

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Kondisi Geografis Kabupaten Deli Serdang**

##### **2.1.1 Letak dan Batas Wilayah**

Kabupaten Deli Serdang merupakan salah satu kabupaten di pesisir timur Sumatera Utara. Secara geografis Kabupaten Deli Serdang berada 2°57' Lintang Utara sampai 3°16' Lintang Utara dan 98°33' Bujur Timur sampai 99°27' Bujur Timur dengan ketinggian 0–500 m di atas permukaan laut. Provinsi ini berbatasan dengan daerah perairan dan laut serta dua provinsi lain:

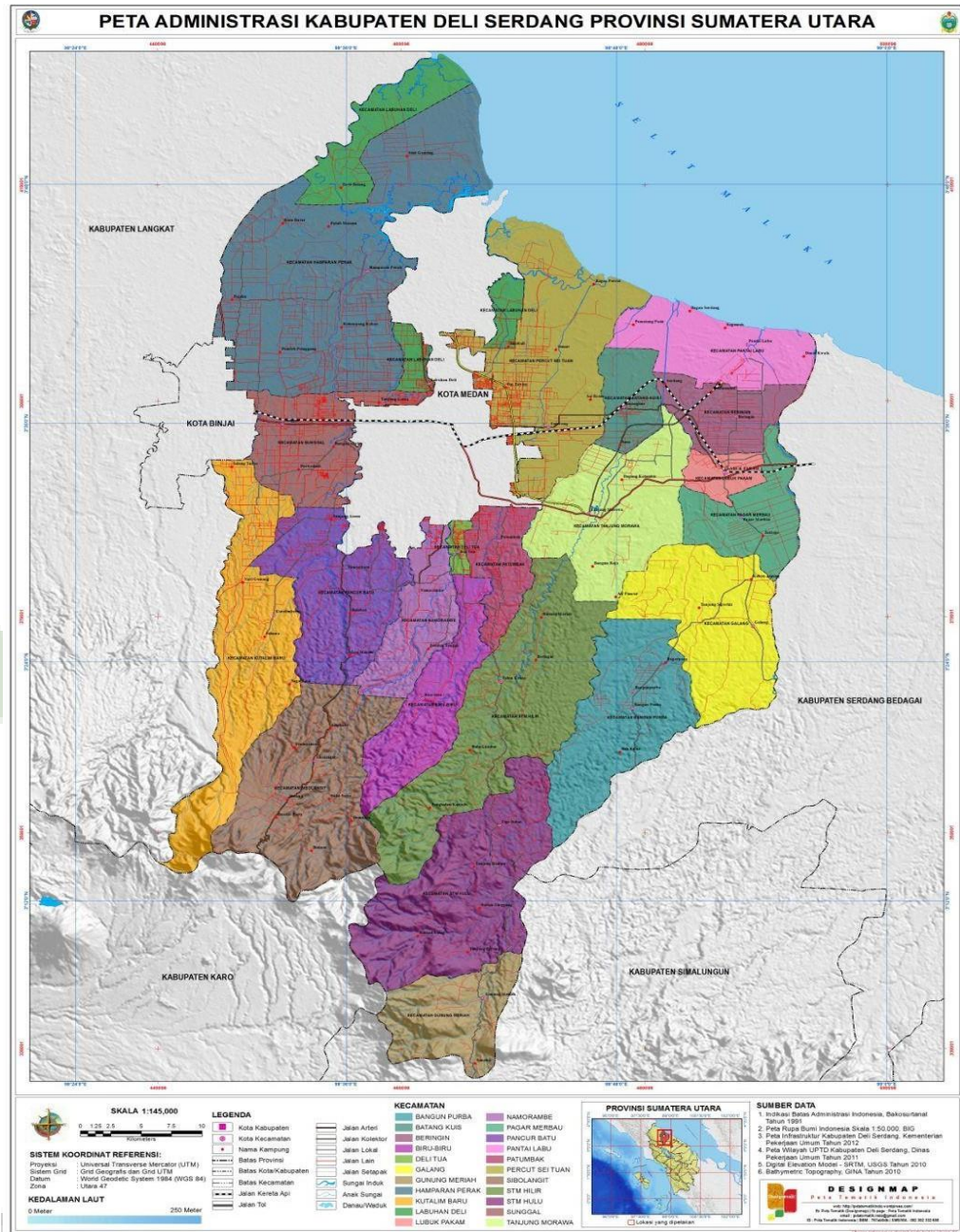
- a) Berbatasan dengan Provinsi Aceh di Utara,
- b) Selat Malaka di Malaysia bagian Timur,
- c) Berbatasan dengan Provinsi Riau dan Sumatera Barat di bagian Selatan,
- d) Berbatasan dengan Samudera Hindia di sebelah Barat.

Kabupaten Deli Serdang dikenal hanya dua musim, yaitu musim kemarau dan penghujan. Pada bulan Juni sampai dengan September arus angin yang bertiup tidak banyak mengandung uap air, sehingga mengakibatkan musim kemarau. Sebaliknya pada bulan Desember sampai dengan Maret arus angin yang banyak mengandung uap air berhembus sehingga terjadi musim hujan. Keadaan ini berganti tiap setengah tahun setelah masa peralihan pada bulan April-Mei dan Oktober-November. Berdasarkan catatan Stasiun Klimatologi Kelas 1 Deli Serdang, pada tahun 2017 terdapat rata-rata 16,17 atau 16-17 hari hujan dengan rata-rata volume curah hujan sebanyak rata-rata 179,42 mm.

