

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1 Nilai Kecepatan dan Arah Angin Menggunakan Metode Windrose

Hasil pengolahan data menggunakan metode windrose dengan aplikasi WRPLOT (*Wind Rose Plots for Meteorological Data*), diperoleh pembuatan diagram arah dan kecepatan angin dan hasil distribusi frekuensi yang mendeskripsikan kejadian angin dengan masing-masing arah mata angin pada lokasi dan waktu tertentu berdasarkan data lampiran 1. Hasil penelitian terhadap pola angin permukaan disajikan dalam bentuk analisis diagram dan pembahasannya. Analisa dilakukan untuk mengetahui arah dominan yang terjadi pada bulan tersebut. Data angin selanjutnya diolah dengan mengklasifikasikan arah menjadi delapan arah mata angin yaitu Utara, Timur Laut, Timur, Tenggara, Selatan, Barat Daya, Barat, Barat Laut. Sedangkan kecepatan arah anginnya diklasifikasikan ke dalam enam kelas yaitu 0,50 – 2,10 m/s, 2,10 – 3,60 m/s, 3,60 – 5,70 m/s, 5,70 – 8,80 m/s, 8,80 – 11,10 m/s, dan lebih dari atau sama dengan 11,10 m/s.

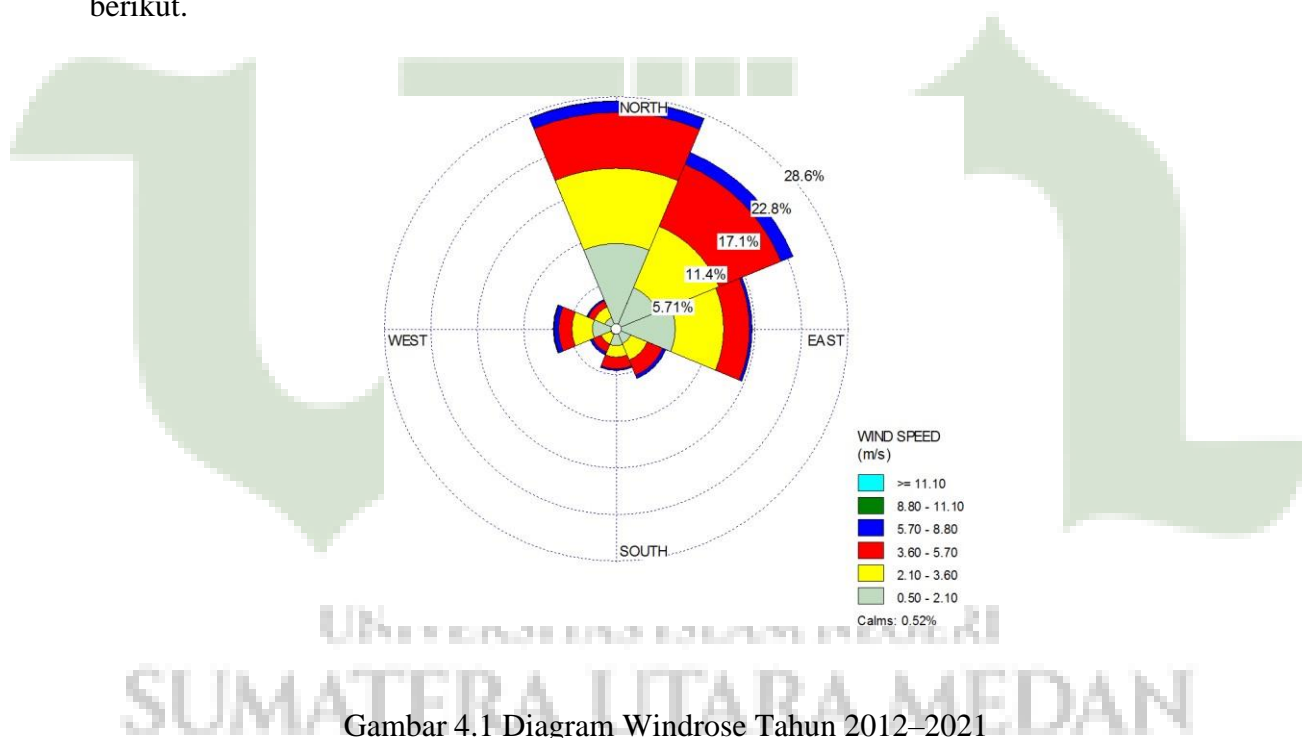
Tabel 4.1 Arah Angin Dominan Bulanan Tahun 2012–2021

