



## Karakteristik Angin Wilayah Pesisir Utara Pulau Jawa Berdasarkan Variabilitas Monsun

### Wind Characteristics of the North Coastal Region of Java Island According to Monsoon Variability

ANIES MA'RUFATIN\*, ARDILA YANANTO, WAHYU WIDODO PANDOE

Pusat Riset Teknologi Hidrodinamika, Organisasi Riset Energi dan Manufaktur, Badan Riset dan Inovasi Nasional, BRIN Kawasan Surabaya-Komplek ITS, Jl. Hidrodinamika, Kec. Sukolilo, Kota Surabaya, Jawa Timur 60112, Indonesia

\*anies.marufatin@brin.go.id

#### ARTICLE INFO

##### Article history:

Received 17 October 2023

Accepted 19 December 2023

Published 31 January 2024

##### Keywords:

Wind direction

Wind speed

Characteristics

Transition period

Monsoon

#### ABSTRACT

The characteristics of near-surface winds correlated with global phenomena such as monsoons have previously been extensively investigated. However, limited wind data investigations have been conducted in the northern coastal region of Java Island. This research aims to analyze the wind characteristics in this region, focusing on monsoon variability. Statistical analysis and wind rose diagrams analysis were conducted using wind direction and speed data spanning from 2013 to 2022 at three Meteorological Station by the Meteorology, Climatology, and Geophysics Agency (BMKG): Tanjung Priok-North Jakarta, Tanjung Mas-Semarang, and Perak II-Surabaya. The analysis results indicate that North Jakarta has experienced an increasing trend in annual average wind speed over a decade, whereas Semarang and Surabaya have seen a decrease. When influenced by the east and west monsoons, wind speeds in North Jakarta and Semarang are higher than during transition periods I and II. Conversely, in Surabaya, the average value was highest during transition period II compared to the west monsoon, east monsoon, and transition period I. Surabaya's average daily wind speed surpassed that of North Jakarta and Semarang. However, Semarang exhibited the highest maximum wind speed among the three regions. The dominant wind direction aligns with the monsoon wind pattern, whether the west or the east. During the transition season, wind direction tends to be more variable, with the frequency of wind events from the south and southwest occurring least frequently compared to other directions. This preliminary study provides the foundation for advancing the knowledge of meteorological studies, particularly wind, as they relate to hydrometeorological disasters.

#### INFORMASI ARTIKEL

##### Histori artikel:

Diterima 17 Oktober 2023

Disetujui 19 Desember 2023

Diterbitkan 31 Januari 2024

##### Kata kunci:

Arah angin

Kecepatan angin

Karakteristik

Masa peralihan

Monsun

#### ABSTRAK

Karakteristik angin dekat permukaan yang dikaitkan dengan fenomena global seperti monsun telah banyak dilakukan riset sebelumnya. Akan tetapi, kajian data angin masih sedikit ditemukan di wilayah pesisir utara Pulau Jawa. Riset ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik angin wilayah tersebut berdasarkan variabilitas monsun. Analisis statistik dan analisis diagram *wind rose* dilakukan untuk data arah dan kecepatan angin tahun 2013–2022 di tiga Stasiun Meteorologi milik Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) yaitu di Tanjung Priok-Jakarta Utara, Tanjung Mas-Semarang, dan Perak II-Surabaya. Hasil analisis menunjukkan bahwa selama sepuluh tahun tersebut di Jakarta Utara telah terjadi peningkatan tren kecepatan angin rata-rata tahunan, sedangkan di Semarang dan Surabaya terjadi penurunan. Saat dipengaruhi monsun timur maupun barat, kecepatan angin di Jakarta Utara dan Semarang lebih tinggi dibanding saat masa peralihan I maupun peralihan II. Akan tetapi, kecepatan angin di Surabaya saat masa peralihan II memiliki nilai rata-rata tertinggi dibandingkan saat periode monsun barat, monsun timur, maupun saat masa peralihan I. Rata-rata kecepatan angin harian di Surabaya lebih tinggi dibanding Jakarta Utara dan Semarang, namun Semarang memiliki nilai maksimum kecepatan angin yang paling tinggi di antara kedua wilayah lainnya. Dominasi arah angin terlihat mengikuti pola angin monsun baik saat terjadi monsun barat, ataupun saat terjadi monsun timur. Arah angin akan cenderung lebih beragam pada saat musim peralihan dengan frekuensi kejadian angin dari selatan maupun barat daya paling sedikit terjadi daripada arah angin lainnya. Studi awal ini sebagai dasar untuk pengayaan ilmu kajian meteorologi terutama angin untuk dikaitkan dengan bencana hidrometeorologi.

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Lingkungan pesisir memiliki potensi pengembangan yang tinggi karena kaya akan sumber daya alam hayati dan non hayati serta strategis dalam berbagai bidang pengembangan wilayah (Ekosafitri *et al.*, 2017). Wilayah pesisir sebagai area pertemuan antara daratan dan laut, ke arah darat meliputi bagian daratan yang masih dipengaruhi oleh sifat laut, seperti angin laut, pasang surut, serta intrusi garam (Aldrian, 2008). Wilayah pesisir utara Pulau Jawa sering mengalami perubahan yang diakibatkan oleh proses hidrometeorologi (Ipranta *et al.*, 2021). Hal ini perlu menjadi perhatian, sehingga langkah awal mitigasi terjadi suatu bencana hidrometeorologi dengan memonitoring parameter meteorologi di wilayah pesisir utara Pulau Jawa salah satunya yaitu angin.

Angin berpotensi sebagai sumber pemenuhan kebutuhan energi karena merupakan energi terbarukan yang ramah lingkungan (Dewi *et al.*, 2022). Kajian mengenai angin di laut Indonesia semakin menarik perhatian dalam pengembangan energi angin lepas pantai (Alifdini *et al.*, 2021). Sejalan dengan hal tersebut, memahami angin di atas laut Indonesia telah menjadi tantangan sejak lama dan semakin penting (Alifdini *et al.*, 2021). Kajian tentang angin terutama mempelajari karakteristik angin di wilayah pesisir menjadi tantangan karena sifat angin yang dinamik dan dapat mempengaruhi parameter lautan. Parameter lautan yang dipengaruhi oleh angin diantaranya gelombang (Purwanto *et al.*, 2021), suhu (Haryanto *et al.*, 2021), dan arus permukaan (Haryanto *et al.*, 2021; Rifai *et al.*, 2020).

Letak Indonesia di garis katulistiwa, yang merupakan lintasan pergerakan semu matahari, menjadikan area tersebut terjadi pergerakan udara sebagai akibat tekanan udara (Dida *et al.*, 2016; Haryanto *et al.*, 2021). Selain itu, Indonesia berada diantara dua benua yaitu Asia dan Australia, serta dua samudera yaitu Samudera Pasifik dan Samudera Hindia, membuat Indonesia dilintasi oleh monsun. Monsun merupakan fenomena iklim global seperti El Nino/La Nina dan *Indian Ocean Dipole Mode* (IODM) dimana terjadi perubahan iklim di atmosfer dan laut (Aldrian, 2008). Kompleksnya variabilitas monsun di wilayah Indonesia dapat menghasilkan fluktuasi spasial dan temporal dalam arah dan kecepatan angin (Kurniawan *et al.*, 2012). Hal ini akan berpengaruh pada dinamika laut dan kondisi oseanografi regional (Alifdini *et al.*, 2021; Kurniawan *et al.*, 2012). Selain itu, monsun berpotensi mempengaruhi variabilitas musiman parameter laut di perairan Indonesia secara umum dan sebagai faktor utama penentu iklim regional (Alifdini *et al.*, 2021; Purwanto *et al.*, 2021).