##### **2.1.2 Luas Wilayah**

Wilayah Kabupaten Deli Serdang memiliki luas wilayah 249.772 Ha. Kecamatan yang paling luas wilayahnya adalah Kecamatan Hamparan Perak yaitu seluas 23.015 Ha .

Sedangkan, kecamatan yang memiliki luas paling kecil adalah Kecamatan Deli Tua yaitu seluas 936 Ha atau sebesar 0,37% dari luas Kabupaten Deli Serdang.



Gambar 2.1 Peta Kabupaten Deli Serdang

(Sumber: Petatematik.com)

### 2.1.3 Topografi

Kabupaten Deli Serdang berada pada kawasan pantai timur Sumatera Utara yang berbatasan langsung dengan Selat Malaka. Secara umum, keadaan iklim di Kabupaten Deli Serdang tidak berbeda dengan keadaan di Sumatera Utara. Terdapat dua musim yang utama yaitu musim hujan dan musim kemarau. Suhu rata-rata per bulan minimum 23,9°C dan maksimum 32,4°C. Rata-rata kecepatan angin berkisar 1,9 m/s dengan tingkat penguapatan sekitar 3,47 mm/hari. Kabupaten Deli Serdang terletak di ketinggian 0-1000 m di atas permukaan laut, dan pembagian wilayah berdasarkan elevasi (ketinggian) sebagai berikut:

- a) Dataran rendah dan tanah pesisir dengan ketinggian 0–500 m di atas permukaan laut, seluas 88% dari total terletak di seluruh kecamatan kecuali Kecamatan Gunung Meriah.
- b) Daerah perbukitan dengan ketinggian 100–1.000 m di atas permukaan laut, seluas 11% dari total terletak di sebagian Kecamatan Gunung Meriah, STM Hulu, Sibolangit dan Kotalimbaru.
- c) Daerah pegunungan dengan ketinggian di atas 1.000 m dari permukaan laut, seluas 1% dari total terletak di sebagian Kecamatan Gunung Meriah, STM Hulu, Sibolangit dan Kotalimbaru. (Saraswati, 2020).

## 2.2 Angin

### 2.2.1 Definisi Angin

Angin merupakan udara yang bergerak akibat adanya perbedaan tekanan udara di permukaan bumi. Angin akan bergerak dari daerah bertekanan tinggi ke daerah bertekanan rendah. Angin yang berhembus ke permukaan bumi disebabkan oleh perbedaan penerimaan radiasi matahari sehingga mengakibatkan perbedaan suhu udara. Perbedaan suhu menyebabkan perbedaan tekanan, yang pada akhirnya menyebabkan pergerakan udara. Variasi panas diurnal adalah kekuatan pendorong utama sistem angin matahari karena perbedaan termal yang kuat antara udara di daratan dan lautan, serta antara udara dataran tinggi (pegunungan) dan dataran rendah (lembah). (Habibie, dkk, 2011).

Angin disebabkan oleh pemanasan sinar matahari yang tidak merata di atas permukaan bumi. Udara yang lebih panas akan memuai, sehingga menjadi lebih ringan dan bergerak ke atas, sedangkan udara yang lebih dingin akan menjadi lebih

berat dan bergerak menempati area tersebut. Perbedaan tekanan atmosfer yang disebabkan oleh perbedaan suhu di suatu daerah menimbulkan gaya. Perbedaan tekanan dinyatakan dalam gradien tekanan, yang merupakan laju perubahan tekanan akibat perbedaan jarak. (Ihwan & Sofa, 2010).

Matahari yang memberikan panasnya ke permukaan bumi memegang peranan penting dalam pembentukan fenomena angin ini. Demikian juga gerak rotasi bumi pada porosnya yang mempengaruhi terjadinya angin di permukaan bumi. Angin yang bertiup bukan saja fenomena alam yang memberikan kesejukan bagi daerah yang bertiup angin, tetapi bisa menjadi sumber energi alami yang dapat dimanfaatkan untuk membantu bentuk kegiatan manusia. Angin sebagai fenomena alam sangat berpotensi menjadi salah satu teknik pembangkitan energi listrik pada masa depan.

Di dalam Al-Qur'an, angin disebut dengan kata *rīḥ* dalam bentuk mufrad dan *riyāḥ* dalam bentuk jamak. Terulang di dalam Al-Qur'an sebanyak 29 kali yang tersebar di dalam 26 surah, 21 surah *Makiyyah* dan 5 surah *Madaniyyah*. Kata *rīḥ* dalam bentuk tunggal terulang dalam al-Qur'an sebanyak 19 kali sedangkan kata *riyāḥ* terulang dalam Al-Qur'an sebanyak 10 kali. (Sahabuddin, 2007).