| Bulan     | Arah Angin Dominan | Nilai Kejadian Arah Angin Dominan (%) |
|-----------|--------------------|---------------------------------------|
| Januari   | Utara              | 38,90                                 |
| Februari  | Utara              | 46,20                                 |
| Maret     | Utara              | 47,00                                 |
| April     | Utara              | 39,70                                 |
| Mei       | Timur Laut         | 23,70                                 |
| Juni      | Timur Laut         | 24,80                                 |
| Juli      | Timur              | 28,60                                 |
| Agustus   | Timur              | 28,60                                 |
| September | Timur Laut         | 25,90                                 |
| Oktober   | Timur Laut         | 28,90                                 |
| November  | Utara              | 28,90                                 |
| Desember  | Utara              | 28,30                                 |

Kondisi angin menunjukkan arah angin dominan berhembus yaitu berasal dari Utara terjadi pada bulan Januari, Februari, Maret, April, November dan Desember. Selanjutnya arah angin dominan yang berasal dari Timur Laut terjadi pada bulan Mei, Juni, September dan Oktober. Selanjutnya arah angin dominan yang berasal dari Timur yaitu bulan Juli dan Agustus.

#### 4.1.1 Diagram Windrose

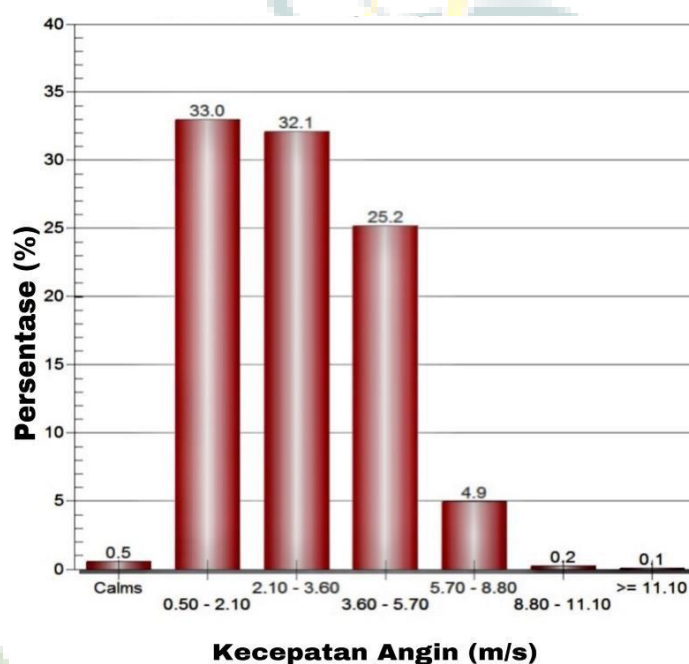
Diagram windrose yang dibuat dalam penelitian ini dibagi kedalam periode bulanan dan keseluruhan untuk mengetahui distribusi arah dan kecepatan angin setiap bulannya. Berikut ini disajikan diagram windrose di Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang pada 2012–2021. Analisis dilakukan untuk mengetahui secara umum pola angin permukaan yang terjadi. Semua data dimulai dari bulan Januari sampai Desember pada tahun 2012–2021 yang diolah dan hasilnya dianalisis. Analisis data angin dapat dilihat dalam gambar pada gambar 4.3 berikut.



Gambar 4.1 Diagram Windrose Tahun 2012–2021

Hal ini menggambarkan frekuensi kejadian angin tiap arah mata angin dan kelas kecepatan angin pada lokasi dan waktu tertentu dan dapat menampilkan grafik dari kecenderungan arah pergerakan angin pada suatu wilayah. Data keadaan angin yang dianalisis menunjukkan pola angin permukaan yang terjadi yaitu data diolah dari tahun 2012 – 2021, berdasarkan klasifikasi enam kelas yaitu warna abu-abu

menunjukkan kecepatan angin 0,50 – 2,10 m/s, warna kuning menunjukkan kecepatan angin 2,10 – 3,60 m/s, warna merah menunjukkan kecepatan angin 3,60 – 5,70 m/s, warna biru tua menunjukkan kecepatan angin 5,70 – 8,80 m/s, warna hijau menunjukkan kecepatan angin 8,80 – 11,10 m/s dan biru muda menunjukkan kecepatan angin lebih dari atau sama dengan 11,10 m/s. Kondisi angin dominan yang terjadi yaitu dari arah Utara dengan persentase 28,60% lalu dilanjutkan dengan angin dominan bertiup dari arah Timur Laut dengan persentase 22,80% dengan kecepatan angin maksimum 11,10 m/s dan dengan persentase calms 0,52%. Angin calm atau angin teduh adalah angin yang mempunyai kecepatan 0 m/s.



