

PENGEMBANGAN APLIKASI ANALISIS POTENSI ANGIN SEBAGAI SUMBER ENERGI TERBARUKAN MENGGUNAKAN ESTIMASI PARAMETER WEIBULL BERBASIS METODE POWER DENSITY (STUDI KASUS: KOTA TARAKAN)

Arif Fadllullah¹, Sugeng Riyanto¹, Sudirman²

¹Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan

²Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan

Jl Amal Lama No 1 Tarakan, Kota Tarakan, Kalimantan Utara Indonesia

Email: arif.fadl@gmail.com¹ sugeng.riyanto1972@yahoo.co.id¹ sudirman_dhuha@yahoo.co.id²

Abstrak

Belum ada kajian yang komprehensif tentang sejauh mana potensi energi angin guna menjadi sumber energi listrik terbarukan di Kota Tarakan. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pengembangan aplikasi analisis potensi angin sebagai sumber energi listrik terbarukan di Kota Tarakan menggunakan estimasi parameter *Weibull* berbasis metode *Power Density*. Frekuensi kecepatan angin diubah ke dalam bentuk kurva distribusi *Weibull* berdasarkan parameter bentuk (k) dan skala (s). Kemudian kedua parameter ini dicari menggunakan formulasi *Power Density* berdasarkan perhitungan rata-rata kecepatan angin dan rata-rata kubik kecepatan angin. Hasil eksperimen aplikasi usulan terhadap 1000 sampel data primer kecepatan angin yang diambil selama 100 hari menunjukkan nilai k dan s adalah 1,32 dan 1,90, sedangkan hasil eksperimen terhadap 48 sampel data sekunder yang diambil per bulan dalam 4 tahun menunjukkan nilai k dan s adalah 2,55 dan 3,42. Kedua jenis data ini mengindikasikan bahwa Kota Tarakan memiliki variabilitas angin tinggi dan lebih banyak berhembus angin kecepatan rendah < 4 m/s. Selain itu, rata-rata potensi daya angin yang dapat diserap turbin skala sangat kecil (diameter 2 m) hanya 13,60 s/d 32,48 watt, sehingga energi angin memiliki potensi yang sangat kecil untuk diterapkan sebagai pembangkit energi listrik di Kota Tarakan.

Kata Kunci: aplikasi analisis, potensi angin, energi terbarukan, *weibull*, *power density*, Kota Tarakan

Abstract

There is no comprehensive study on the extent of wind energy potential to become a renewable electricity resource in the Tarakan city. Therefore, this study proposes the development of application for wind potential analysis as a renewable electricity resource in the Tarakan city using Weibull parameter estimation based on the Power Density method. The frequency of wind speed is converted into a Weibull distribution curve based on the parameters of k and s . Then these two parameters are searched using the Power Density formulation. The experimental results of the proposed application of 1000 primary data samples of wind speed taken over 100 days showed the values of k and s were 1.32 and 1.90, while the experimental results of 48 secondary data samples taken per month in 4 years showed the value of k and s are 2.55 and 3.42. Both types of data indicate that Tarakan City has high wind variability and more low-speed wind blows < 4 m/s. In addition, the average wind power potential that be absorbed by a very small-scale turbine is only 13.35-32.48 watts, so the wind power does not have the potential to be applied as a power plant in the Tarakan City.

Keywords: application analysis, wind potential, renewable energy, *weibull*, *power density*, Tarakan City.

1. PENDAHULUAN

Kota Tarakan secara makro berupa daerah kepulauan dengan wilayah beriklim tropis panas-lembab yang disertai pola musim yang tidak menentu dan karakter khusus pergerakan angin yang dipengaruhi secara langsung dari laut, sehingga angin daerah pesisir pantai masih sangat kuat berpengaruh sampai ke daratan Kota Tarakan. Lebih lanjut, energi angin juga bebas polusi dan sumbernya gratis secara ekonomis, sehingga energi ini tidak kalah kompetitifnya dengan sumber energi

terbarukan yang lainnya [1]. Hal inilah yang menjadikan energi angin sebagai energi listrik terbarukan yang cukup potensial untuk dikaji dan dikembangkan di Kota Tarakan, selain panas bumi dan energi surya. Akan tetapi, sampai saat ini masih belum ada kajian yang komprehensif tentang sejauh mana potensi energi angin guna menjadi sumber energi listrik terbarukan di wilayah Tarakan. Diperlukan data atau informasi, serta metode analisis yang mendalam terkait data angin riil dan aktual yang tersedia di Kota Tarakan dan pemanfaatannya sesuai kebutuhan.