Indonesia dipengaruhi oleh sistem monsun Asia dan Australia yang bergerak bergantian melintas sepanjang tahun dalam kurun waktu enam bulan yaitu April hingga September (monsun timur) dan Oktober hingga Maret (monsun barat) (Haryanto *et al.*, 2021). Pada saat musim panas di Benua Asia tekanan udaranya menjadi rendah, sedangkan pada saat itu terjadi musim dingin di Benua Australia tekanan udaranya tinggi. Hal tersebut mengakibatkan terjadi pergerakan angin dari Australia ke Asia melalui Indonesia mengakibatkan Indonesia mengalami

puncak musim kemarau yang terjadi pada bulan Juni, Juli, dan Agustus (JJA) dengan arah angin dari timur ke barat (monsun timur) (Tjasyono *et al.*, 2008). Begitu juga sebaliknya, saat Benua Asia mengalami musim dingin dengan tekanan udara lebih tinggi dan di Benua Australia mengalami musim panas dengan tekanan udara lebih rendah, maka pergerakan angin dari Asia ke Australia (monsun barat) mengakibatkan wilayah Indonesia mengalami musim penghujan dan terjadi pada bulan Desember, Januari, dan Februari (DJF). Pada periode ini bertiup angin barat hingga barat laut melintasi belahan bumi selatan Indonesia, seperti Sumatera bagian selatan, Jawa, Bali, Lombok, Nusa Tenggara hingga Papua (Tjasyono *et al.*, 2008). Monsun di Indonesia ditandai dengan berhembusnya secara tetap sirkulasi angin dalam satu periode tertentu (minimal tiga bulan) dengan periode lainnya arah angin hampir berlawanan, sehingga terdapat masa transisi dari monsun timur dan monsun barat, yaitu pada bulan Maret-April-Mei (MAM) dan September-Oktober-November (SON) dengan ditandai arah dan kecepatan angin bertiup tidak menentu (Kurniawan *et al.*, 2012).

Saat periode monsun timur dan barat di Indonesia memiliki karakteristik berbeda-beda sehingga mempengaruhi kondisi parameter lautan. Berdasarkan hasil riset Kurniawan *et al.* (2012), daerah rawan gelombang tinggi pada periode monsun barat lebih luas daripada daerah rawan gelombang tinggi pada periode monsun timur. Terjadinya perubahan arah dan kecepatan angin saat monsun barat dan monsun timur berpengaruh terhadap perubahan arah dan kecepatan arus serta suhu permukaan, sedangkan pada saat musim peralihan atau masa transisi tidak berpengaruh pada arus dan suhu permukaan (Rifai *et al.*, 2020).

Karakteristik angin dalam periode waktu puluhan tahun dapat terjadi penurunan yang signifikan kecepatan angin, seperti hasil riset yang dilakukan oleh Guo *et al.* (2011) di sepanjang pantai tenggara Tiongkok. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis data arah dan kecepatan angin dalam periode sepuluh tahun terakhir di kawasan pesisir utara Pulau Jawa untuk dapat mengetahui karakteristik angin di wilayah tersebut. Mengetahui karakteristik variasi temporal dan spasial dari kecepatan angin dekat permukaan regional dan secara sistematis mengevaluasi faktor-faktor yang mempengaruhi kecepatan angin regional merupakan dasar penting untuk merumuskan sistem pencegahan dan pengendalian bencana badai suatu kawasan (Zhou *et al.*, 2021). Penelitian terdahulu di Indonesia telah banyak dilakukan riset terkait angin permukaan dengan menggunakan diagram *wind rose* (mawar angin) untuk menganalisis arah dan kecepatan angin (Fadholi, 2013; Lubis & Yosi, 2012; Pramono *et al.*, 2022; Rifai *et al.*, 2020; Saragih & Siregar, 2021; Simbolon *et al.*, 2022; Winaktu & Ingsih, 2022). Pada riset ini juga menggunakan diagram *wind rose* untuk analisis data angin wilayah pesisir dengan mempertimbangkan variabilitas monsun yang terjadi.

### 1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini yaitu untuk menganalisis karakteristik angin wilayah pesisir utara Pulau Jawa (Jakarta Utara, Semarang, dan Surabaya) saat periode monsun timur,

barat, dan masa peralihan. Karakteristik angin dianalisis berdasarkan data arah dan kecepatan angin selama 10 tahun yaitu tahun 2013–2022 di wilayah tersebut.

**2. METODE**

**2.1 Sumber Data**

Riset ini menggunakan data rata-rata harian arah dan kecepatan angin yang merupakan angin dekat permukaan di tiga titik stasiun BMKG di pesisir utara Pulau Jawa, yaitu di Jakarta Utara, Semarang, dan Surabaya. Tabel 1 menunjukkan profil stasiun BMKG sebagai lokasi pengambilan data. Data yang digunakan pada rentang waktu 10 tahun yaitu tahun 2013 hingga tahun 2022. Data diakses melalui situs <http://www.meteomanz.com>. Pada situs tersebut menyediakan data cuaca yang diamati untuk lokasi di seluruh dunia yang diperoleh dengan format SYNOP dan BUFR yang dikeluarkan oleh stasiun cuaca resmi sesuai dengan WMO ID (nomor identitas dari *World Meteorological Organization*) ([meteomanz.com](http://www.meteomanz.com), 2023).

**2.2 Analisis Data**

Penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif untuk memberikan gambaran terhadap suatu objek yang diteliti dengan menggunakan data yang telah terkumpul dan kesimpulan yang berlaku umum. Data yang digunakan yaitu data rata-rata harian arah dan kecepatan angin untuk dilakukan analisis statistik dan dibuat diagram *wind rose*. *Wind rose plot* dibuat dengan WRPlot View™ (©Lakes Environmental Software) versi 8.0.2 untuk mensimulasikan variasi musiman dan spasial dari frekuensi arah angin (°) dan kecepatan angin (m/s) dengan kincir sebagai titik fokus (Hoffman et al., 2017). Data angin dikategorikan dalam empat musim, yaitu Desember-Januari-Februari (DJF), Maret-April-Mei (MAM), Juni-Juli-Agustus (JJA), dan September-Oktober-November (SON). Hal ini berdasarkan kajian Pulau Jawa mempunyai siklus angin dan curah hujan tahunan yang jelas akibat monsun (Abdillah et al., 2022).

Sebelum menganalisis data angin menggunakan *software* WRPlot View™ perlu melakukan prosedur *quality control* data. Dari sumber data awal (*raw data*), kemudian

memilah data yang diperlukan, yaitu data tahun, bulan, tanggal, arah angin (°), dan kecepatan angin (m/s). Pada sumber data, diperoleh *raw data* berupa data kecepatan angin (V) dengan satuan km/jam, maka perlu dilakukan konversi satuan menjadi m/s menggunakan Persamaan 1 agar satuan kecepatan angin sesuai dengan Satuan Internasional (SI) (ConvertUnits.com, 2023).

$$V \text{ (m/s)} = V \text{ (km/jam)} * 0,2777777777777778..... (1)$$

Untuk menganalisis data, perlu ditentukan klasifikasi arah angin dan kelas angin. Diagram angin yang dibuat menunjukkan arah angin sesuai dengan klasifikasi 8 arah mata angin di antaranya 360° (utara), 45° (timur laut), 90° (timur), 135° (tenggara), 180° (selatan), 225° (barat daya), 270° (barat), dan 315° (barat laut). Penentuan klasifikasi 8 arah mata angin ini mengadopsi metode yang dilakukan oleh Pramono et al. (2022) dan Saragih & Siregar (2021). Selanjutnya, menentukan klasifikasi kelas angin dengan berdasarkan skala Beaufort seperti yang digunakan oleh Hasan et al. (2017) dengan modifikasi dan disajikan pada Tabel 2. Terdapat 6 kelas angin yang digunakan dari angin tenang hingga angin kuat.

Penyajian data dilakukan dengan menggunakan diagram *wind rose* dengan klasifikasi warna kecepatan angin seperti pada Gambar 1. Angin tenang pada rentang kecepatan 0–0,3 m/s ditunjukkan dengan warna biru, angin sedikit tenang pada kecepatan 0,3–1,6 m/s ditunjukkan dengan warna hijau tua, angin sepoi-sepoi dengan kecepatan 1,6–3,3 m/s ditunjukkan dengan warna hijau muda, angin berhembus pelan dengan kecepatan 3,2–5,5 m/s ditunjukkan dengan warna kuning, angin sedang pada kecepatan 5,5–8,0 m/s ditunjukkan dengan warna jingga, dan angin kuat pada kecepatan lebih dari 8 m/s ditunjukkan dengan warna merah.