Gambar 4.2 Frekuensi Distribusi Kecepatan Angin Tahun 2012- 2021

Frekuensi distribusi kecepatan angin memperlihatkan bahwa angin dominan bertiup dari tahun 2012–2021 dengan kecepatan 0,50–2,10 m/s dengan persentase 33,0% selanjutnya dominan dengan kecepatan 2,10–3,60 m/s dengan persentase 32,1% selanjutnya dominan dengan kecepatan 3,60–5,70 m/s dengan persentase 25,2% selanjutnya dengan kecepatan angin 5,70–8,80 m/s dengan persentase 4,9% selanjutnya dengan kecepatan angin 8,80–11,10 m.s dengan persentase 0.2% dan dengan kecepatan angin lebih dari atau sama dengan 11,10 m/s dengan persentase 0,1%.

#### 4.2 Nilai Kecepatan Angin Rata-rata

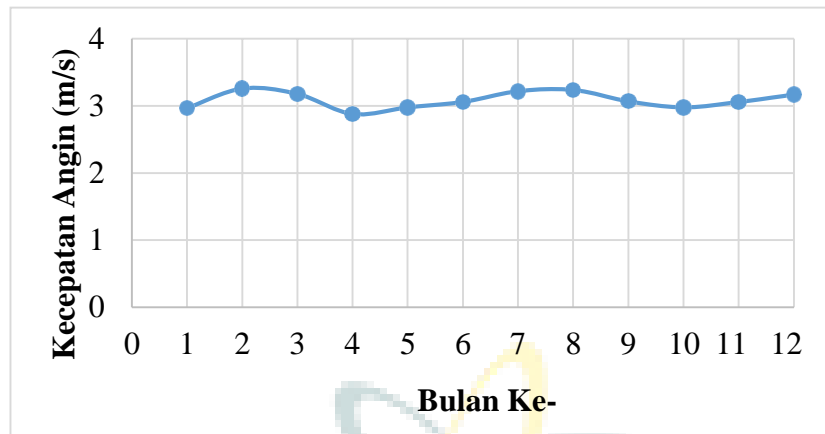
Data keadaan angin yang digunakan adalah data arah dan kecepatan angin pada tanggal 01 Januari 2012-31 Desember 2021. Data disajikan dalam bentuk data harian dan kemudian dihitung rata-rata per bulan. Potensi kecepatan angin dimulai dengan merata-ratakan data bulanan sepanjang tahun untuk mendapatkan gambaran kekuatan angin. Dari data yang diperoleh dapat ditentukan kecepatan angin rata-rata, maksimum, minimum setiap bulannya.

Tabel 4.2 Data Kecepatan Angin Tahun 2012-2021

| No | Bulan     | V Rata-rata<br>(m/s) | V Maksimum<br>(m/s) | V Minimum<br>(m/s) |
|----|-----------|----------------------|---------------------|--------------------|
| 1  | Januari   | 2,97                 | 9,00                | 0,00               |
| 2  | Februari  | 3,26                 | 8,00                | 1,00               |
| 3  | Maret     | 3,18                 | 8,00                | 0,00               |
| 4  | April     | 2,88                 | 8,00                | 0,00               |
| 5  | Mei       | 2,98                 | 8,00                | 0,00               |
| 6  | Juni      | 3,06                 | 11,00               | 0,00               |
| 7  | Juli      | 3,22                 | 13,00               | 0,00               |
| 8  | Agustus   | 3,24                 | 13,00               | 0,00               |
| 9  | September | 3,07                 | 8,00                | 0,00               |
| 10 | Oktober   | 2,98                 | 10,00               | 0,00               |
| 11 | November  | 2,75                 | 8,00                | 0,00               |
| 12 | Desember  | 2,87                 | 8,00                | 0,00               |