Dalam bahasa Arab, secara kebahasaan, kata *rīḥ* diartikan sebagai udara yang berhembus segar (*nasim al-hawa'*), udara yang bergerak (*al-hawa' iza taharrakat*), dan karunia dan kekuatan (*ar-rahmah wal-quwwah*). Berkaitan dengan pengertian kata ini sebagai kekuatan atau salah satu sumber energi yang dapat dimanfaatkan oleh manusia, *rīḥ ṭayyibah* angin yang baik dalam QS. Yunus:22.

Sepintas lalu bagaikan hanya berbicara tentang perahu yang masih menggunakan layar dan memerlukan angin untuk menggerakkannya. Tetapi sebenarnya, kata *rīḥ* juga digunakan untuk makna kekuatan atau energi seperti

firman Allah dalam QS. Al-Anfāl:46.

وَاطِيعُوا اللَّهَ وَرَسُولَهُ وَلَا تَنَازَعُوا فَتَفْشَلُوا وَتَذْهَبَ رِيحُكُمْ وَاصْبِرُوا إِنَّ اللَّهَ  
مَعَ الصَّابِرِينَ ﴿٤٦﴾

“Dan taatlah kepada Allah dan Rasul-Nya dan janganlah kamu berbantah-bantahan, yang menyebabkan kamu menjadi gentar dan hilang kekuatanmu dan bersabarlah. Sesungguhnya Allah beserta orang-orang yang sabar.” QS. Al-Anfāl/8:46.

Dengan demikian makna *rīḥ* sebagai kekuatan dan energi ini sangat sesuai dengan fakta ilmiah modern ketika manusia mampu memanfaatkan energi angin untuk menggerakkan turbin-turbin seperti yang diaplikasikan, misalnya untuk pembangkit listrik tenaga angin. Maka sampai titik ini penggunaan kata *rīḥ* dalam Al-Quran dalam arti kekuatan atau energi, dapat dimengerti dan berkesesuaian dengan ilmu pengetahuan modern.

### **2.2.2 Proses Terjadinya Angin**

Angin merupakan pergerakan udara yang dapat terjadi pada lapisan atmosfer bumi. Angin terjadi karena adanya perbedaan tekanan udara dari satu daerah ke daerah lainnya. Udara ini bergerak dari zona dengan tekanan udara tinggi menuju zona yang memiliki tekanan udara lebih rendah. Perbedaan tekanan ini dapat terjadi di antaranya karena proses pemanasan permukaan bumi oleh matahari yang berbeda. (Nugraha & Sunardi, 2012).

Di daerah khatulistiwa, udara memanas dan mengembang, menjadi lebih ringan, naik ke atas dan bergerak ke arah yang lebih dingin. Sebaliknya, di wilayah kutub yang dingin, udara menjadi dingin dan tenggelam ke bawah. Oleh karena itu, perputaran udara terjadi dengan menggerakkan udara sepanjang permukaan bumi dari Kutub Utara menuju Khatulistiwa, dan sebaliknya udara bergerak dari Khatulistiwa kembali ke Kutub Utara melalui lapisan udara yang lebih tinggi (Cendrawati, dkk, 2015).

Ketika udara di bumi dipanaskan oleh sinar matahari, maka udara memuai. Udara yang mengembang menjadi lebih ringan sehingga naik ke atmosfer. Ketika ini terjadi, tekanan udara turun karena jumlah udara lebih sedikit. Dimana udara sekitar yang dingin (bertekanan tinggi) mengalir ke bertekanan rendah (bersuhu tinggi). Udara berkontraksi, menjadi lebih berat, dan jatuh ke tanah. Udara di atas tanah kembali memanas dan naik kembali. Pergerakan angin dari daratan ke atmosfer dan pergerakan sinar matahari dari daratan ke atmosfer mengakibatkan terbentuknya angin. Sumber energi utama berasal dari perbedaan pemanasan dan pendinginan di lintang rendah dan tinggi. Sumber energi ini menciptakan angin dan

mempertahankan kecepatan melawan rintangan yang disebabkan oleh gesekan dengan permukaan. (Winarno, dkk, 2019).

### 2.2.3 Faktor-Faktor Terjadinya Angin

#### a. Gradien Barometris

Angka yang menunjukkan perbedaan tekanan udara antara 2 isobar yang berjarak 111 km. Semakin besar gradien tekanan, semakin cepat angin bertiup.

#### b. Lokasi

Bumi berputar pada porosnya di ekuator. Rasio ini menurun seiring dengan bertambahnya garis lintang suatu tempat hingga mencapai nol di kutub. Penurunan kecepatan disebabkan oleh semakin kecilnya lingkaran lintang menuju kutub. Jadi kecepatan angin di dekat ekuator lebih cepat dibandingkan kecepatan angin jauh dari ekuator. Kecepatan angin di dekat khatulistiwa lebih cepat dibandingkan kecepatan angin di luar khatulistiwa.

#### c. Tinggi Tempat

Semakin tinggi tempatnya, semakin kuat pula anginnya. Hal ini disebabkan oleh pengaruh gesekan yang meredam kecepatan udara. Di permukaan bumi, gunung, pepohonan, dan medan tidak rata lainnya menimbulkan banyak gesekan. Semakin tinggi tempatnya, semakin kecil gesekannya.