Gambar 1. Klasifikasi warna kecepatan angin (m/s) untuk diagram *windrose*

Tabel 1. Profil stasiun BMKG di pesisir utara Pulau Jawa

No	Kab./Kota, Provinsi	WMO ID	Nama Stasiun	Lintang	Bujur	Elevasi (mdpl)
1	Jakarta Utara, DKI Jakarta	96741	Stasiun Meteorologi Kelas I Maritim Tanjung Priok	-6,1078	106,8805	2
2	Semarang, Jawa Tengah	96837	Stasiun Meteorologi Kelas II Maritim Tanjung Mas	-6,9486	110,4199	3
3	Surabaya, Jawa Timur	96937	Stasiun Meteorologi Kelas II Maritim Perak II	-7,2053	112,7353	3

Tabel 2. Klasifikasi kelas angin

Skala Beaufort	Rentang Kecepatan Angin (m/s)	Klasifikasi Angin
0	0–0,3	Tenang
1	0,3–1,6	Sedikit tenang
2	1,6–3,3	Angin hembusan (sepoi-sepoi)
3	3,4–5,5	Angin pelan
4	5,5–8,0	Angin sedang
5	>=8,0	Angin kuat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

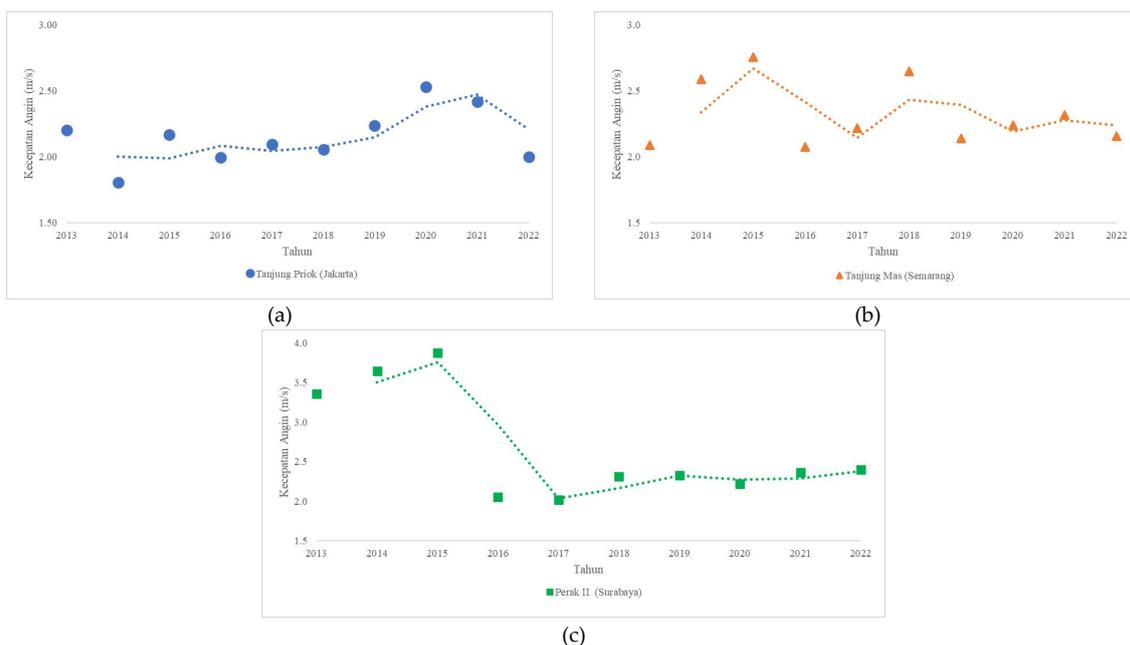
3.1 Karakteristik Angin Pesisir Utara Pulau Jawa Tahun 2013–2022

Pulau Jawa sepenuhnya berada di bawah garis katulistiwa tepatnya terletak di antara 6° Lintang Selatan (LS) dan 11° LS, serta diantara 95° Bujur Timur (BT) dan 106° BT. Karakteristik wilayah pesisir utara Pulau Jawa merupakan dataran rendah dan banyak delta, serta mendapatkan energi gelombang yang rendah dari Laut Jawa, sedangkan wilayah pesisir selatan Pulau Jawa lebih curam, bertebing, dan mendapat energi gelombang yang kuat dari Samudera Hindia (Setyawan & Pamungkas, 2017). Bentuk geomorfologi kawasan pesisir merupakan hasil proses kombinasi sedimentasi dan geologi yang salah satunya dipengaruhi oleh angin (Ipranta et al., 2021). Angin merupakan fenomena alam yang disebabkan oleh radiasi matahari, yang mengubah suhu permukaan bumi dan menggerakkan atmosfer (Zhou et al., 2021). Berdasarkan teori kinetika atmosfer, gradien suhu inilah yang terutama menentukan kecepatan angin di setiap wilayah berbeda-beda.

Pada riset ini untuk dapat memberikan gambaran karakteristik angin dengan menggunakan data pengamatan dari tiga Stasiun Meteorologi Maritim BMKG di kawasan pesisir utara Pulau Jawa, sebagai sampel mewakili bentangan Pulau Jawa dari ujung barat hingga ujung timur, yaitu di Tanjung Priok (Jakarta Utara), Tanjung Mas (Semarang), dan Perak II (Surabaya). Berdasarkan data di tiga titik pengamatan tersebut, di wilayah pesisir utara Pulau Jawa kecepatan angin rata-rata tahunan berkisar antara 1,8–3,9 m/s. Pada Gambar 2 terlihat dari tahun 2013 hingga 2022 di Jakarta Utara memiliki tren data kecepatan angin rata-rata tahunan yang meningkat, sedangkan di Semarang dan Surabaya terjadi penurunan. Perubahan kecepatan angin dapat mengindikasikan terjadinya perubahan sirkulasi baik karena proses alam maupun antropogenik (Guo et al., 2011).

Selain itu, terjadinya perubahan kecepatan angin dapat disebabkan oleh adanya faktor atmosfer seperti variasi gradien tekanan udara dan faktor permukaan tanah (Tuller, 2004), serta adanya fenomena lokal atau regional (Pirazzoli & Tomasin, 2003).

Pada tahun 2013–2022, Indonesia mengalami fenomena anomali iklim El Nino kuat dan berdurasi panjang pada tahun 2015, pada tahun 2019 terjadi El Nino lemah, dan terjadi La Nina lemah hingga sedang pada tahun 2021–2022, sedangkan tahun-tahun lainnya pada kondisi normal (Yuniasih et al., 2023). Menurut Aldrian (2008), fenomena El Nino dan La Nina membawa implikasi laut Indonesia menjadi lebih dingin pada saat El Nino dan menghangat pada saat La Nina. Namun, pengaruh pola musonal pada pola sirkulasi arus permukaan akan lebih kuat dibanding pengaruh dari kedua fenomena tersebut. Pada tahun 2015 saat terjadi El Nino kuat, di wilayah Jakarta Utara, Semarang, maupun Surabaya mengalami peningkatan rata-rata kecepatan angin dibanding tahun sebelumnya, lalu menurun pada tahun berikutnya. Pada saat terjadi El Nino lemah di tahun 2019, di Jakarta Utara dan di Surabaya terjadi peningkatan rata-rata kecepatan angin dari tahun sebelumnya, sedangkan di Semarang terjadi penurunan. Akan tetapi, pada tahun berikutnya terjadi peningkatan di Jakarta Utara dan Semarang, sedangkan sedikit mengalami penurunan di Surabaya. Pada tahun 2021 saat terjadi La Nina lemah, terjadi kenaikan dari tahun 2020 dimana saat kondisi normal di Semarang dan Surabaya, sedangkan terjadi penurunan di Jakarta Utara. Pada tahun 2022 masih terjadi La Nina lemah, di Jakarta Utara dan Semarang terjadi penurunan data, sedangkan di Surabaya terjadi peningkatan data rata-rata kecepatan angin tahunan. Berdasarkan data tersebut, dampak fenomena global seperti El Nino dan La Nina sedikit berpengaruh pada kecepatan angin. Akan tetapi sesuai dengan yang dinyatakan oleh Tuller (2004) bahwa untuk menentukan hal yang mempengaruhi perubahan kecepatan angin di suatu wilayah cukup sulit dilakukan.



