889	3.2382
Jun	1.57	2.88	2.2109	3.1323	0.417	2.2109	3.1323
Jul	1.81	3.47	2.3374	3.487	0.426	2.3374	3.487
Ags	2.25	3.69	2.5593	3.7265	0.317	2.5593	3.7265
Sep	2.68	5.90	2.305	4.5467	0.332	2.305	4.5467
Okt	3.36	8.26	2.2583	5.3806	0.293	2.2583	5.3806
Nov	2.80	6.89	2.2235	4.8402	0.344	2.2235	4.8402
Des	3.04	7.60	1.9438	4.8272	0.288	1.9438	4.8272
<b>2014</b>	<b>2.28</b>	<b>5.65</b>	<b>2.0471</b>	<b>4.2411</b>	<b>0.391</b>	<b>2.0471</b>	<b>4.2411</b>

**Goodness of Fit**

*Goodness of fit* untuk memperoleh model distribusi yang sesuai untuk data kecepatan angin di Kota Bandung tahun 2014.

**Kesimpulan**

Berdasarkan pembahasan dalam penelitian ini, peneliti menyimpulkan

beberapa hasil Penelitian ini menggunakan hybrid Weibull distribution untuk memodelkan kecepatan angin dengan memperhatikan kecepatan angin tenang di Kota Bandung Tahun 2014. Pada umumnya kecepatan angin dimodelkan dengan menggunakan pendekatan distribusi Weibull klasik.

**Tabel 5.** Nilai  $R^2$  dan  $RMSE$  Kecepatan Angin Bulanan Tahun 2014

Bulan	Distribusi Normal		Distribusi Weibull Klasik		Hybrid Weibull Distribution	
	$R^2$	$RMSE$	$R^2$	$RMSE$	$R^2$	$RMSE$
<b>Januari</b>	0.0360	0.0673	0.5805	0.0535	0.8547	0.0315
<b>Februari</b>	0.0436	0.0825	0.6917	0.0584	0.9647	0.0198
<b>Maret</b>	0.2159	0.1081	0.6960	0.0839	0.9466	0.0352
<b>April</b>	0.2573	0.1093	0.7352	0.0814	0.9851	0.0193
<b>Mei</b>	0.2507	0.1003	0.5913	0.1048	0.9735	0.0267
<b>Juni</b>	0.3330	0.0864	0.6113	0.0823	0.9228	0.0367
<b>Juli</b>	0.1982	0.0833	0.5673	0.0810	0.9324	0.0320
<b>Agustus</b>	0.0277	0.0718	0.3905	0.0752	0.8148	0.0414
<b>September</b>	0.3940	0.0752	0.7097	0.0513	0.9291	0.0254
<b>Oktober</b>	0.0212	0.0828	0.7863	0.0389	0.9054	0.0259
<b>November</b>	0.2248	0.0867	0.7715	0.0480	0.9106	0.0300
<b>Desember</b>	0.2010	0.0740	0.7332	0.0416	0.9013	0.0253
<b>2014</b>	<b>0.3197</b>	<b>0.0842</b>	<b>0.7936</b>	<b>0.0464</b>	<b>0.9755</b>	<b>0.0160</b>

Namun, distribusi Weibull klasik tidak cocok digunakan pada kasus seperti di Kota Bandung yang memiliki frekuensi kecepatan angin tenang (0 m/s) lebih dari 29 %. Hal itu dibuktikan dengan nilai  $R^2$  dan nilai  $RMSE$  yang dimodelkan oleh distribusi Weibull klasik memiliki nilai lebih kecil dari pada hybrid Weibull distribution. Hybrid Weibull distribution memiliki nilai  $R^2$  yang paling tinggi sebesar 0,9851 dan nilai  $RMSE$  terendah sebesar 0,0193 pada bulan April. Jadi, model terbaik untuk memodelkan kecepatan angin dengan memperhatikan kecepatan angin tenang adalah hybrid Weibull distribution dengan  $F_0 = 0,549$ ,  $k = 2.013$ , dan  $c = 3.8302$ .

#### Daftar Pustaka

- Akdag, S.A., Dinler, A. (2009). A new method to estimate Weibull parameters for wind energy applications. *Energy Conversion and Management*. 1761-1766.
- Ghozali, Imam. (2012). Aplikasi Analisis Multivariate dengan Program IBM SPSS. Yogyakarta: Universitas Diponegoro.
- Ihaddadene, R., Ihaddadene, N., Mostefaoui, M. (2016). Estimation of monthly wind speed distribution basing on hybrid Weibull distribution. *World Journal of Engineering*. Vol. 13 No.6.
- KESDM, (2018). Rasio Elektrifikasi 2017 Melebihi Target, [online] (<https://www.esdm.go.id/id/berita-unit/direktorat-jenderal-ketenagalistrikan/rasio-elektrifikasi-2017-melebihi-target>). Diakses pada 25 Mei 2018.
- Kinasih, I. P. (2013). Aproksimasi Numerik Belah Dua dan Newton-Rapshon Pada Estimasi Parameter Distribusi Weibull. IKIP Mataram. Mataram.
- Li. M., Li. X., (2004) "On the probabilistic distribution of wind speeds: theoretical development and comparison with data," *Internasional Journal Energy*. vol. 1 No. 2.
- OkeZone Finance, (2018). PLTB Pertama Indonesia Terbesar di ASEAN, [online] (<https://economy.okezone.com/read/2018/06/16/320/1910817/pltb-pertama-indonesia-terbesar-di-asean>). Diakses pada 25 Mei 2018.
- Otaya, Lian G. (2016). Distribusi Probabilitas Weibull Dan Aplikasinya. *Jurnal Manajemen Pendidikan Islam*. Vol. 4 No. 2.
- Rinne, Horst. (2009). *The Weibull Distribution A Handbook*. Britania Raya: Taylor & Francis Group.
- Salami, A. A., Ajavon, A. S. A., Kodjo, M. K., Bedja, K. (2013). Contribution to improving the modeling of wind and evaluation of the wind potential of the site of Lome: Problems of taking into account the frequency of calm winds. *International Journal of Renewable Energy*. 449-455.
- Sunendiari, S. (2010). *Statistika Matematika I*. Jakarta: Pustaka Ceria.
- Tjasyono, Bayong. (2004). *Klimatologi*. Bandung: Penerbit ITB