Salah satu yang paling umum digunakan untuk menganalisis potensi angin adalah menggunakan kurva distribusi *Weibull*. Distribusi *Weibull* merupakan salah satu distribusi probabilitas kontinu yang dicirikan dengan pendugaan parameter bentuk (k) dan skala (s) untuk menganalisis keandalan dan memprediksi lama waktu kestabilan suatu sistem, termasuk mampu untuk menentukan apakah daerah memiliki kecepatan angin yang baik atau tidak [2]. Beberapa metode yang relevan telah diusulkan untuk menyelesaikan pendugaan parameter k dan s dalam kurva *Weibull*, diantaranya metode *Maximum Likelihood* (MLM) [3], metode *Least Square* (LSM) [4], metode *Moment* (MM) [5], dan metode *Power Density* (PDM) [6]. Beberapa metode tersebut memiliki keunggulan dan kelemahan masing-masing tergantung variasi ukuran, distribusi, dan format data sampel. Misalnya LSM berkinerja baik daripada MLM jika ukuran sampelnya cukup kecil, sebaliknya MLM unggul ketika data sampel yang diolah sangat besar [4] dan data angin berbentuk *time-series* [6]. Akan tetapi, perhitungan parameter k dan s pada LSM memerlukan evaluasi distribusi frekuensi dengan mengurutkan data kecepatan angin terlebih dahulu, sehingga cukup bias untuk sampel data yang besar. Kemudian dengan MLM, data kecepatan angin tidak perlu diurutkan, tetapi kompleksitas perhitungan parameter k dan s tinggi, karena dihitung secara iteratif dan ekstensif untuk sampel data yang besar [6]. Lebih lanjut, MM dan PDM mampu mengurangi kompleksitas perhitungan dari kedua metode sebelumnya, karena diselesaikan tidak secara iteratif dan tanpa proses sorting. MM menghitung berdasarkan rata-rata dan standar deviasi kecepatan angin [7], sedangkan PDM lebih unggul karena perhitungan dilakukan berdasarkan rata-rata kecepatan angin dan rata-rata kubik kecepatan angin [6].

Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan pengembangan aplikasi untuk menganalisis seberapa besar potensi angin sebagai sumber energi listrik terbarukan di Kota Tarakan menggunakan estimasi parameter *Weibull*

berbasis metode *Power Density*. Parameter bentuk (k) dan skala (s) *Weibull* digunakan untuk mengubah bentuk data-data kecepatan angin ke dalam bentuk kurva PDF (*probability density function*) dan perkiraan potensi energi angin. Selanjutnya, kedua parameter ini dicari menggunakan formulasi metode *Power Density* yang hanya mempertimbangkan rata-rata kecepatan angin dan rata-rata kubik kecepatan angin, sehingga hasil analisis dapat diperoleh dengan akurat, cepat, dan efisien untuk sejumlah data sampel yang besar.

2. METODE

Angin merupakan hembusan udara yang bergerak dari suatu daerah yang memiliki tekanan tinggi ke daerah yang memiliki tekanan yang lebih rendah. Semakin tinggi perbedaan tekanan udara diantara dua tempat, maka semakin kencang kecepatan angin bertiup. Perubahan panas pada pergantian siang dan malam juga turut mempengaruhi siklus gaya gerak sistem kecepatan angin harian, karena adanya perbedaan temperatur yang tinggi antara udara daratan dan lautan atau udara diatas dataran tinggi dan dataran rendah. Dalam hal mengukur kecepatan angin, seringkali kecepatan angin dinyatakan dengan merata-ratakan data bulanan sepanjang tahun untuk mendapatkan gambaran potensi angin pada suatu lokasi [8]. Penyebab utama angin bertiup secara kontinyu, khususnya di daerah pantai adalah Angin Darat-Laut yang muncul sebagai akibat perbedaan karakteristik laut dan darat, dimana Indonesia merupakan daerah kepulauan dengan wilayah laut lebih luas daripada wilayah darat [9].

A. Probabilitas Berdasarkan Distribusi *Weibull*

Distribusi *Weibull* merupakan distribusi penting utama untuk keandalan dan analisis rawatan [2]. Distribusi ini juga sering digunakan sebagai cara untuk memodelkan kecepatan angin dan memperkirakan potensial energi angin [10]. Dalam distribusi *Weibull*,

fungsi kepadatan probabilitas dapat didefinisikan dalam persamaan 1.

$$PDF_w = \left[\frac{k}{s} \cdot \left(\frac{v}{s} \right)^{k-1} \right] \cdot e^{-\left(\frac{v}{s} \right)^k} \quad (1)$$

PDF_w adalah frekuensi atau probabilitas terjadinya kecepatan angin v berdasarkan dua parameter perhitungan analisis data *Weibull*, yaitu parameter k (parameter bentuk) dan s (parameter skala) [3]. Hasil dari perhitungan parameter k pada *Weibull* digunakan untuk menentukan tinggi rendahnya probabilitas atau kestabilan terjadinya angin pada lokasi yang dipantau. Sedangkan hasil dari perhitungan parameter s pada *Weibull* digunakan untuk menentukan apakah lokasi yang dipantau merupakan daerah berangin kencang atau tidak [11].