Gambar 2. Grafik kecepatan angin rata-rata tahunan di pesisir utara Pulau Jawa (a) Jakarta Utara, (b) Semarang, dan (c) Surabaya tahun 2013–2022

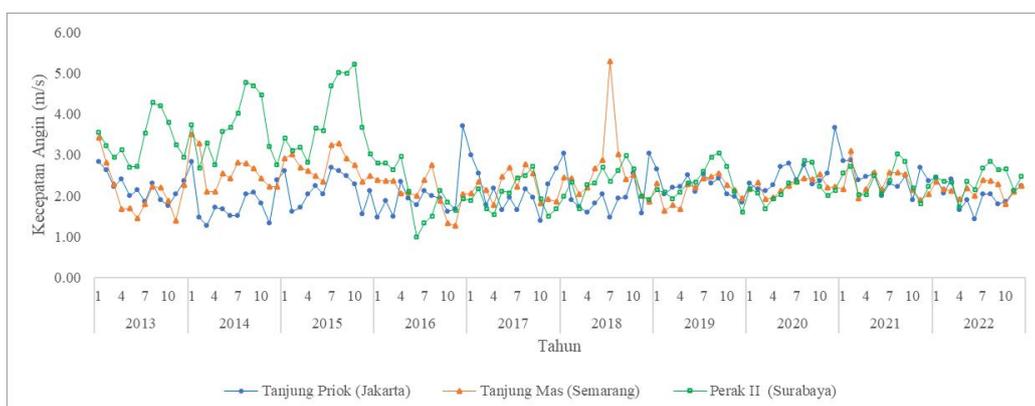
Mengetahui pola kecepatan angin pada suatu wilayah sebagai bentuk upaya dalam memahami perubahan iklim di bumi ini. Saat ini, riset terkait perubahan kecepatan angin khususnya di wilayah pesisir telah banyak dilakukan di antaranya di Italia (Pirazzoli & Tomasin, 2003), di Kanada (Tuller, 2004), dan di Tiongkok (Guo *et al.*, 2011). Pirazzoli & Tomasin (2003) menganalisis data kecepatan angin dari 17 stasiun pesisir Italia sepanjang 1.000 km di wilayah tengah Mediterania, sebagian besar kecepatan angin menurun dari tahun 1951 hingga sekitar pertengahan tahun 1970an, dan meningkat setelah itu. Di Kanada, terjadi penurunan rata-rata kecepatan angin tahunan dan saat terjadi musim dingin pada akhir 1940an hingga pertengahan 1990an berdasarkan data di empat stasiun di pantai barat Kanada (Tuller, 2004). Dengan menggunakan data kecepatan angin dari 652 stasiun di Tiongkok, Guo *et al.* (2011) melakukan riset perubahan kecepatan angin permukaan di Tiongkok dan wilayah monsunnya dari tahun 1969 hingga 2005, dengan hasil riset bahwa sebagian besar stasiun di Tiongkok mengalami penurunan rata-rata angin tahunan dan musiman. Riset yang dilakukan di wilayah pesisir utara Pulau Jawa ini sebagai salah satu upaya penilaian terhadap karakteristik angin saat ini yang diharapkan dapat dimanfaatkan dalam berbagai disiplin ilmu, karena kecepatan angin permukaan sangat penting dalam memprediksi dampak perubahan iklim global (Pryor *et al.*, 2009).

Dapat dilihat pada Gambar 3 yang menunjukkan kecepatan angin rata-rata bulanan bahwa kecepatan angin di wilayah Surabaya terlihat lebih tinggi dibanding Semarang dan Jakarta Utara. Penyebab perubahan kecepatan angin masih menjadi perdebatan dan kompleks. Penyebab utama pergeseran kecepatan angin adalah perubahan pola sirkulasi akibat pemanasan yang tidak merata di berbagai wilayah, yang juga dipengaruhi oleh perubahan permukaan dasar di berbagai lokasi (Zhou *et al.*, 2021). Di antara ketiga lokasi, Jakarta Utara memiliki nilai rata-rata kecepatan angin terendah. Hal ini bisa jadi pengaruh elevasi lokasi stasiun pengukuran, di Stasiun Meteorologi Kelas I Maritim Tanjung Priok (Jakarta Utara) elevasinya 2 meter di atas laut (mdpl), sedangkan kedua tempat lainnya elevasinya 3 mdpl. Untuk wilayah Surabaya, lokasi titik pengukuran di Stasiun Meteorologi Kelas I Maritim Perak II menghadap ke arah Pulau Madura. Hal ini bisa menjadi salah satu penyebab lebih tinggi kecepatan angin rata-rata dibanding di Semarang dan Jakarta Utara. Menurut Erfanda & Widagdo

(2020), salah satu ketidakteraturan fluktuasi hembusan angin di suatu wilayah utara Pulau Jawa yaitu adanya pulau-pulau sekitar Jawa. Laju pembangunan di wilayah pesisir juga berpotensi tinggi mempengaruhi kecepatan angin, karena telah terjadi perubahan permukaan dasar misalnya dari kawasan hijau menjadi kawasan terbangun. Namun, hal ini perlu dilakukan kajian lebih lanjut untuk dapat membuktikannya.

Selama tahun 2013–2022, frekuensi terjadinya angin rata-rata harian di wilayah pesisir utara Pulau Jawa dapat dilihat pada Tabel 3. Terlihat bahwa kecepatan angin didominasi oleh angin hembusan (sepoi-sepoi) dengan kecepatan angin antara 1,6 m/s dan 3,3 m/s, yaitu Semarang 78%, Surabaya, dan Jakarta Utara masing-masing 63%. Jakarta Utara memiliki nilai frekuensi kejadian kecepatan angin tenang hingga rendah (0,3–1,6 m/s) yang mendominasi dibanding kedua lokasi lainnya. Surabaya memiliki frekuensi kejadian angin dengan rentang kecepatan angin pelan (3,4–5,5 m/s) dan sedang (5,5–8,0 m/s) lebih tinggi dibanding Jakarta Utara dan Semarang. Dapat dilihat pada data tersebut bahwa di Semarang, frekuensi kejadian kecepatan angin kuat lebih dari 8 m/s lebih tinggi dibanding Surabaya dan Jakarta Utara. Data di Jakarta Utara dan Semarang masing-masing memiliki nilai 0,164% data yang tidak teridentifikasi, sedangkan di Surabaya 0,109% data yang tidak teridentifikasi. Pada saat mengidentifikasi data, data tidak teridentifikasi (*missing data*) kecepatan angin dari data rata-rata harian tetap digunakan sehingga muncul nilai persentase data hilang. Hal ini tidak terlalu terpengaruh pada hasil analisis data seperti yang dilakukan oleh Tuller (2004) yang tetap membiarkan adanya *missing data* dalam risetnya.

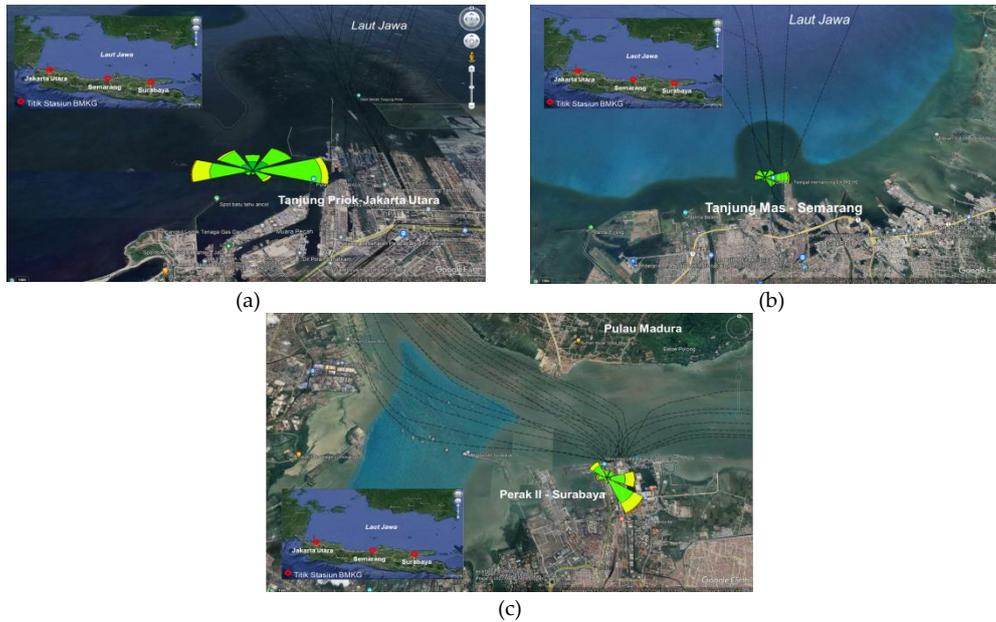
Frekuensi kejadian angin sebagai salah satu faktor meteorologi yang dapat menjadi indikator untuk memprediksi tinggi gelombang laut serta parameter lautan seperti fenomena pasang surut dan banjir rob (Fitrianti *et al.*, 2018; Koagouw *et al.*, 2013; Purwanto *et al.*, 2021). Dalam risetnya, Fitrianti *et al.* (2018) menyatakan bahwa frekuensi kejadian kecepatan angin 0,5–5 m/s dapat menyebabkan terjadinya pasang surut air laut di Semarang. Selain itu, saat terjadi pada air pasang tertinggi, frekuensi kecepatan anginnya antara 5–10 m/s, sedangkan untuk frekuensi kejadian angin kencang lebih dari 10 m/s terjadi pada saat air pasang maksimum sehingga dapat menimbulkan banjir rob.