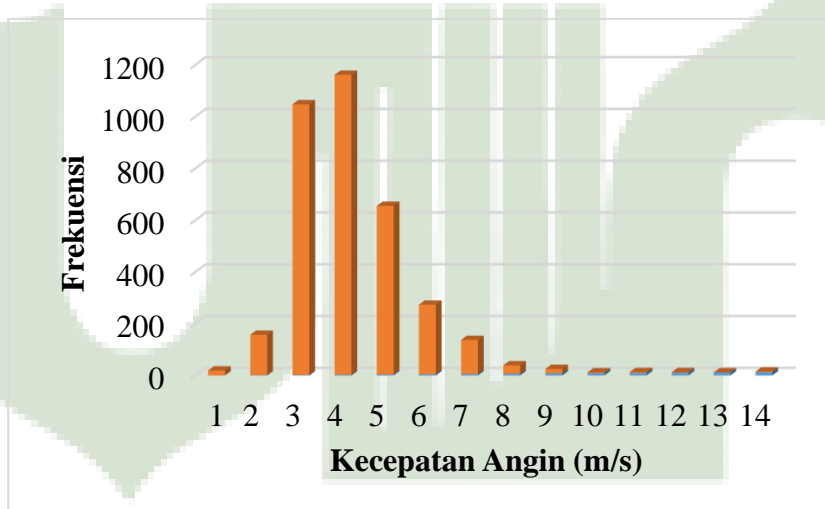
Tabel 4.2 menunjukkan bahwa data kecepatan angin pada tanggal 01 Januari 2012-31 Desember 2021 yang dirangkum kedalam kecepatan angin rata-rata per bulan dengan nilai kecepatan angin rata-rata maksimum yang terjadi adalah pada bulan Februari sebesar 3,26 m/s dan nilai kecepatan angin rata-rata minimum yang terjadi adalah pada bulan November sebesar 2,75 m/s. Selanjutnya nilai kecepatan angin maksimum terjadi pada bulan Juli dan Agustus dengan kecepatan 13,00 m/s dan nilai kecepatan angin minimum adalah 0,00 m/s.

SUMATERA UTARA MEDAN



Gambar 4.3 Grafik Kecepatan Rata-rata Angin Tahun 2012-2021

Berdasarkan gambar 4.3 nilai kecepatan rata-rata angin maksimum di Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang pada 2012–2021 yaitu terjadi pada bulan Februari. Hal ini dikarenakan semakin tinggi perbedaan tekanan udara antara dua tempat maka semakin kencang angin bertiup. Selanjutnya, disusun kelas kecepatan angin berdasarkan data kecepatan angin (m/s).



Gambar 4.4 Grafik Frekuensi Kecepatan Angin Tahun 2012–2021

Frekuensi kejadian angin merupakan hal yang penting dikarenakan kecepatan angin yang terjadi bervariasi dari waktu ke waktu. Berdasarkan gambar 4.4 menunjukkan bahwa nilai kecepatan rata angin maksimum pada wilayah Kabupaten Deli Serdang pada tahun 2013–2021 adalah 3 m/s dengan frekuensi terbesar 1158 dan persentase adalah 31,70%.

#### 4.3 Perhitungan Distribusi Probabilitas Kecepatan Angin Dengan Distribusi Weibull

Pengamatan data kecepatan angin pada periode waktu tertentu dan lokasi terpilih dapat dianalisis menggunakan persamaan distribusi Weibull. Distribusi Weibull memiliki dua parameter yaitu  $k$  dan  $c$  yang nilainya bergantung pada nilai kecepatan angin. Parameter  $k$  merupakan parameter bentuk yang menentukan kurva sebaran, dan parameter  $c$  merupakan parameter skala yang menggambarkan kecepatan angin.

Tabel 4.3 Nilai Parameter Weibull Tahun 2013-2021

| Vm<br>(m/s) | $\sigma$ | k    | c<br>(m/s) |
|-------------|----------|------|------------|
| 3,12        | 1,43     | 2,24 | 3,37       |

Tabel 4.3 menunjukkan nilai dari parameter bentuk ( $k$ ) dan skala ( $c$ ) di Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang tahun 2012 – 2021. Untuk probabilitas berdasar Distribusi Weibull, hasil analisis data menunjukkan bahwa telah didapatkan nilai  $k = 2,24$  dan  $c = 3,37$  m/s. Perhitungan parameter weibull dapat dilihat pada lampiran 4.