#### d. Waktu

Di siang hari angin bergerak lebih cepat daripada di malam hari. Hal ini disebabkan oleh pemanasan oleh sinar matahari yang terjadi terus menerus pada siang hari.

### 2.2.4 Angin Berdasarkan Jenisnya

#### a. Angin Lokal

##### 1) Angin Darat-Laut

Wilayah Indonesia merupakan wilayah kepulauan yang luas. Samudera lebih besar dari daratan. Angin darat dan angin laut disebabkan oleh perbedaan kemampuan penyerapan panas daratan dan lautan. Perbedaan sifat lautan dan daratan menyebabkan angin pantai terus bertiup (Ihwan & Sofa, 2010).

Angin darat dan angin laut dihasilkan karena perbedaan sifat daratan dan lautan dalam menyerap dan melepaskan energi panas matahari. Daratan menyerap dan melepaskan energi panas lebih cepat dibandingkan lautan. Angin laut merupakan angin yang bertiup dari laut menuju daratan dan biasanya terjadi pada siang hari mulai pukul 09.00 hingga pukul 16.00. Angin jenis ini biasanya digunakan oleh para nelayan ketika melaut untuk menangkap ikan dan pulang ke rumah. Angin laut mampu menembus daratan hingga jarak 50 km. Jika angin ini mencapai daerah pegunungan maka dapat menimbulkan curah hujan. Angin darat adalah angin yang bertiup dari arah darat ke arah laut yang umumnya terjadi pada saat malam hari dari pukul 8 malam sampai dengan pukul 6 sore. Angin jenis ini bermanfaat bagi para nelayan untuk berangkat mencari ikan dengan perahu bertenaga angin sederhana.

## 2) Angin Lembah dan Angin Gunung

Pada Pagi hari sampai kira-kira pukul 14.00, gunung atau pegunungan lebih cepat menerima panas matahari jika dibandingkan dengan lembah. Oleh karena itu, pada siang hari suhu udara di gunung atau pegunungan lebih tinggi jika dibandingkan dengan lembah. Hal ini menyebabkan tekanan udara di gunung atau pegunungan relative lebih rendah (minimum), sedangkan tekanan udara di lembah tinggi sehingga berembuslah angin dari lembah menuju gunung proses kejadian itulah yang dinamakan angin lembah. Jadi Angin lembah terjadi pada pagi hari sampai menjelang sore hari.

Pada siang hari, lereng gunung mendapatkan panas secara cepat akibat radiasi yang diterima lebih besar. Di dataran rendah udara menjadi lebih dingin dibandingkan udara di atas lereng gunung. Karena itu udara lereng gunung menjadi labil dan cenderung menaiki lereng hal berikut ini juga disebut arus anabatik (anabatic flows). Pada sore hari dan malam hari, terjadi kondisi yang sebaliknya. Di wilayah lembah, suhu udaranya masih relative tinggi dibandingkan gunung atau pegunungan. Hal ini menyebabkan tekanan udara di lembah lebih rendah (minimum). Akibatnya, berembuslah angin dari arah gunung menuju lembah.

### 3) Angin Fohn

Angin Fohn/angin jatuh adalah angin yang terjadi sesuai hujan Orografis. Angin yang bertiup pada suatu wilayah dengan temperatur dan kelembasan yang berbeda. Angin Fohn terjadi karena ada gerakan massa udara yang naik pegunungan yang tingginya lebih dari 200 meter di satu sisi lalu turun di sisi lain. Angin Fohn yang jatuh dari puncak gunung bersifat panas dan kering, karena uap air sudah dibuang pada saat hujan Orografis. Biasanya angin ini bersifat panas merusak dan dapat menimbulkan korban. Tanaman yang terkena angin ini bisa mati, daya tahan tubuh manusia turun jika terkena angin fohn dan rentan terhadap serangan penyakit.

### **b. Angin Monsun**

Monsun merupakan angin atau sistem sirkulasi udara yang berbalik arah secara musiman yang disebabkan oleh perbedaan sifat termal antara benua dan lautan. Sirkulasi monsun yang paling luas di dunia adalah terjadi di wilayah tropis Asia. Angin monsun di Indonesia ada dua macam yaitu Angin Monsun Asia dan Angin Monsun Australia (Hermawan, 2010).

#### 1) Angin Monsun Asia

Angin ini terjadi pada bulan Oktober–Februari, matahari seakan berada di selatan khatulistiwa. Benua Australia menerima panas lebih banyak dari pada Asia. Akibatnya, angin bertiup dari Asia ke Australia melalui kepulauan Indonesia. Oleh karena itu, pada bulan – bulan ini di Indonesia terjadi musim penghujan. Kondisi ini dikenal dengan angin barat.

#### 2) Angin Monsun Australia

Angin ini terjadi pada bulan April=Agustus, matahari seakan berada di belahan bumi utara, sehingga benua Asia menerima panas lebih banyak daripada Australia. Akibatnya, angin bertiup dari Australia ke Asia melalui Kepulauan Indonesia. Oleh karena itu, pada bulan–bulan ini di Indonesia terjadi musim kemarau. Kondisi ini biasa dikenal dengan angin timur. (Winarno, dkk, 2019).