Selain itu, dalam distribusi *Weibull* juga dapat dicari fungsi distribusi kumulatif berdasarkan persamaan 2.

$$KDF_w = 1 - e^{-\left(\frac{v}{s} \right)^k} \quad (2)$$

KDF_w adalah fungsi distribusi kumulatif yang merepresentasikan probabilitas kecepatan angin sama atau lebih rendah daripada v . Fungsi distribusi kumulatif KDF_w merupakan integral dari PDF_w [12]. Frekuensi maksimum kecepatan angin ditentukan berdasarkan persamaan 3.

$$v_{mod} = c \left(1 - \frac{1}{k} \right)^{1/k} \quad (3)$$

Maksimum kecepatan angin dapat dihitung berdasarkan persamaan 4.

$$v_{maks} = c \left(\frac{k+2}{k} \right)^{1/k} \quad (4)$$

B. Metode Power Density (PD)

Metode PD merupakan metode yang dibuat untuk menyelesaikan permasalahan mencari nilai parameter k dan s dalam distribusi *Weibull*. Keunggulan metode PD diantaranya: 1) formulasi yang sederhana, 2) tidak memerlukan proses *binning* dan menyelesaikan permasalahan *linear least square* atau prosedur yang berulang, 3) Jika

kerapatan daya (*power density*) dan rata-rata kecepatan angin tersedia, sangat mudah untuk memperkirakan parameter *Weibull* dan, 4) Lebih sesuai untuk memperkirakan potensi daya [6].

Dalam metode PD, perhitungan nilai parameter k didefinisikan dalam persamaan 5.

$$k = 1 + \frac{3,69}{(E_{PF})^2} \quad (5)$$

Dimana E_{PF} merupakan *Energy Pattern Factor* yang dihitung berdasarkan persamaan 8 [6] [13]

$$\bar{V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i \quad (6)$$

$$\bar{V}^3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i^3 \quad (7)$$

$$E_{PF} = \frac{\bar{V}^3}{(\bar{V})^3} = \frac{\Gamma(1+3/k)}{\Gamma(1+3/k)} \quad (8)$$

Dengan \bar{V} adalah rata-rata kecepatan angin (m/s), \bar{V}^3 adalah rata-rata kubik kecepatan angin (m³/s³), dan Γ adalah fungsi *gamma*. Sedangkan untuk menghitung nilai parameter s , perhitungannya didefinisikan dalam persamaan 9.

$$s = \frac{\bar{V}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{k}\right)} \quad (9)$$

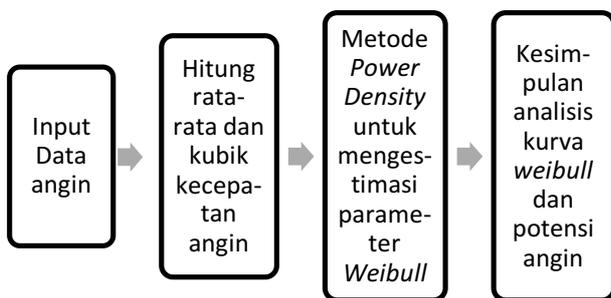
Dimana Γ merupakan fungsi *gamma*. Selanjutnya, kerapatan daya (*power density*), PD_w merupakan besarnya power atau daya yang dihasilkan per satuan luas Area Turbin dengan perhitungan dapat dilihat pada persamaan 10.

$$PD_w = \frac{P}{A} = \frac{\frac{1}{2}\rho \cdot A \cdot V^3}{A} = \frac{1}{2}\rho \cdot V^3 \quad (10)$$

Dimana PD_w adalah kerapatan daya (Watt/m²) dan ρ adalah massa jenis (kg/m³). Terlihat bahwa kerapatan daya berbanding lurus dengan massa jenis dan kubik kecepatan angin. Persamaan inilah yang kemudian digunakan untuk menilai besaran daya yang dihasilkan kecepatan angin per satuan luas Area Turbin.

C. Pengambilan Data Uji

Pengambilan data uji penelitian ini bersifat primer maupun sekunder. Data primer diperoleh peneliti melalui proses pengakuisisian data kecepatan secara langsung dalam rentang waktu 100 hari yang diambil dari pukul 13.30 s/d 18.00 WITA pada bulan Maret hingga Agustus di tahun 2018, sedangkan data sekunder diperoleh dari sampel basis data yang tersedia di Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Kota Tarakan berupa data kecepatan angin milik BMKG dalam rentang waktu selama 4 tahun (2014-2017).