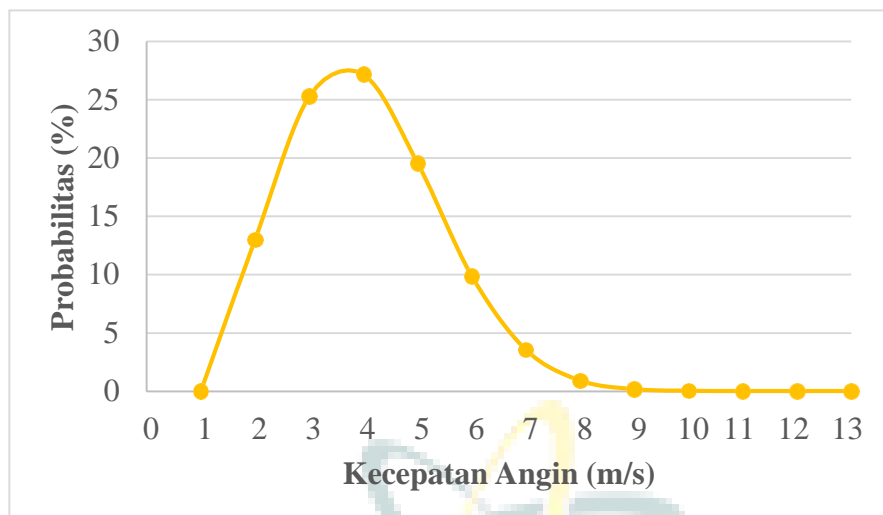
Pada distribusi Weibull, fungsi distribusi kumulatif  $f(v)$  digunakan untuk menggambarkan persentase kecepatan angin yang berubah terhadap waktu yang sama atau berbeda dengan kecepatan angin sebelumnya. Fungsi distribusi kumulatif  $f(v)$  merepresentasikan pecahan atau probabilitas kecepatan angin tertentu kurang dari atau sama dengan kecepatan angin referensi, dan ditentukan dengan rumus berikut. Setelah mendapatkan parameter  $k$  dan  $c$ , data kecepatan angin dapat dinyatakan dengan persamaan Weibull, yaitu:

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

Setelah mensubstitusi nilai variabel dengan nilai yang diperoleh maka data kecepatan angin dapat dipresentasikan kedalam persamaan weibull yaitu,

$$f(v) = \frac{2,24}{3,37} \left(\frac{v}{3,37}\right)^{2,24-1} \exp\left[-\left(\frac{v}{3,37}\right)^{2,24}\right]$$

Persamaan diatas dapat digambarkan dengan  $f(v)$  sebagai probabilitas terjadinya kecepatan angin tertentu, dan  $v$  sebagai nilai kecepatan angin tersebut. Untuk mengetahui probabilitas kecepatan angin di wilayah Kabupaten Deli Serdang maka dapat dilihat pada visualisasi kurva peluang distribusi Weibull berikut:



Gambar 4.5 Distribusi Weibull Kecepatan Angin Tahun 2012-2021

Berdasarkan analisa distribusi Weibull dapat memperlihatkan grafik Weibull kecepatan angin di Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang tahun 2012-2021. Dalam hal ini yang bertindak sebagai variabel random kontinu adalah kecepatan angin. Oleh karena itu kecepatan angin diplot dalam sumbu horisontal dan probabilitas kejadiannya diplot dalam sumbu vertikal. Nilai  $k$  dan  $c$  menunjukkan keadaan kecepatan angin di suatu daerah. Nilai parameter  $k$  berbanding lurus dengan probabilitas kecepatan angin. Semakin tinggi nilai  $k$  maka probabilitas kecepatan angin semakin besar. Sedangkan nilai  $c$  menunjukkan keadaan sebaran kecepatan angin. Bentuk pada kurva tersebut dipengaruhi oleh nilai  $k$  yang merupakan parameter bentuk yaitu memiliki nilai  $k \geq 2$  yaitu 2,23 kemudian didapatkan frekuensi kecepatan angin maksimum yaitu 4 m/s dengan probabilitas 26%. Data kecepatan angin yang dapat dimanfaatkan menjadi sumber pembangkit listrik adalah 3-4 m/s.