## 2.3 Potensi Energi Angin

### 2.3.1 Energi Angin

Energi angin merupakan udara yang bergerak secara tidak langsung, energi yang berasal dari matahari, karena angin dipengaruhi oleh pemanasan matahari yang tidak merata terhadap permukaan bumi. Pemanasan lapisan udara menyebabkan perbedaan tekanan di atmosfer. Energi angin merupakan salah satu sumber energi alternatif yang memiliki prospek yang baik karena merupakan sumber energi yang bersih dan terbarukan serta memiliki kepadatan energi yang cukup baik dan kemudahan modifikasi/transfer energi, namun tingkat kecepatan angin tidak seragam di seluruh wilayah Indonesia.

Energi angin dapat diubah atau ditransfer menjadi bentuk energi lain, seperti energi listrik atau mekanik, melalui penggunaan kincir angin atau turbin angin. Indonesia mempunyai potensi energi angin yang besar, dengan potensi sebesar 73 GW, dan kapasitas terpasang terbaik adalah 25 MW, sedangkan kapasitas terpasang saat ini hanya 0,6 MW, sehingga terbuka peluang potensi energi angin untuk masa depan (Ihwan & Sofa, 2010).

Potensi energi angin Indonesia sebesar 978 MW, dengan potensi energi angin terbesar terletak di wilayah Sidrap dan Jeneponto provinsi Sulawesi Selatan yang mempunyai potensi energi angin lebih dari 200 MW. Saat ini telah dibangun pembangkit listrik tenaga angin (*Wind Power Plant*) di kedua wilayah tersebut. Sidrap memiliki kapasitas pembangkit listrik sebesar 75 MW dan Jeneponto memiliki kapasitas pembangkit listrik sebesar 72 MW. Selain Sidrap dan Jeneponto, daerah lain juga mempunyai sumber energi angin yang cukup besar. Daerah yang cukup potensial antara lain Sukabumi (170 MW), Garut (150 MW), Lebak dan Pandran (masing-masing 150 MW), dan Lombok (100 MW) (Prasetyo dkk., 2019).

### 2.3.2 Kecepatan Angin

Kecepatan angin berkisar antara 2 m/s hingga 6 m/s, dengan karakteristik kecepatan seperti itu, Indonesia dinilai cocok untuk menggunakan pembangkit listrik tenaga angin skala kecil dan menengah. Untuk penggunaan energi seperti misalnya, lampu, pompa air, alat-alat elektronik, dan lain-lain. Pusat tenaga angin sebagian besar masih berada di Nusa Tenggara Timur yang memiliki kecepatan

rata-rata angin hingga lebih 5 m/s. Ditunjukkan bahwa potensi energi angin di Indonesia mencapai 9,286 MW, dimana penggunaan hingga tahun 2004 masih kurang 0,5 MW, berdasarkan data dari *Indonesia Energy Outlook and Statistics* (2004).

Kecepatan angin yang selalu berubah-ubah, *output* tenaga listrik dari turbin listrik bertenaga angin pun akan berubah-ubah. Untuk mengukur kecepatan angin di suatu lokasi, sebuah alat yang dikenal dengan nama anemometer. Ada beberapa tipe anemometer yang dipergunakan saat ini. Salah satu bentuk anemometer yang cukup dikenal adalah jenis *cup anemometer* (anemometer cangkir) dan *windmill anemometer* (anemometer kincir angin) (Nugraha & Sunardi, 2012). Adapun istilah pada tampilan data kecepatan angin berdasarkan database BMKG online yaitu:

- fff\_x : Kecepatan angin maksimum (m/s)  
 ddd\_x : Arah angin saat kecepatan angin maksimum (°)  
 ff\_avg : Kecepatan angin rata-rata (m/s)  
 ddd\_car : Arah angin terbanyak (°)

Kecepatan angin yang rendah bukan berarti potensi yang terkandung didalamnya tidak dapat dimanfaatkan atau dikonversikan menjadi energi listrik, tetap dapat dimanfaatkan tetapi diperlukan generator yang sesuai dengan karakteristik kecepatan angin tersebut. (Adam, dkk, 2019). Syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik dengan kincir angin dan jari-jari 1 meter dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Tingkatan Kecepatan Angin di Permukaan Tanah

Tingkat Kecepatan Angin 10 meter di Atas Permukaan Tanah		
Kelas	Kecepatan	Kondisi Alam di Daratan
1	0,00 - 0,02	Angin tenang
2	0,3 - 1,5	Angin tenang, asap lurus ke atas
3	1,6 - 3,3	Asap bergerak mengikuti arah angin
4	3,4 - 5,4	Wajah terasa ada angin, daun – daun bergoyang pelan, petunjuk arah angin bergerak
5	5,5 - 7,9	Debu jalan, kertas beterbangan, ranting pohon bergoyang
6	8,0 - 10,7	Ranting pohon bergoyang, bendera berkibar
7	10,8 - 13,8	Ranting pohon bergoyang, air plumpang berombak kecil
8	13,9 - 17,1	Ujung pohon melengkung, hembusan angin terasa di telinga

9	17,2 - 20,7	Dapat mematahkan ranting pohon, jalan berat, melawan arah angin
10	20,8 - 24,4	Dapat mematahkan ranting pohon, rumah rubuh
11	24,5 - 28,4	Dapat merubuhkan pohon, menimbulkan kerusakan
12	28,5 - 32,6	Menimbulkan kerusakan parah
13	32,7 - 36,9	Tornado

Klasifikasi angin pada kelompok 3 adalah batas minimum dan angin pada kelompok 8 adalah batas maksimum energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik (Habibie, dkk, 2011).