Gambar 1. Rancangan aplikasi analisis potensi angin

D. Lingkungan Uji Coba

Spesifikasi lingkungan uji coba aplikasi menggunakan metode usulan dapat dilihat dalam Tabel 1.

Table 1. Spesifikasi Sistem

Jenis	Spesifikasi
Prosesor	Intel dual core 2,00 Ghz
Memori	2,00 GB
Sistem Operasi	Windows 7
Penyimpanan	200 MB
Bhs. Pemrograman	Matlab R2010a
Tools	Net Framework 4.5 & 5

E. Desain Umum Model Sistem

Secara umum, rancangan aplikasi analisis potensi angin berdasarkan metode usulan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Rancangan aplikasi penelitian ini dimulai dengan menginputkan data angin. Ada dua

jenis data penelitian yang akan diuji, yaitu data primer dan data sekunder. Kemudian dari data tersebut diolah ke dalam beberapa tahapan sebagai berikut:

1) Menghitung Rata-Rata Kecepatan Angin dan Rata-Rata Kubik Kecepatan Angin

Pada tahapan ini, data uji berupa data kecepatan angin yang terlebih dahulu dikonversi ke dalam bentuk *time series* yang kemudian diolah hingga diperoleh data \bar{V} (rata-rata kecepatan angin) berdasarkan persamaan 6 dan \bar{V}^3 (rata-rata kubik kecepatan angin berdasarkan persamaan 7).

2) Kurva Distribusi Weibull dan Potensi Kekuatan Angin menggunakan Metode Power Density

Tahapan ini digunakan untuk menghasilkan kurva distribusi *Weibull* (PDF_w) dan potensi kerapatan daya angin (PD_w). Dimana hasil perhitungan \bar{V} dan \bar{V}^3 digunakan untuk menghitung nilai E_{PF} (*Energy Pattern Factor*) berdasarkan persamaan 8. Nilai E_{PF} digunakan untuk menghitung nilai parameter k (bentuk) berdasarkan persamaan 5, sedangkan nilai parameter s (skala) dihitung berdasarkan persamaan 9 dengan mempertimbangkan nilai k dan \bar{V} . Nilai k dan s yang kemudian digunakan untuk menghasilkan kurva PDF_w berdasarkan persamaan 1 dan nilai *power density* atau kerapatan daya *Weibull* (PD_w) yang dihitung berdasarkan persamaan 10.

3) Kesimpulan Analisa Kurva Weibull dan Potensi Angin

Pada tahapan ini, sistem secara otomatis menganalisis nilai k , s , dan PW hasil percobaan berdasarkan asumsi parameter yang akan ditetapkan masing-masing sesuai dengan hasil studi literatur.

- Penilaian terhadap parameter k pada kurva fungsi kepadatan probabilitas *weibull* sebagai parameter yang menggambarkan bentuk angin (variabilitas dan stabilitas angin). Jumlah atau durasi sangat

dipengaruhi oleh parameter ini, semakin besar nilai parameter k , maka semakin besar durasi angin yang bertiup dengan variasi angin semakin sedikit [14]. Harga k yang lebih kecil ($k \leq 1,5$) berhubungan dengan variabilitas angin yang tinggi. Untuk sebagian besar tempat berangin cukup, harga k berkisar antara 1,51 - 1,99. Sedangkan k berkisar antara 2 - 2,9 berkaitan dengan angin kontinu angin reguler. Bila harga $k \geq 3$, maka dikategorikan sebagai angin mantap [8]. Dalam referensi lain menjelaskan bahwa nilai $k = 1,2$ adalah batas minimum kecepatan angin yang bisa diaplikasikan untuk kajian dasar pembangunan pembangkit listrik tenaga angin [15].

- Penilaian terhadap parameter s pada kurva fungsi kepadatan probabilitas *weibull* sebagai parameter yang menggambarkan skala angin. Semakin kecil nilai s , maka kurva akan bergeser ke arah lebih banyak jumlah hari yang memiliki kecepatan angin
- lebih rendah, demikian juga sebaliknya. Semakin besar nilai s , maka semakin banyak jumlah hari yang memiliki tiupan angin kencang dikarenakan sifat pengingkatan s [14] [2].
- Penilaian terhadap parameter kecepatan dan potensi energi angin dengan mempertimbangkan tabel kelas/skala gabungan referensi [16] dan LAPAN (dalam [17]) sebagai batas minimum dan batas maksimum energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk energi listrik, sehingga menghasilkan asumsi parameter modifikasi seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Minimum Penggerak Motor

Skala Turbin	Minimum Kecepatan Angin (m/s) penggerak Rotor	Diameter Rotor (m)
Sangat Kecil	1,5	2
Kecil	2,6	5
Menengah	4,1	20