#### 4.4 Perhitungan Potensi Energi Angin

Berdasarkan studi yang dilakukan nilai kecepatan angin berhubungan dengan diameter rotor yang digunakan. Untuk menghitung energi angin perlu diketahui nilai dari luas penampang. Jika diasumsikan diameter turbin 5 meter maka luas penampang ( $A$ ) adalah  $19,625 \text{ m}^2$ . Selanjutnya  $\rho$  adalah kerapatan udara, dengan nilai  $1,225 \text{ kg/m}^3$ . Berdasarkan Kontanta Betz' Law, energi angin tidak bisa dikonversi melebihi  $16/27$  ( $=59.3\%$ ) dari energi kinetik. Secara teori, *power*

*efficiency* maksimum yang dihasilkan dari berbagai macam turbin adalah 0,59 yang disebut dengan *power coefficient* ( $C_p$ ).

Berikut merupakan data-data hasil perhitungan kecepatan angin, daya angin dan energi angin. Hasil perhitungan dapat dilihat pada lampiran 4.

Tabel 4.4 Hasil Perhitungan Potensi Energi Angin di Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang (2012–2021)

| Bulan     | Kecepatan (m/s) | Daya (Watt) | Energi (Wattdays) |
|-----------|-----------------|-------------|-------------------|
| Januari   | 2,97            | 182,00      | 56.421,41         |
| Februari  | 3,26            | 240,69      | 68.116,47         |
| Maret     | 3,18            | 223,40      | 69.255,77         |
| April     | 2,88            | 165,95      | 49.786,51         |
| Mei       | 2,98            | 183,84      | 56.993,25         |
| Juni      | 3,06            | 199,05      | 59.717,07         |
| Juli      | 3,22            | 231,94      | 71.902,21         |
| Agustus   | 3,24            | 236,29      | 73.250,34         |
| September | 3,07            | 201,01      | 60.304,44         |
| Oktober   | 2,98            | 183,84      | 56.993,25         |
| November  | 2,75            | 144,48      | 43.344,32         |
| Desember  | 2,87            | 164,23      | 50.912,01         |

Dari data yang ada pada tabel diatas menunjukkan hasil variasi antara potensi energi angin disetiap bulannya dari tahun 2012-2021. Nilai kecepatan rata-rata bulanan 2,88-3,26 m/s dan menghasilkan daya mulai dari 164,23-240,69 Watt. Daya tertinggi terjadi pada bulan Februari sebesar 240,69 Watt dan daya terendah terjadi pada bulan November sebesar 144,23Watt dan didapat nilai daya rata-rata adalah 196,398 Watt. Selanjutnya menghasilkan energi 43.344,32-73.250,34 *Wattdays* dan energi yang tertinggi terjadi pada bulan Agustus sebesar 73.250,34 *Wattdays* dan energi yang terendah terjadi pada bulan November sebesar 43.344,32 *Wattdays* dan didapat nilai energi angin rata-rata adalah 59.749,75 *Wattdays*.

#### 4.5 Pembahasan Penelitian

Pada tahap ini akan dibahas hasil analisis data potensi energi angin di Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang dari tanggal 01 Januari 2012-31 Desember 2021. Hasil analisis data angin merupakan data yang didapat melalui database BMKG online di Stasiun Klimatologi Deli Serdang. Data meliputi data harian arah dan kecepatan angin. Nilai arah dan kecepatan angin diolah dan



dianalisis sehingga mendapatkan keluaran data yaitu mengenai sumber daya angin yang meliputi arah dominan, kecepatan, daya dan energi angin pada wilayah yang ditentukan.

Dalam mengolah data arah dan kecepatan angin hasil keluaran yaitu arah dominan dengan persentase kecepatan yang terjadi dengan menggunakan metode windrose yang menggambarkan frekuensi kejadian angin pada tiap arah mata angin dan kelas kecepatan angin pada lokasi yang ditentukan. Dalam hal ini grafik digunakan untuk menampilkan arah dominan pergerakan angin pada suatu wilayah sebagai analisa pengembangan sumber energi terbarukan. Metode windrose yang digunakan pada wilayah Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang dari tahun 2012-2021 mendapatkan hasil arah dominan yaitu angin yang berasal dari Utara terjadi pada bulan Januari, Februari, Maret, April, November dan Desember. Dengan kecepatan angin dominan 0,50-2,10 m/s dengan persentase 33,0%.