### 2.3.3 Daya Angin

Daya adalah energi per satuan waktu. Daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara, dan kubik kecepatan angin. Daya yang disebabkan oleh energi kinetik aliran angin dengan kecepatan  $v$ , massa jenis  $\rho$ , yang melalui sebuah penampang  $A = \frac{\pi d^2}{4}$  dengan  $d$  adalah diameter turbin (Ihwan & Sofa, 2010). Daya memberi gambaran besarnya laju sistem dalam mengonsumsi tenaga. Besaran daya ber lambang  $P$  bersatuan watt. Keberadaan besaran daya begitu penting dalam kehidupan. Biaya yang dikeluarkan oleh pelanggan PLN listrik tidak hanya bergantung pada besarnya energi listrik (dalam kWh) yang dikonsumsi, tetapi juga bergantung pada besarnya daya terpasang. (Jati & Priyambodo, 2013).

## 2.4 Parameter Energi Angin

### 2.4.1 Distribusi Weibull

Akibat adanya perubahan kecepatan angin, maka analisis kecepatan angin permukaan untuk memperoleh karakteristik kecepatan angin harus didasarkan pada analisis statistik. Model statistik yang cocok untuk menjelaskan distribusi kecepatan angin adalah distribusi Weibull.  $\sigma$  merupakan nilai standar deviasi dari kecepatan angin yang digunakan untuk menghitung parameter  $k$  dan  $c$ . Standar deviasi  $\sigma$  kecepatan angin dapat dinyatakan dalam persamaan berikut: (Ilyas, dkk, 2017).

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \left[ \sum_{i=1}^w m_i u_i^2 - \frac{1}{n} \left( \sum_{i=1}^w m_i u_i \right)^2 \right] \quad (2.1)$$

keterangan:

- $\sigma$  = Nilai standar deviasi  
 $m_i$  = Frekuensi kecepatan angin  $i$   
 $u_i$  = Kecepatan angin  $i$  (m/s)  
 $n$  = Jumlah data kecepatan angin

Fungsi distribusi frekuensi relatif kecepatan angin adalah turunan dari fungsi distribusi kumulatif yaitu: (Khairiaton, dkk, 2016).

$$f(v) = \frac{k}{c} \left(\frac{v}{c}\right)^{k-1} \exp \left[-\left(\frac{v}{c}\right)^k\right] \quad (2.2)$$

keterangan :

- $f(v)$  = Persamaan fungsi Weibull (m/s)  
 $k$  = Parameter bentuk  
 $c$  = Parameter skala (m/s)  
 $v$  = Kecepatan rata-rata angin (m/s)  
 $exp$  = Fungsi eksponensial

Parameter distribusi kecepatan angin  $k$  dan  $c$  masing-masing mewakili faktor bentuk dan faktor skala distribusi. Jika parameter  $k$  dan  $c$  suatu wilayah tertentu diketahui, maka karakteristik distribusi kecepatan angin pada wilayah tersebut juga dapat ditentukan. Parameter formal  $k$  bergantung pada nilai kecepatan angin di suatu daerah tertentu. Harga parameter distribusi  $k$  dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan berikut (Johnson, 2006):

$$k = \left(\frac{\sigma}{v_m}\right)^{-1.086} \quad (2.3)$$

Keterangan:

- $\sigma$  : Nilai standar deviasi kecepatan angin (m/s)  
 $v_m$  : Kecepatan angin rata-rata (m/s)

Sementara nilai parameter skala  $c$  dapat diketahui dengan menggunakan persamaan:

$$c = 1,12 v \quad (1,5 \leq k \leq 4) \quad (2.4)$$

Nilai parameter  $c$  akan mempengaruhi kurva distribusi Weibull yaitu semakin kecil nilai parameter  $c$  maka, kurva akan bergeser ke arah kecepatan angin yang lebih rendah begitu juga sebaliknya. Dari hasil pengelompokan data kecepatan angin berdasarkan hasil dari distribusi frekuensi relatif maka ukuran

pemusatan data dari kecepatan angin tersebut dapat ditentukan. (Khairiaton, dkk, 2016).