Gambar 3. Grafik kecepatan angin rata-rata bulanan di pesisir utara Jawa tahun 2013–2022

Tabel 3. Frekuensi terjadinya angin rata harian pada tahun 2013–2022

Rentang Kecepatan Angin (m/s)	Tanjung Priok (Jakarta Utara)	Tanjung Mas (Semarang)	Perak II (Surabaya)
0–0,3	0,028%	0,055%	0,055%
0,3–1,6	25,082%	12,377%	11,720%
1,6–3,3	63,007%	78,833%	62,979%
3,4–5,5	11,062%	6,572%	23,056%
5,5–8,0	0,602%	1,670%	1,889%
>=8,0	0,055%	0,329%	0,192%
Missing data	0,164%	0,164%	0,109%



Gambar 4. Visualisasi diagram *wind rose* data arah dan kecepatan angin rata-rata harian tahun 2013–2022 di (a) Tanjung Priok-Jakarta Utara; (b) Tanjung Mas-Semarang; (c) Perak II-Surabaya

Pada Gambar 4 terlihat diagram *wind rose* yang divisualisasikan pada *Google Earth* berdasarkan titik lokasi pengukuran. Diagram tersebut menunjukkan bahwa selama tahun 2013–2022 di wilayah pesisir utara Pulau Jawa dengan menggunakan data rata-rata harian, dengan warna diagram yang diidentifikasi berdasarkan Tabel 2 dan Gambar 1. Di Jakarta Utara dominasi arah angin dari timur sekitar 26%, dari arah barat sekitar 22%, dari arah timur laut sekitar 16%, dari arah barat laut sekitar 14%, dari arah utara sekitar 10%, dari arah tenggara sekitar 7%, dan sisanya dari arah selatan serta barat daya kurang dari 5%. Di Semarang, sekitar 29% didominasi dari arah angin timur, sekitar 15% dari arah tenggara, sekitar 14% dari arah timur laut, sekitar 13% dari arah barat laut, sekitar 12% dari arah barat, sekitar 9% dari arah utara, sisanya kurang dari 5% masing-masing dari arah selatan dan barat daya. Di Surabaya, arah angin dari tenggara sekitar 32%, arah angin dari timur sekitar 23%, arah angin dari barat laut sekitar 15%, arah angin dari barat sekitar 9%, arah angin dari timur laut sekitar 8%, arah angin dari utara sekitar 7%, arah angin dari selatan sekitar 5%, dan sisanya dari arah barat daya. Angin di wilayah pesisir utara Pulau Jawa dengan rentang waktu satu dekade bisa jadi ada pengaruh angin laut dari Laut Jawa, meskipun di masing-masing titik angin dari utara kurang dari 10%. Salah satu sirkulasi angin laut disebut dengan *sea breeze front* (SBF), yang dianggap sebagai fenomena atmosfer mendasar di banyak wilayah pesisir karena pengaruhnya terhadap cuaca dan iklim setempat (Anjos & Lopes, 2019; Purba et al., 2021).

Fenomena ini terjadi karena angin dari arah laut bertemu dengan angin dari arah darat yang ditandai dengan perubahan suhu, kelembaban, angin yang signifikan dan dapat memicu aktivitas konvektif (Purba et al., 2021). Arah angin dominan akan berbeda setiap rentang waktu seperti harian, bulanan, musiman, ataupun tahunan, sehingga analisis data arah angin dapat disesuaikan dengan tujuan dan skala waktu yang digunakan.

### 3.2 Perbandingan Karakteristik Angin Berdasarkan Periode Monsun

Angin di wilayah pesisir utara Pulau Jawa merupakan angin yang dipengaruhi oleh monsun yang terbukti terjadi secara teratur, dengan arah hembusan yang berubah-ubah pada periode yang berbeda-beda (Erfanda & Widagdo, 2020). Sirkulasi perubahan kecepatan angin menjadi lebih kompleks di wilayah yang dipengaruhi monsun dan sensitif terhadap adanya perubahan global (Zhou et al., 2021). Pada riset ini, telah dilakukan klasifikasi data berdasarkan periode monsun, yaitu monsun barat pada bulan Desember, Januari, dan Februari (DJF); masa peralihan I pada bulan Maret, April, dan Mei (MAM); monsun timur pada bulan Juni, Juli, dan Agustus (JJA); dan masa peralihan II pada bulan September, Oktober, dan November (SON). Angin regional di suatu wilayah mengikuti pola angin musim yang terjadi, ditandai adanya pembalikan musiman sistem angin utama yaitu perubahan arah gaya gradien tekanan permukaan dan cuaca

utama ketika musim panas dan ketika musim dingin (Marelsa & Oktaviandra, 2019; Wardhani et al., 2021). Pulau Jawa sepenuhnya berada di bawah garis katulistiwa, sehingga arah angin dominan dipengaruhi posisi matahari saat di belahan bumi utara angin dari Australia menuju ke Asia, sedangkan saat posisi matahari di belahan bumi selatan maka angin dari Asia menuju Australia (Koagouw et al., 2013).

Perbedaan kecepatan angin dan unsur-unsur penyebab perubahan kecepatan angin berbeda-beda di berbagai lokasi baik skala spasial dan skala waktu, serta karakteristik yang komprehensif skala luas tidak dapat sepenuhnya mewakili skala kecil (Zhou et al., 2021). Oleh karena itu, dari data rata-rata harian kecepatan angin, dilakukan perbandingan nilai kecepatan angin rata-rata, maksimum, dan minimum masing-masing lokasi sesuai periode monsun yang dapat dilihat pada Tabel 4. Dari ketiga wilayah yang diobservasi, kecepatan angin di Tanjung Mas-Semarang, memiliki nilai maksimum yang tinggi hampir disetiap periodenya kecuali pada masa peralihan II. Pada masing-masing wilayah saat periode monsun, nilai rata-rata kecepatan anginnya akan lebih tinggi dibandingkan masa peralihan, kecuali di Perak II-Surabaya saat di masa peralihan II memiliki nilai rata-rata tertinggi dibanding periode lainnya di wilayah tersebut. Hal ini sesuai dengan riset yang dilakukan Rifai et al. (2020) dan Wardhani et al., (2021), bahwa saat kecepatan angin di bulan yang dipengaruhi monsun timur dan barat, nilai kecepatan angin lebih tinggi dibanding masa peralihan. Kecepatan angin dapat dimanfaatkan sebagai sumber energi terbarukan yang memanfaatkan angin di wilayah pesisir, namun kecepatan angin juga dapat memberikan dampak mengubah garis tepi pantai yang biasa disebut dengan abrasi (Winaktu & Ingsih, 2022).

Dapat dilihat pada Tabel 5, di Semarang terjadi angin dengan rata-rata harian kecepatan angin lebih dari 13 m/s yang mengindikasikan angin kuat hingga badai. Saat periode

monsun timur, pada bulan Juli dan Agustus di Semarang terjadi anomali kecepatan angin. Pada saat itu, dalam pemberitaan nasional terjadi badai tropis Maria terjadi sebagai akibat hembusan angin yang kuat dari bagian timur Filipina menuju tenggara Papua (Putri, 2018). Hal ini berimbas pada wilayah-wilayah Indonesia memiliki tekanan udara yang rendah. Pemerintah pada saat itu melalui BMKG mengimbau masyarakat di wilayah pesisir agar meningkatkan kewaspadaan saat melakukan aktivitas mencari ikan di laut, terkait munculnya badai tropis Maria penyebab gelombang tinggi. Akan tetapi, di Surabaya dan di Jakarta Utara pada waktu bersamaan tidak ditemukan anomali kecepatan angin. Hal ini mungkin disebabkan lokasi Semarang langsung berhadapan dengan Laut Jawa sehingga dampak di Semarang lebih tinggi dibanding lainnya.