Selanjutnya dalam mengolah data kecepatan angin hasil keluaran didapatkan nilai kecepatan angin rata-rata. Dari hasil analisis dan perhitungan kecepatan angin rata-rata di Kabupaten Deli Serdang, maka diperoleh kecepatan angin rata-rata sebesar 3,01 m/s. Nilai kecepatan angin rata-rata maksimum yang terjadi adalah pada bulan Februari sebesar 3,26 m/s dan kecepatan angin rata-rata minimum yang terjadi adalah pada bulan November sebesar 2,75 m/s.

Berdasarkan nilai kecepatan angin rata-rata maksimum tertinggi hal ini dipengaruhi oleh tiupan angin yang berhembus lebih banyak pada kecepatan angin yang tinggi pada durasi waktu tertentu. Selain itu kecepatan angin yang tinggi pada bulan Februari terjadi dikarenakan dipengaruhi oleh angin monsun atau biasa disebut dengan angin musim. Menurut (Habibie dkk, 2011) pada puncak angin monsun, umumnya daerah tersebut memiliki kecepatan angin yang lebih tinggi dibanding dengan saat musim peralihan, dan frekuensi hari yang memiliki angin dengan kecepatan lebih dari 2,5 m/s lebih tinggi pada angin monsun.

Menurut (BMKG, 2019) pada bulan Februari yang terjadi adalah angin monsun Asia (Desember-Januari-Februari). Angin ini bertiup saat matahari berada di belahan bumi selatan. Pada waktu ini, akan mengalami musim hujan akibat adanya massa uap air yang dibawa oleh angin ini. Hal ini dikarenakan angin monsun Asia mempengaruhi curah hujan pada saat musim hujan dan akan

mengalami temperatur udara yang cukup dingin. Berdasarkan hal tersebut mengakibatkan kecepatan angin meningkat pada bulan Februari.

Untuk mendapatkan nilai frekuensi persentase kecepatan angin yang digunakan adalah metode distribusi probabilitas Weibull. Metode pengolahan data menggunakan distribusi Weibull merupakan distribusi probabilitas yang sesuai dengan kondisi data yang ada. Dengan merata-ratakan data bulanan sepanjang tahun maka didapatkan gambaran kekuatan angin pada suatu lokasi. Kecepatan angin rata-rata bulanan menunjukkan kecendrungan kecepatan angin sepanjang tahun. Hasil yang didapat dengan distribusi Weibull adalah 3-4 m/s dengan probabilitas 26%.

Selanjutnya potensi sumber daya angin mendapatkan hasil pengolahan data dan analisis data sekunder yang menghasilkan nilai daya dan energi di Kecamatan Percut Sei Tuan Kabupaten Deli Serdang periode waktu dari tahun 2012-2021. Daya dan energi yang dihasilkan oleh energi angin rata-rata adalah kenaikan nilai kecepatan angin berbanding lurus dengan daya yang dihasilkan. Tingginya daya angin yang terjadi pada bulan Februari adalah sebesar 240,69 Watt dikarenakan frekuensi dan durasi tiupan angin harian pada bulan tersebut lebih banyak pada kecepatan angin yang lebih tinggi.

Pada saat kecepatan angin rata-rata 3,24 m/s dihasilkan energi sebesar 73.250,34 *Wattdays* dan pada saat kecepatan angin rata-rata 3,26 m/s dihasilkan energi sebesar 68.116,47 *Wattdays*. Hal ini menjelaskan bahwa di mana kecepatan rata-rata dan daya memiliki peran dalam menentukan jumlah energi yang dihasilkan pada suatu wilayah.

Tingginya potensi daya angin pada bulan Februari disebabkan oleh frekuensi dan durasi hembusan angin serta kecepatan angin yang lebih tinggi pada bulan tersebut. Sementara itu, kecepatan angin rendah pada bulan Mei karena frekuensi angin dan kecepatan hembusan angin lebih rendah pada bulan tersebut. Menurut (Khairiaton dkk, 2016) hal ini berarti frekuensi kecepatan angin merupakan hal yang penting mengingat kecepatan angin yang terjadi bervariasi dari waktu ke waktu. Selanjutnya berdasarkan analisis terhadap data sekunder, diketahui angin sedang dengan hembusan reguler, sehingga kecepatan angin berpotensi untuk pembangunan pembangkit listrik tenaga angin skala kecil.