#### 2.4.2 Perhitungan Daya Angin

Daya adalah energi per satuan waktu. Daya angin berbanding lurus dengan kerapatan udara. (Ihwan, dkk, 2010). Daya yang disebabkan oleh energi kinetik aliran angin dengan kecepatan  $v$ , massa jenis  $\rho$  yang melalui sebuah penampang. Berdasarkan Betz' Law, energi angin tidak bisa dikonversi melebihi  $16/27$  (=59.3%) dari energi kinetik disebut dengan *power coefficient* ( $C_p$ ). Angka ini menunjukkan efisiensi maksimum yang dapat dicapai oleh rotor turbin angin. Sehingga perhitungan potensi daya angin secara matematis berdasarkan rumus sebagai berikut: (Azirudin, 2019).

$$P = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v_i^3 \cdot C_p \quad (2.5)$$

Keterangan:

- $P$  : Daya angin (Watt)  
 $C$  : Konstanta Betz  
 $A$  : Luas sapuan rotor ( $m^2$ )  
 $v_i$  : Kecepatan angin rata-rata (m/s)  
 $\rho$  : Densitas udara ( $kg/m^3$ )

#### 2.4.3 Perhitungan Energi Angin

Energi angin pada turbin angin adalah energi yang dihasilkan oleh turbin angin pada suatu nilai kecepatan dan periode waktu tertentu. Periode waktu yang dimaksud dapat berupa nilai rentang waktu; mingguan, bulanan atau tahunan. Energi angin didapat dengan mengalikan daya yang dihasilkan dengan jumlah frekuensi waktu. Sehingga energi angin menjadi (Burton dkk, 2001):

$$E = P \times \Delta t \quad (2.6)$$

Keterangan:

- $E$  : Energi Angin (*Wattdays*)  
 $P$  : Daya Angin (Watt)  
 $\Delta t$  : Periode data (*days*)

Dalam rangka mendorong era sumber energi baru dan terbarukan termasuk tenaga angin menjadi komponen utama dalam pembangkitan energi listrik nasional. Potensi tenaga angin di darat kekuatannya terbatas, dengan kecepatan angin rata-rata antara 3 m/s dan 7 m/s. Teknologi turbin angin skala besar dapat bekerja dengan baik pada kecepatan angin antara 5-20 m/s. Kurang dari 5 m/s lebih sesuai untuk diubah menjadi pembangkit listrik tenaga angin skala kecil. Berikut ini merupakan klasifikasi kelas potensi energi angin.

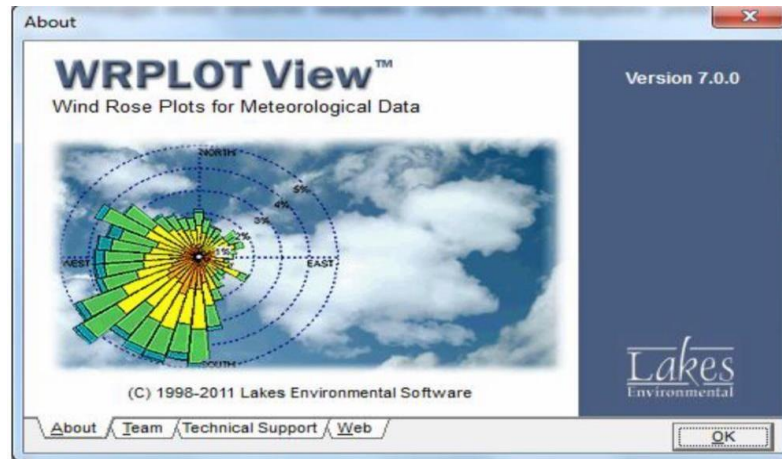
Tabel 2.2 Klasifikasi Kelas Potensi Energi Angin

Kelas	Kecepatan Rata-rata	Energi
Skala Kecil	2,5-4,00 m/s	<200 kWh
Skala Menengah	4,00-5,00 m/s	200 kWh-1000 kWh
Skala Besar	> 5,00 m/s	>1000 kWh

### 2.5 Wind Rose View (*Wind Rose Plot for Meteorological Data*)

Metode windrose adalah suatu metode untuk menganalisis arah dan kecepatan angin suatu tempat tertentu dan biasanya perbandingan dari pada angin yang berhembus dari tiap-tiap arah angin. Manfaat menganalisis keadaan angin dengan windrose ialah hasilnya mudah dibaca karena penyajiannya dalam bentuk diagram. Ada dua langkah menyusun windrose, pertama, membuat tabel distributif relatif arah dan kecepatan angin. Dalam membuat tabel ini yang harus dilakukan adalah mencari banyaknya angin yang berhembus dari tiap-tiap arah angin sesuai kelas interval yang telah ditentukan. Selanjutnya menentukan kelas interval angin harus disesuaikan dengan data kecepatan angin. (Fadholi, 2013).

Windrose dapat pula digunakan untuk menampilkan grafik dari kecenderungan arah pergerakan angin pada suatu wilayah. Karena pengaruh dari kelerengan lokal, kemungkinan efek pesisir, jangkauan alat, dan variabilitas temporal dari angin, perhitungan windrose tidak selalu mewakili pergerakan riil angin di wilayah tersebut. Manfaat windrose biasa digunakan dalam bidang Pelayaran dan Penerbangan (rancang bangun), Angin Musim (perubahan arah angin musiman), sebagai analisa untuk pengembangan sumber energi (PLTB) dan lain-lain. Gambar 2.2 menunjukkan tampilan awal dari *software* yang digunakan untuk mengolah data angin berupa windrose dan klasifikasi kecepatan serta frekuensi angin pada suatu wilayah.