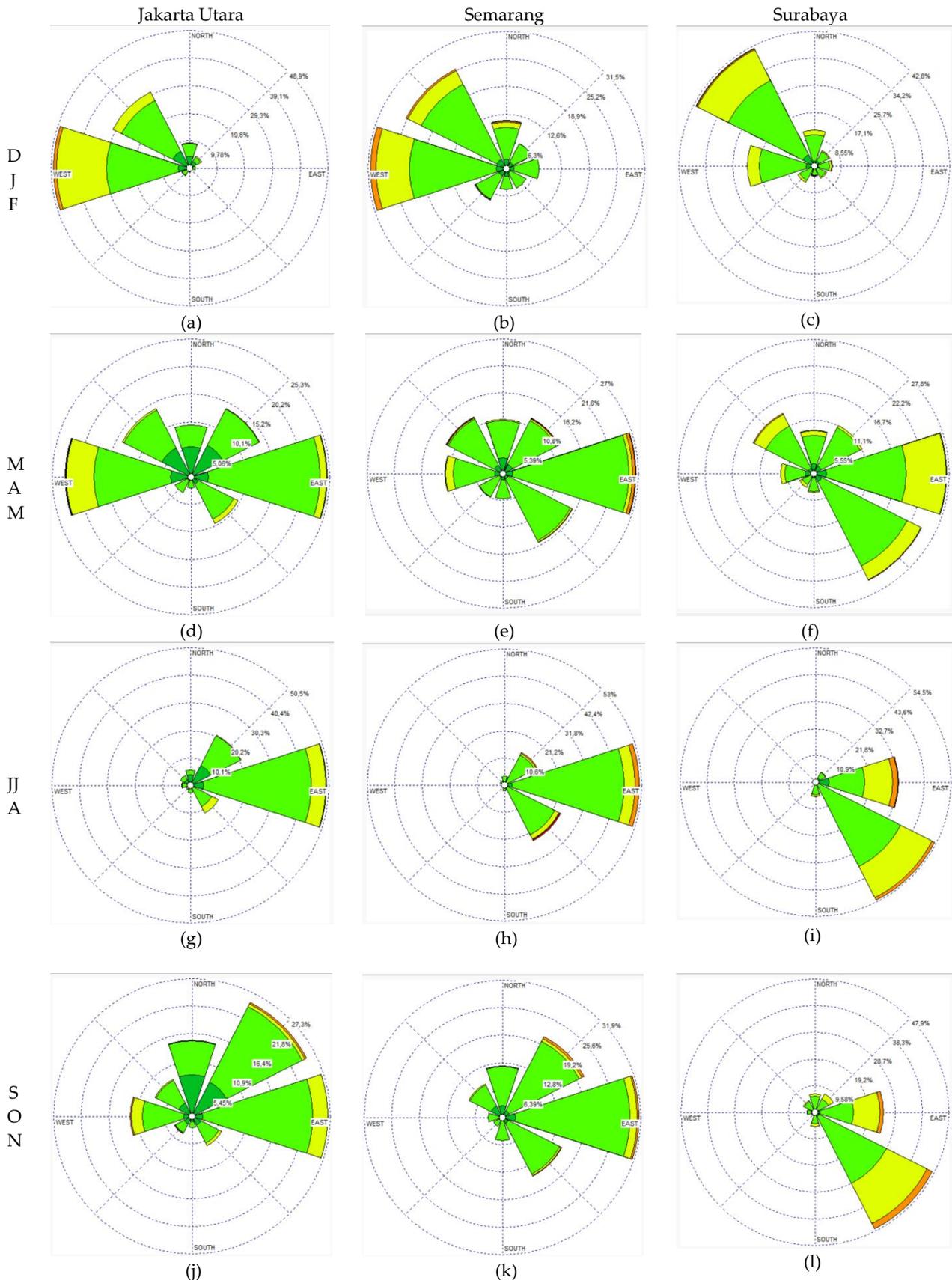
Pada saat dipengaruhi monsun barat (DJF) dominan angin bertiup dari arah barat dan barat laut (Gambar 5a, 5b, dan 5c). Pada saat terjadi monsun barat, angin berhembus secara horizontal dari barat laut ke tenggara bertiup ke arah sebaliknya saat terjadi monsun timur di Laut Jawa (Haryanto et al., 2021). Di Jakarta Utara dan Semarang dominasi arah angin pada saat itu dari arah barat, sedangkan di Surabaya lebih di dominasi dari arah barat laut. Frekuensi kejadian angin hembusan (sepoi-sepoi) dengan kecepatan angin antara 1,6 m/s dan 3,3 m/s di Semarang sekitar 70%, Surabaya 67%, sedangkan di Jakarta Utara sekitar 56%. Kecepatan angin pelan (5,5–8 m/s) paling sedikit ditemukan di Surabaya yaitu 0,6%, di Jakarta Utara sekitar 1,2%, dan yang paling banyak terjadi di Semarang yaitu sekitar 2%. Saat dipengaruhi monsun barat, di Indonesia mengalami puncak musim penghujan karena membawa banyak uap air dari Asia yang mengalami musim dingin (Haryanto et al., 2021). Selain itu, pada saat itu pengaruhnya pada tinggi gelombang yang lebih besar karena kecepatan angin yang bertiup lebih kuat jika dibandingkan musim yang lain (Anggraeni et al., 2016).

Tabel 4. Perbandingan kecepatan angin maksimum dan minimum sesuai periode monsun

Periode	Kategori	Kecepatan Angin (m/s)		
		Tanjung Priok (Jakarta Utara)	Tanjung Mas (Semarang)	Perak II (Surabaya)
Monsun Barat (DJF)	Rata-rata	2,46	2,38	2,50
	Maksimum	7,84	13,16	8,96
	Minimum	0,28	0,28	0,84
Peralihan I (MAM)	Rata-rata	2,04	2,15	2,41
	Maksimum	8,96	9,52	9,24
	Minimum	0	0,56	0
Monsun Timur (JJA)	Rata-rata	2,09	2,56	2,85
	Maksimum	8,12	26,88	9,80
	Minimum	0	0	0
Peralihan II (SON)	Rata-rata	2,02	2,17	2,87
	Maksimum	7,84	7,00	8,12
	Minimum	0,28	0	0,56

Tabel 5. Anomali kecepatan angin di Semarang pada saat periode monsun timur

No	Tanggal	Rata-rata Kecepatan Angin (m/s)
1.	1 Juli 2018	17,64
2.	10 Juli 2018	13,72
3.	15 Juli 2018	26,88
4.	31 Juli 2018	14,28
5.	5 Agustus 2018	14,84



Gambar 5. Diagram *wind rose* data arah dan kecepatan angin rata harian sesuai periode monsun barat (DJF), peralihan I (MAM), monsun timur (JJA), dan peralihan II (SON) pada tahun 2013–2022; (a) DJF di Jakarta Utara; (b) DJF di Semarang; (c) DJF di Surabaya; (d) MAM di Jakarta Utara; (e) MAM di Semarang; (f) MAM di Surabaya; (g) JJA di Jakarta Utara; (h) JJA di Semarang; (i) JJA di Surabaya; (j) SON di Jakarta Utara; (k) SON di Semarang; (l) SON di Surabaya

Pada saat musim peralihan I (MAM), arah dan kecepatan angin di Jakarta Utara, Semarang, dan Surabaya terlihat pada Gambar 5d, 5e, dan 5f. Variasi arah angin terlihat lebih beragam dibanding saat bulan-bulan monsun barat maupun monsun timur. Arah dominan di Jakarta Utara yaitu angin dari arah timur 25%, dari arah barat 23%, dari arah timur laut dan barat laut masing-masing 14%, dari arah tenggara 9,6%, dari arah utara 9,4%, dan sisanya sedikit dari arah barat daya dan dari arah selatan. Di Semarang, 26% arah angin dari timur, 16% dari tenggara, masing-masing 13% dari timur laut dan barat laut, 11% dari barat, 10% dari utara, dan sisanya dari selatan dan barat daya. Dominasi arah angin di Surabaya 27% dari arah timur, 25% dari arah tenggara, 14% dari arah barat laut, 11% dari arah timur laut, 9% dari arah utara, 7% dari arah barat, dan sisanya dari arah selatan dan barat daya. Di ketiga lokasi, arah selatan dan barat daya memiliki frekuensi kejadian paling rendah. Hal ini karena ketiga lokasi tersebut berada di wilayah pesisir utara Pulau Jawa, di mana angin dari arah selatan itu berasal dari daratan (Anggraeni *et al.*, 2016), sehingga dapat terlihat dominasi angin laut dan pengaruh fenomena global kuat mendominasi arah angin di wilayah tersebut. Pada periode ini, frekuensi kejadian angin sepoi-sepoi di Semarang meningkat menjadi 81%, di Surabaya 70%, dan di Jakarta Utara menjadi 64%. Namun terjadi penurunan frekuensi kecepatan angin kuat di ketiga lokasi dan peningkatan frekuensi kecepatan angin tenang. Hal tersebut mengindikasikan bahwa kecepatan angin saat musim peralihan I ini lebih rendah dibanding saat dipengaruhi monsun barat.