Besar 5,1 50

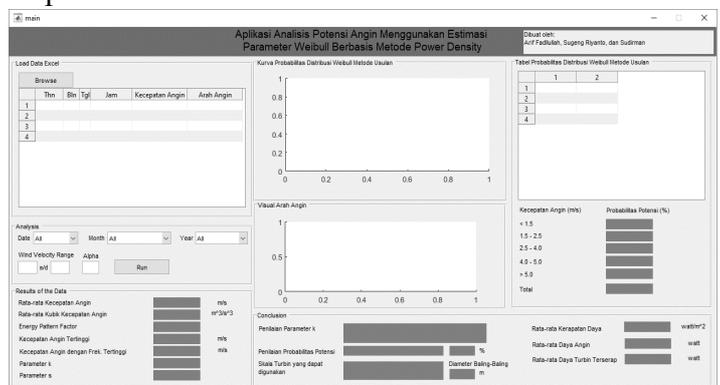
Results of the Data		
Rata-rata Kecepatan Angin	1.74696	m/s
Rata-rata Kubik Kecepatan Angin	18.0513	m ³ /s ³
Energy Pattern Factor	3.38579	
Kecepatan Angin Tertinggi	3.81043	m/s
Kecepatan Angin dengan Frek. Tertinggi	0.651828	m/s
Parameter k	1.32189	
Parameter s	1.89772	

Gambar 2. Hasil pengolahan data oleh aplikasi, termasuk parameter k dan s untuk data primer

Results of the Data		
Rata-rata Kecepatan Angin	3.03308	m/s
Rata-rata Kubik Kecepatan Angin	43.094	m ³ /s ³
Energy Pattern Factor	1.54442	
Kecepatan Angin Tertinggi	4.28984	m/s
Kecepatan Angin dengan Frek. Tertinggi	2.80935	m/s
Parameter k	2.54701	
Parameter s	3.41682	

Gambar 3. Hasil pengolahan data oleh aplikasi, termasuk parameter k dan s untuk data sekunder

Tabel 2 menunjukkan parameter kecepatan angin dan diameter rotor yang akan digunakan di dalam aplikasi, dimana parameter kecepatan angin digunakan sebagai *cut-in* kecepatan angin untuk dapat menggerakkan rotor, sehingga jika di dalam data kecepatan angin terdapat kecepatan yang ada dibawah *cut-in*, maka kecepatan angin tersebut akan di “*not*” kan. Sedangkan diameter rotor digunakan untuk menghitung daya yang merupakan besarnya energi yang dihasilkan turbin per-satuan waktu pada aplikasi usulan penelitian ini.



Gambar 4. Antar Aplikasi Analisis Potensi Angin Dengan Metode Usulan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan luaran yang dicapai dalam penelitian ini adalah sebuah sistem/aplikasi usulan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, dimana aplikasi ini mampu secara otomatis memberikan kesimpulan tentang sejauh mana potensi energi angin guna menjadi sumber energi listrik terbarukan di Kota Tarakan.

A. Nilai Parameter bentuk (k) dan skala (s) dalam distribusi Weibull Kecepatan Angin Kota Tarakan

Nilai parameter k dan s telah dihitung menggunakan metode *Power Density* sebagai metode usulan. Pada Gambar 3 ditampilkan nilai parameter k dan s untuk data primer kecepatan angin masing-masing adalah 1,32 dan 1,90. Hal ini menandakan angin pada bulan dan waktu siang-sore itu berhembus jarang (variabilitas tinggi) dengan kecepatan yang paling banyak frekuensinya adalah $\pm 0,65$ m/s dan rata-rata kecepatan hanya 1,75 m/s.

Pada Gambar 4 ditunjukkan nilai parameter k dan s data sekunder kecepatan angin masing-masing adalah 2,55 dan 3,41. Hal ini menandakan bahwa rata-rata angin berhembus secara reguler dengan kecepatan hembusan yang paling banyak frekuensinya adalah $\pm 2,80$ m/s dan rata-rata kecepatan dapat mencapai 3,03 m/s.