Gambar 2.2 *Windrose Plot View Software*

## 2.6 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB)

Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) merupakan pembangkit listrik energi terbarukan yang ramah lingkungan dan bekerja efisien dibandingkan pembangkit listrik energi terbarukan lainnya. Prinsip kerja PLTB adalah memanfaatkan energi kinetik angin yang masuk ke daerah efektif turbin untuk memutar baling-baling/kincir angin, kemudian mentransfer energi putaran tersebut ke generator sehingga menghasilkan energi listrik. Teknologi PLTB saat ini mampu mengubah energi angin menjadi listrik dengan efisiensi rata-rata 40%. Efisiensi 40% karena selalu ada sisa energi kinetik pada angin, karena kecepatan angin yang keluar dari turbin tidak boleh nol (Adam, dkk, 2019).

Angin yang bergerak membawa sejenis energi yang disebut energi kinetik. Energi kinetik ini berpotensi diubah menjadi bentuk energi lain yang lebih berguna, seperti listrik. Untuk itu diperlukan suatu sistem yang dapat mengubah energi kinetik atau kinetik yang dibawa angin menjadi energi listrik. Turbin angin atau kincir angin yang dilengkapi generator merupakan salah satu bentuk teknologi yang dirancang untuk tujuan tersebut. Tenaga yang dibawa angin akan ditangkap oleh baling-baling atau baling-baling yang berputar bila ditiup angin. Tenaga putaran ini kemudian digunakan untuk memutar turbin generator yang menghasilkan listrik (Nugraha & Sunardi, 2012).

Pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) merupakan salah satu pembangkit listrik yang menggunakan energi terbarukan sebagai bahan bakarnya. PLTB Sidrap merupakan pembangkit listrik pertama di Indonesia yang menggunakan sumber

energi baru terbarukan (EBT). PLTB Sidrap terletak di Desa Mattirotasi, Kecamatan Watang Pulum, Kabupaten Sidrap, Provinsi Sulawesi Selatan. Saat ini terdapat 30 kincir angin dengan total kapasitas pembangkit listrik 75 MW (Yuniarti, dkk, 2019).

## 2.7 Penelitian Relevan

Berdasarkan penelitian Khairiaton, Yusibani, E., & Gunawati. (2016). Berjudul “Analisa Kecepatan Angin Menggunakan Distribusi Weibull di Kawasan Blang Bintang Aceh Besar” menjelaskan bahwa penelitian tersebut dilakukan terhadap kecepatan angin untuk melihat bagaimana potensi pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) di daerah tersebut. Penelitian ini dilakukan dengan cara menganalisa kecepatan angin berdasarkan data dari pengukuran anemometer menggunakan distribusi Weibull untuk tahun 2012 sampai 2015. Berdasarkan distribusi Weibull didapatkan bahwa kecepatan angin pada tahun 2012 yaitu sebesar 1 m/s dengan probabilitas 15%, tahun 2013 dan 2014 bernilai sebesar 0,5 m/s dengan probabilitas sebanyak 21% dan 19%, sedangkan tahun 2015 sebesar 1 m/s sebanyak 17%.

Berdasarkan penelitian Prasetyo, A., Notosudjono, D., & Soebagja, H. (2019). Berjudul “Studi Potensi Penerapan dan Pengembangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin di Indonesia” menjelaskan bahwa Pembangkit Listrik Tenaga Angin adalah salah satu pembangkit listrik energi terbarukan yang ramah lingkungan dan memiliki efisiensi kerja yang baik perkembangan terhadap energi terbarukan di Indonesia salah satunya energi angin yang diluncurkan peta angin pada tahun 2017 memudahkan dalam pemanfaatan energi angin di Indonesia. Hasil dari kajian yang telah dilakukan bahwa berdasarkan data-data yang telah dilakukan, teknologi turbin angin skala besar dapat bekerja dengan baik pada kecepatan Antara 5-20 m/s menggunakan turbin angin Horizontal. Kurang dari 5 m/s lebih sesuai untuk diubah menjadi energi mekanik atau pembangkit listrik tenaga angin skala kecil menggunakan turbin Vertikal.

Berdasarkan penelitian Cendrawati, D. G., Soekarno, H., & Nasution, S. (2015). Berjudul “Potensi Energi Angin Di Kabupaten Serdang Bedagai, Provinsi Sumatera” menjelaskan bahwa Pemanfaatan energi terbarukan setempat mendapat tempat tersendiri di dalam cetak biru pemerintah daerah. Tujuan dari kegiatan



penelitian ini adalah memberikan analisa mengenai potensi energi angin di daerah Serdang Bedagai, Provinsi Sumatra Utara. Penentuan titik lokasi pengukuran kecepatan dan arah angin dilakukan di Desa Sentang, Kecamatan Teluk Mengkudu, Kabupaten Serdang Bedagai. Pengukuran dilakukan selama 12 bulan dengan waktu sampling rata-rata setiap 10 menit, pada ketinggian alat ukur 20m, 30m dan 50m. Hasil penelitian menunjukkan bahwa potensi energi angin yang dipunyai oleh Kabupaten Serdang Bedagai adalah 26 - 38 watt/m<sup>2</sup>.



UNIVERSITAS ISLAM NEGERI  
SUMATERA UTARA MEDAN