Bulan Juni, Juli, dan Agustus (JJA) angin dipengaruhi monsun timur dengan dominasi arah angin dari timur di Jakarta Utara dan Semarang, serta arah angin dominan dari tenggara di Surabaya (Gambar 5g, 5h, dan 5i). Saat bulan-bulan tersebut, Asia mengalami pemanasan yang lebih intensif sehingga menjadi pusat tekanan rendah sedangkan benua Australia terbentuk pusat tekanan tinggi, sehingga menyebabkan hembusan angin dari arah tenggara menuju ke arah barat laut (Erfanda & Widagdo, 2020). Di Semarang, sekitar 83% frekuensi kejadian kecepatan angin sepoi-sepoi, sekitar 68% frekuensi kejadian di Jakarta Utara, sedangkan di Surabaya sekitar 63%. Frekuensi kejadian angin dengan kecepatan lebih dari 8 m/s atau saat terjadi angin kuat, di Semarang frekuensinya sekitar 0,7%, di Surabaya sekitar 0,2%, dan di Jakarta sekitar 0,1%. Baik saat dipengaruhi oleh monsun timur maupun monsun barat, di Semarang frekuensi kejadian kecepatan angin sepoi-sepoi maupun kuat lebih tinggi dibandingkan di Jakarta Utara dan Surabaya.

Musim peralihan II (SON) terjadi peralihan antara monsun Australia atau monsun timur dan monsun Asia atau monsun barat (Haryanto *et al.*, 2021). Seperti pada saat musim peralihan I, keragaman arah angin saat musim peralihan II juga terlihat cenderung tidak teratur terlihat pada Gambar 5j, 5k, dan 5l. Dapat dilihat pada gambar tersebut, bahwa di Jakarta Utara maupun Semarang, dominasi arah angin berasal dari arah timur dan timur laut, sedangkan di Surabaya dominasi arah anginnya dari arah tenggara dan timur. Di Jakarta Utara, dominasi arah angin dari timur sekitar 26% dan dari timur laut sekitar 25%. Di Semarang dominasi arah angin dari timur sekitar 31% dan

21% dari timur laut. Di Surabaya angin dari arah tenggara mendominasi sekitar 47% dan 24% dari arah timur. Pada periode ini juga terjadi penurunan kecepatan angin yaitu frekuensi distribusi kecepatan angin sepoi-sepoi di Surabaya turun menjadi 56%, frekuensi kecepatan angin kuat menurun, sedangkan kecepatan angin tenang dan sedikit tenang meningkat. Selain itu, di Jakarta Utara dan Semarang juga terjadi sedikit penurunan frekuensi kecepatan angin sepoi-sepoi yaitu masing-masing menjadi 65% dan 82%. Hal ini sesuai dengan hasil riset Haryanto *et al.* (2021), bahwa pada bulan SON selain arah angin lebih tidak teratur juga kecepatan angin yang cenderung menurun dibandingkan saat dipengaruhi monsun timur.

#### 4. KESIMPULAN

Karakteristik angin wilayah pesisir utara Pulau Jawa dapat diketahui berdasarkan hasil analisis arah dan kecepatan angin di Tanjung Priok-Jakarta Utara, Tanjung Mas-Semarang, dan Perak II-Surabaya yang mewakili bentangan Pulau Jawa dari ujung barat hingga ujung timur selama 2013–2022. Dalam rentang waktu tersebut telah terjadi peningkatan tren kecepatan angin rata-rata tahunan di Jakarta Utara, sedangkan di Semarang dan Surabaya terjadi penurunan tren. Diantara ketiga lokasi, Surabaya memiliki kecepatan angin rata-rata bulanan lebih tinggi dibandingkan kedua lokasi lainnya. Arah dan kecepatan angin cenderung dipengaruhi oleh fenomena atmosfer seperti adanya monsun, meskipun ada indikasi juga ada pengaruh dari anomali iklim seperti El Nino dan La Nina, serta kondisi geografis setempat. Di Jakarta Utara dan Semarang, saat dipengaruhi monsun timur maupun barat, kecepatan angin lebih tinggi dibanding saat masa peralihan I maupun peralihan II. Akan tetapi, di Surabaya saat masa peralihan II memiliki nilai rata-rata tertinggi dibandingkan saat periode monsun barat, monsun timur, maupun saat masa peralihan I. Dominasi arah angin mengikuti pola angin monsun yang bertiup dari Asia ke Australia saat terjadi monsun barat, ataupun saat terjadi monsun timur yaitu angin bertiup dari Australia ke Asia. Pada saat musim peralihan, arah angin akan cenderung lebih beragam dengan frekuensi kejadian angin dari selatan maupun barat daya paling sedikit terjadi daripada arah angin lainnya. Karakteristik angin di wilayah pesisir utara Pulau Jawa ini dapat menjadi studi awal untuk mengembangkan ilmu kajian meteorologi terutama angin pada parameter lautan seperti pasang surut dan gelombang. Kajian lebih komprehensif dan lebih lanjut diperlukan sebagai upaya mitigasi bencana hidrometeorologi seperti kejadian gelombang pasang maupun banjir rob yang banyak terjadi di pesisir utara Pulau Jawa.

#### PERSANTUNAN

Penulis mengucapkan terima kasih kepada senior periset di Pusat Riset Teknologi Hidrodinamika, Dr.-Ing. Ir. Widjo Kongko, M.Eng. dan Khusnul Setia Wardani, S.T., M.Eng, PhD yang memberikan arahan, bimbingan, dan semangat untuk mengeksplorasi data terkait meteorologi dan oseanografi, sehingga dapat menyajikan data meteorologi