Tabel 3. Nilai Parameter K dan S Untuk Data Sekunder Per Tahun

Tahun	Nilai k	Nilai s	Kecepatan Angin dengan Frekuensi Tertinggi (m/s)
2014	3,16	3,06	2,71
2015	2,32	1,96	2,52
2016	3,01	3,98	3,48
2017	3,59	4,42	4,04

Selanjutnya Tabel 3 mengidentifikasi nilai parameter k dan s yang terjadi pada data sekunder per tahun, yang mana tahun 2017 menunjukkan tahun yang memiliki hembusan angin paling tinggi dari ketiga tahun lainnya dengan kecepatan angin yang paling banyak

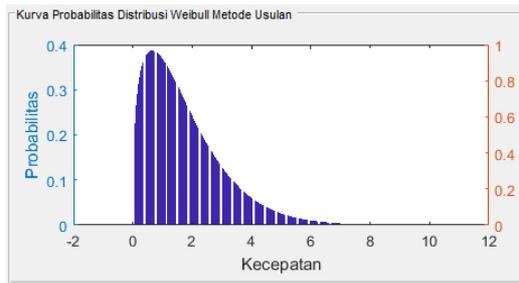
frekuensi kemunculannya adalah kecepatan angin skala menengah. Sedangkan tahun 2015 menunjukkan tahun yang memiliki hembusan angin paling rendah dari ketiga tahun lainnya dengan kecepatan angin yang paling banyak frekuensi kemunculannya adalah kecepatan angin skala kecil.

Dari dua data baik data primer dan sekunder memberikan kesimpulan bahwa angin di Kota Tarakan secara umum selalu berhembus tiap hari dengan kecepatan angin sangat kecil hingga menengah. Meskipun pada saat-saat tertentu tidak ada hembusan angin sama sekali di jam-jam siang dan sore hari jika dilihat dari nilai parameter k dan s data primer berdasarkan hasil pengamatan langsung.

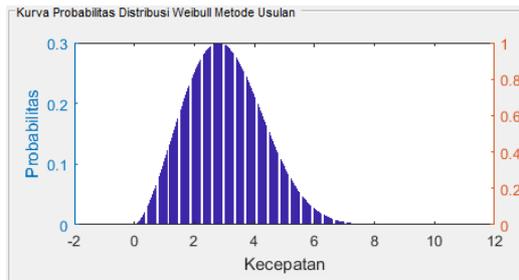
B. Distribusi weibull bentuk (k) dan skala (s) dalam distribusi Weibull kecepatan angin Kota Tarakan

Gambar 5 menunjukkan perbedaan bentuk kurva probabilitas distribusi *weibull* yang dibentuk berdasarkan nilai parameter k dan s hasil pengolahan data primer dan sekunder. Untuk data primer, karena pengambilan data secara langsung diperoleh bahwa probabilitas kurva kecepatan angin mengerucut dan paling banyak berkumpul pada daerah koordinat < 2 m/s (Gambar 5.a). Sedangkan untuk data sekunder, bahwa probabilitas kurva kecepatan angin mengerucut dan paling banyak berkumpul pada daerah kordinat diantara 2 s/d 4 m/s seperti yang terlihat pada Gambar 5.b.

Data tersebut selanjutnya diperkuat dengan probabilitas potensi yang dibagi ke dalam beberapa rentang kecepatan angin seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Pada Gambar 6.a diketahui bahwa terdapat $\pm 50\%$ kecepatan angin dari populasi data primer yang lebih kecil dari 1,5 m/s. Hal ini berarti ada setengah lebih kecepatan angin yang tidak berpotensi untuk menggerakkan turbin pada rentang waktu pengukuran data primer, sementara setengah sisanya berpotensi untuk menggerakkan turbin skala sangat kecil dan kecil.



(a)



(b)

Gambar 5. Kurva probabilitas distribusi *Weibull* untuk (a) data primer dan (b) data sekunder

Kecepatan Angin (m/s)	Probabilitas Potensi (%)
< 1.5	52.2162
1.5 - 2.5	24.2493
2.5 - 4.0	16.7409
4.0 - 5.0	4.09351
> 5.0	2.70004
Total	100

(a)

Kecepatan Angin (m/s)	Probabilitas Potensi (%)
< 1.5	11.7451
1.5 - 2.5	24.8647
2.5 - 4.0	41.1532
4.0 - 5.0	15.1767
> 5.0	7.06027
Total	100

(b)

Gambar 6. Probabilitas potensi yang diperoleh berdasarkan rentang kecepatan angin untuk (a) data primer dan (b) data sekunder

Kemudian dari Gambar 5.b diketahui bahwa data sekunder dalam rentang waktu 4 tahun hanya memiliki $\pm 12\%$ kecepatan angin dari populasi yang lebih kecil dari 1,5 m/s. Sedangkan sisa lainnya berada pada kecepatan angin yang bervariasi antar 1,5 s/d 4 m/s. Hal ini berarti untuk pengukuran kecepatan angin dengan populasi yang lebih

banyak dan rentang waktu lebih dari satu tahun, kecepatan angin di Kota Tarakan berpotensi untuk menggerakkan turbin sangat kecil dan kecil hingga $\pm 88\%$.