untuk studi awal riset tentang meteorologi di lingkungan pesisir.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, M. R., Sarli, P. W., Firmansyah, H. R., Sakti, A. D., Fajary, F. R., Muharsyah, R., & Sudarman, G. G. (2022). Extreme Wind Variability and Wind Map Development in Western Java, Indonesia. *International Journal of Disaster Risk Science*, 13(3), 465–480. <https://doi.org/10.1007/s13753-022-00420-7>
- Aldrian, E. (2008). *Meteorologi Laut Indonesia*. Badan Meteorologi dan Geofisika. <https://www.researchgate.net/publication/305809658>
- Alifdini, I., Shimada, T., & Wirasatriya, A. (2021). Seasonal Distribution and Variability of Surface Winds in the Indonesian Seas using Scatterometer and Reanalysis Data. *International Journal of Climatology*, 41(10), 4825–4843. <https://doi.org/10.1002/joc.7101>
- Anggraeni, S. K., Satriadi, A., & Dwi, A. A. (2016). Karakteristik Kecepatan dan Arah Dominan Arus Sejajar Pantai (Longshore Current) Di Pantai Larangan Kabupaten Tegal Jawa Tengah. *OSEANOGRAFI*, 5(3), 390–397.
- Anjos, M., & Lopes, A. (2019). Sea Breeze Front Identification on the Northeastern Coast of Brazil and Its Implications for Meteorological Conditions in the Sergipe Region. *Theoretical and Applied Climatology*, 137(3–4), 2151–2165. <https://doi.org/10.1007/s00704-018-2732-x>
- ConvertUnits.com. (2023). *Convert km/h to m/s - Conversion of Measurement Units*. <https://www.convertunits.com/from/km/h/to/m/s>.
- Dewi, A. R., Handini, S., Anggraeni, N. P., & Septiansyah, R. G. (2022). Analisis Data Kecepatan Angin di Pulau Jawa Menggunakan Distribusi Weibull. *Jurnal Statistika Dan Aplikasinya*, 6(1).
- Dida, H. P., Suparman, S., & Widhiyanuriawan, D. (2016). Pemetaan Potensi Energi Angin di Perairan Indonesia Berdasarkan Data Satelit QuikScat dan WindSat. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 7(2), 95–101.
- Ekosafitri, K. H., Rustiadi, E., & Yulianda, F. (2017). Pengembangan Wilayah Pesisir Pantai Utara Jawa Tengah Berdasarkan Infrastruktur Daerah: Studi Kasus Kabupaten Jepara Development of Central Java's Northern Coast Based on Local Infrastructure: Case Study of Jepara Regency. *Journal of Regional and Rural Development Planning Juni*, 1(2), 145–157.
- Erfanda, A., & Widagdo, S. (2020). Karakter Parameter Meteo-Oseanografi dan Pengaruhnya Terhadap Distribusi Salinitas Di Perairan Utara dan Selatan Jawa Timur. *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal Of Tropical Marine Research) (J-Tropimar)*, 2(1), 35. <https://doi.org/10.30649/jrkt.v2i1.35>
- Fadholi, A. (2013). Analisis Data Angin Permukaan di Bandara Pangkalpinang Menggunakan Metode Windrose. *Jurnal Geografi*. [http://id.wikipedia.org/wiki/Bandara\\_Depat](http://id.wikipedia.org/wiki/Bandara_Depat)
- Fitrianti, N., Haryanto, Y. D., Simamora, E. V. S., Bintari, H. F. A., Hartoko, A., Anggoro, S., & Zainuri, M. (2018). Analysis of Daily Wind Circulation toward Sea Level Rise in Semarang. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 162(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/162/1/012018>
- Guo, H., Xu, M., & Hu, Q. (2011). Changes in Near-Surface Wind Speed in China: 1969–2005. *International Journal of Climatology*, 31(3), 349–358. <https://doi.org/10.1002/joc.2091>
- Haryanto, Y. D., Riama, N. F., Purnama, D. R., Pradita, N., Ismah, S. F., Suryo, A. W., Fadli, M., Hananto, N. D., Li, S., & Susanto, R. D. (2021). Effect of Monsoon Phenomenon on Sea Surface Temperatures in Indonesian Throughflow Region and Southeast Indian Ocean. *Journal of Southwest Jiaotong University*, 56(6), 914–923. <https://doi.org/10.35741/issn.0258-2724.56.6.80>
- Hasan, H., Mohamad, A., & Salleh, N. H. M. (2017). Application of Markov Chain to Wind Speed in Northern Peninsular Malaysia. *Journal of Applied and Physical Sciences*, 3(2). <https://doi.org/10.20474/japs-3.2.2>
- Hoffman, E., Guernsey, J. R., Walker, T. R., Kim, J. S., Sherren, K., & Andreou, P. (2017). Pilot Study Investigating Ambient Air Toxics Emissions near a Canadian Kraft Pulp and Paper Facility in Pictou County, Nova Scotia. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(25), 20685–20698. <https://doi.org/10.1007/s11356-017-9719-5>
- Ipranta, Mawardi, S., Hanafi, M., & Christiana, I. (2021). Karakteristik Kawasan Pesisir Pantai Teluk Blanakan dan Teluk Ciasem, Kabupaten Subang, Propinsi Jawa Barat, Berdasarkan Citra Satelit (Landsat dan Sentinel). *Jurnal Geologi Kelautan*, 19(1). <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- Koagouw, J. E., Mamuaya, G. E., Tarumingkeng, A. A., & Angmalisang, P. A. (2013). Wind Speed Data Analysis for Predictions of Sea Waves in Bitung Coastal Waters Analisis Data Kecepatan Angin untuk Peramalan Gelombang Laut di Perairan Pantai Bitung. *Aquatic Science & Management, Edisi Khusus*, 1, 35–39. <http://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jasm/index>
- Kurniawan, R., Habibie, M. N., & Permana, D. S. (2012). Kajian Daerah Rawan Gelombang Tinggi di Perairan Indonesia. *Jurnal Meteorologi Dan Geofisika*, 13(3). <https://doi.org/10.31172/jmg.v13i3.135>
- Lubis, A., & Yosi, M. (2012). Kondisi Meteorologi Maritim dan Oseanografi di Perairan Sekitar Pulau Kotok, Kepulauan Seribu: April 2011. *Jurnal Ilmu Dan Teknologi Kelautan Tropis*, 4(1), 24. [http://www.itk.fpk.ipb.ac.id/ej\\_itkt41](http://www.itk.fpk.ipb.ac.id/ej_itkt41)
- Marelsa, N. F., & Oktaviandra, Y. (2019). Analisis Karakteristik Gelombang Laut Menggunakan Software Windwave-12 (Studi Kasus: Kepulauan Mentawai). *Oseana*, 44(2), 10–24.

- meteomanz.com. (2023). *Meteomanz.com*. [Http://Www.Meteomanz.Com/Index?L=1](http://www.Meteomanz.Com/Index?L=1).
- Pirazzoli, P. A., & Tomasin, A. (2003). Recent Near-Surface Wind Changes in the Central Mediterranean and Adriatic Areas. *International Journal of Climatology*, 23(8), 963–973. <https://doi.org/10.1002/joc.925>
- Pramono, A., Sutaryani, A., Qothrunada, D. T., & Satria, H. (2022, June). Analisis Kondisi Angin Wilayah Pesisir dengan Diagram Windrose di Kota Kendari Tahun 2021. *Seminar Nasional TREND (Technology of Renewable Energy and Development)*.
- Pryor, S. C., Barthelmie, R. J., Young, D. T., Takle, E. S., Arritt, R. W., Flory, D., Gutowski, W. J., Nunes, A., & Roads, J. (2009). Wind Speed Trends over the Contiguous United States. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 114(14). <https://doi.org/10.1029/2008JD011416>
- Purba, D. L. A., Saragih, I. J. A., & Sosaidi, D. S. (2021). Utilization of Weather-Radar Data to Observe the Sea Breeze Front (SBF) over the North Coast of Banten-Jakarta (Case Study in 2018). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 893(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/893/1/012055>
- Purwanto, Sugianto, D. N., Zainuri, M., Permatasari, G., Atmodjo, W., Rochaddi, B., Ismanto, A., Wetchayont, P., & Wirasatriya, A. (2021). Seasonal Variability of Waves Within the Indonesian Seas and Its Relation with the Monsoon Wind. *Ilmu Kelautan: Indonesian Journal of Marine Sciences*, 26(3), 189–196. <https://doi.org/10.14710/ik.ijms.26.3.189-196>
- Putri, A. (2018). *BMKG Semarang Imbau Warga di Pesisir Waspadai Badai Maria*. <https://Serat.Id/2018/07/06/Bmkg-Semarang-Imbau-Warga-Di-Pesisir-Waspadai-Badai-Maria703/>.
- Rifai, A., Rochaddi, B., Fadika, U., Marwoto, J., & Setiyono, H. (2020). Kajian Pengaruh Angin Musim Terhadap Sebaran Suhu Permukaan Laut (Studi Kasus : Perairan Pangandaran Jawa Barat). In *Indonesian Journal of Oceanography*. <http://ejournal2.undip.ac.id/index.php/ijoice/Diterima/>
- Saragih, R. W., & Siregar, P. S. (2021). Analisis Data Angin Permukaan di Bandara Syarif Kasim II Pekanbaru Menggunakan Metode Windrose. *Jurnal Widya Climago*, 3(2).
- Setyawan, W. B., & Pamungkas, A. (2017). Perbandingan Karakteristik Oseanografi Pesisir Utara dan Selatan Pulau Jawa: Pasang-Surut, Arus, dan Gelombang. *Prosiding Seminar Nasional Kelautan Dan Perikanan III 2017 Universitas Trunojoyo Madura*. <http://tides.big.go.id/>
- Simbolon, C. D. L., Ruhiat, Y., & Saefullah, A. (2022). Analisis Arah dan Kecepatan Angin Terhadap Sebaran Curah Hujan Di Wilayah Kabupaten Tangerang. *Jurnal Teori Dan Aplikasi Fisika*, 10(01).
- Tjasyono, B. H., Gernowo, R., & Woro H, S. B. (2008). The Character of Rainfall in the Indonesian Monsoon. *International Symposium of Equatorial Monsoon System*.
- Tuller, S. E. (2004). Measured Wind Speed Trends on the West Coast of Canada. *International Journal of Climatology*, 24(11), 1359–1374. <https://doi.org/10.1002/joc.1073>
- Wardhani, P. A., Widagdo, S., & Prasita, V. D. (2021). Pola Angin dan Kaitannya terhadap Karakteristik Tinggi Gelombang di Perairan Labuan Bajo, NTT. *Jurnal Riset Kelautan Tropis (Journal Of Tropical Marine Research) (J-Tropimar)*, 3(1), 37. <https://doi.org/10.30649/jrkt.v3i1.37>
- Winaktu, G., & Ingsih, S. I. (2022). Pola Angin Laut di Kawasan Pantai TPI Desa Bulurejo Kabupaten Lumajang dengan Metode Windrose. *Serambi Engineering*, VII(3).
- Yuniasih, B., Harahap, W. N., & Wardana, D. A. S. (2023). Anomali Iklim El Nino dan La Nina di Indonesia pada 2013-2022. *AGROISTA : Jurnal Agroteknologi*, 6(2), 136–143. <https://doi.org/10.55180/agi.v6i2.332>
- Zhou, J., Zhao, X., Wu, J., Huang, J., Qiu, D., Xue, D., Li, Q., Liu, C., Wei, W., Zhang, D., & Yang, X. (2021). Wind Speed Changes and Influencing Factors in Inland River Basin of Monsoon Marginal Zone. *Ecological Indicators*, 130. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.108089>