Hasil probabilitas kecepatan angin yang diperoleh dari data primer maupun sekunder menunjukkan bahwa angin di Kota Tarakan memiliki probabilitas hembusan yang tidak konstan per tiap hari, karena ada di jam-jam tertentu terdapat hembusan angin sangat kecil atau bahkan tidak ada. Faktor perbedaan area pengambilan data dan populasi data juga turut mempengaruhi perbedaan hasil yang diperoleh dari data primer dan data sekunder. Akan tetapi jika melihat probabilitas kecepatan angin yang ditunjukkan pada data primer dan sekunder sama-sama menyimpulkan bahwa Kota Tarakan memiliki kecepatan angin yang masuk kategori sangat kecil hingga kecil (ditinjau dari skala penggerak turbin) untuk digunakan sebagai tenaga pemutar turbin penghasil energi listrik alternatif.

C. Distribusi weibull bentuk (k) dan skala (s) dalam distribusi Weibull kecepatan angin Kota Tarakan

Berdasarkan analisis terhadap data primer, diketahui variabilitas angin tinggi dengan hembusan jarang, tetapi karena nilai parameter *k* data primer adalah 1,3 lebih besar dari 1,2 sebagai batas minimum nilai *k* (Putranto, et al., 2011), maka kecepatan angin data primer punya potensi meskipun sangat kecil. Terbukti aplikasi memberikan penilaian berpotensi terhadap data primer berdasarkan parameter *k* dan probabilitas potensi yang hanya mencapai 47,78%, dengan rata-rata kerapatan daya, daya angin, dan daya turbin terserap yang dapat dihasilkan masing-masingnya adalah 10,83 watt/m², 34 watt, dan 13,60 watt.

Selanjutnya berdasarkan analisis terhadap data sekunder, diketahui variabilitas angin sedang dengan hembusan reguler, sehingga kecepatan angin berpotensi untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga angin skala kecil. Terbukti aplikasi memberikan penilaian berpotensi terhadap data sekunder berdasarkan parameter *k* dan probabilitas

potensi yang hanya mencapai 88,25%, dengan rata-rata kerapatan daya, daya angin, dan daya turbin terserap yang dapat dihasilkan masing-masingnya adalah 25,86 watt/m², 81,19 watt, dan 32,48 watt.

Selain itu, hasil analisis yang berbeda untuk pengolahan data primer dan data sekunder lebih dikarenakan populasi data yang berbeda, karena data primer merupakan pengamatan langsung dalam rentang 100 hari yang per hari dilakukan pengambilan data per 30 menit dari pukul 13.30 s/d 18.00 WITA. Sedangkan data sekunder merupakan data BMKG dalam rentang 48 bulan (4 tahun). Akan tetapi, kedua hasil sama-sama menunjukkan bahwa kecepatan angin Kota Tarakan berpotensi sangat kecil sampai dengan kecil untuk dijadikan sebagai pembangkit listrik tenaga angin. Dengan melihat nilai daya turbin yang terserap, energi angin Kota Tarakan hanya bisa digunakan untuk skala rumah tangga, seperti untuk penerangan rumah, jalan, *charge* hp dan laptop, serta untuk konsumsi elektronik lain yang berdaya rendah. Kemudian turbin angin juga harus dilengkapi baterai sebagai alat penyimpan daya listrik dengan kapasitas besar dan tahan dalam waktu lama, karena dengan melihat hasil analisis data primer diketahui bahwa ada saat-saat tertentu tidak ada hembusan angin sama sekali, terutama di jam-jam siang dan sore hari. Baterai ini yang akan berguna untuk tetap menghasilkan daya listrik ketika turbin tidak bergerak karena tidak adanya hembusan angin.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan nilai k dan s yang telah diperoleh maka dapat diketahui bahwa karakteristik angin di Kota Tarakan secara keseluruhan memiliki hembusan reguler dengan variasi kecepatan angin yang sedikit hingga sedang dan kecepatan tiupan angin yang cukup banyak berada pada rentang < 4 m/s. Berdasarkan hasil perhitungan, probabilitas kecepatan angin data primer dan data sekunder yang dapat dimanfaatkan sebagai penghasil energi listrik masing-

masing sebesar 47,78% dan 88,25%. Data tersebut membuktikan bahwa Kota Tarakan memiliki potensial untuk memanfaatkan energi angin. Hanya saja dengan melihat hasil dari data primer, maka pada jam-jam tertentu dalam satu hari yang tidak memiliki hembusan sama sekali sehingga turbin angin juga harus dilengkapi baterai sebagai alat penyimpan daya listrik dengan kapasitas besar dan tahan dalam waktu lama. Ditinjau dari potensi dayanya, dengan kecepatan angin Kota Tarakan mampu menghasilkan daya sebesar 13,60 hingga 32,48 watt. Hasil ini menunjukkan bahwa kecepatan angin Kota Tarakan berpotensi kecil untuk dijadikan sebagai pembangkit listrik tenaga angin.

UCAPAN TERIMAKASIH

Kepada Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Borneo Tarakan penulis ucapkan terimakasih atas dukungannya. Serta kepada rekan dari Jurusan Teknik Mesin yang telah membantu dalam penelitian ini penulis ucapkan banyak terimakasih.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. H. Kusumodestoni and A. K. Zyen, "Prediksi Kecepatan Angin Menggunakan Model Neural Network untuk Mengetahui Besar Daya Listrik yang Dihasilkan," *Disprotek*, vol. 6, no. 1, pp. 53-59, 2015.
- [2] Parmaputra, M. Miftachul, Destiyani, M. Husni and T. Hardianto, "Potensi Tenaga Angin dengan Metode Weibull Analisis untuk Penerapan Renewable Energy di Pantai Watu Ulo Kabupaten Jember," in *Seminar Nasional Energi 3 (SINERGI 3)*, Poltek Jember, Jember, 2013.
- [3] E. Dokur and M. Kurban, "Wind Speed Potential Analysis Based on Weibull Distribution," *Balkan Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 3, no. 4, pp. 231-235, 2015.
- [4] Y.-K. Chu and J.-C. Ke, "Computational

- Approaches For Parameter Estimation of Weibull Distribution," *Mathematical and Computational Applications*, vol. 17, no. 1, pp. 39-47, 2012.
- [5] A. K. Azada, M. G. Rasula, M. M. Alam, S. M. A. Uddin and S. K. Mondal, "Analysis of Wind Energy Conversion System using Weibull Distribution," in *10 th International Conference on Mechanical Engineering, ICME*, Dhaka, Bangladesh, 2013.
- [6] S. A. Akdag and A. Dinler, "A New Method to Estimate Weibull Parameters for Wind Energy Applications," *Energy Conversion and Management*, vol. 50, pp. 1761-1766, 2009.
- [7] D. K. Kidmo, R. Danwe and N. Djongyang, "Statistical Analysis of Wind Speed Distribution Based on Six Weibull Method for wind Power Evaluation in Garoua, Cameroon," *Revue des Energies Renouvelables*, vol. 18, no. 1, pp. 105-125, 2015.
- [8] W. Widiyanto, "Analisis Probabilitas Kecepatan Angin untuk Pesisir Cilacap dengan Menerapkan Distribusi Weibull dan Rayleigh," *Dinamika Rekayasa*, vol. 9, no. 1, pp. 10-16, 2013.
- [9] A. Ihwan and I. Sota, "Kajian Potensi Energi Angin Untuk Perencanaan Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) di Kota Pontianak," *Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, vol. 7, no. 2, pp. 130-140, 2010.
- [10] Z. O. Olaofe and K. A. Folly, "Statistical Analisis of the Wind Resources at Darling For Energy Production," *Journal of Renewable Energy Research*, vol. 2, no. 2, 2012.
- [11] J. Wiranti and A. R. Utomo, "Studi Pemilihan Turbin Berdasarkan Potensi Energi Angin Pada Kawasan Bandara Depati Amir, Pangkal Pinang," Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Jakarta, 2013.
- [12] D. A. Fadare, "A Statistical Analysis of Wind Energy Potential in Ibadan, Nigeria, Based on Weibull Distribution Function," *The Pasific Journal of Science*, vol. 9, no. 1, pp. 110-119, 2008.
- [13] M. D. Dogara, H. O. Aboh, P. M. Gyuk and M. O. Onwumere, "The Use of Energy Pattern Factor (EPF) in Estimating Wind Power Density," *Science World Journal*, vol. 11, no. 3, pp. 27-30, 2016.
- [14] M. S. Soeripno and M. Ibrochim, "Analisa Potensi Energi Angin dan Estimasi Energi Output Turbin Angin di Lebak Banten," *Jurnal Teknologi Dirgantara*, vol. 7, no. 1, pp. 51-59, 2009.
- [15] Khairiaton, E. Yusibani and Gunawati, "Analisa Kecepatan Angin Menggunakan Distribusi Weibull di Kawasan Blang Bintang Aceh Besar," *Journal of Aceh Physics Society (JAcPS)*, vol. 5, no. 2, pp. 7-13, 2016.
- [16] M. N. Habibie, A. Sasmito and R. Kurniawan, "Kajian Potensi Energi Angin di Wilayah Sulawesi dan Maluku," *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, vol. 12, no. 2, pp. 181-187, 2011.
- [17] A. Putranto, A. Prasetyo and A. Zاتمiko, Rancang Bangun Turbin Angin Vertikal untuk Penerangan Rumah Tangga, Semarang, 2011.

