



## Profil Angin Udara atas di Bandara Kualanamu Berdasarkan Data Pengamatan Pilot Balloon (Pibal) Tahun 2014-2022

Immanuel Jhonson A. Saragih

Artikel ini telah dipresentasikan pada kegiatan Seminar Nasional Fisika (Sinafi 9.0)

Universitas Pendidikan Indonesia, Bandung, Indonesia

23 September 2023

### Abstract

The observation of upper air, scientifically referred to as aerology, constitutes a process aimed at vertically measuring meteorological parameters. The observation of upper air profiles is essential for comprehending the vertical movement of air masses within the atmosphere. One of the methods employed in wind observations across various atmospheric layers is through Pilot Balloon (Pibal) observations, whereby data on azimuth and elevation obtained through the use of a theodolite are converted into information regarding wind direction and speed. Currently, the utilization of Pibal data to support weather forecasting operations remains notably limited. For Bandara Kualanamu, a newly established airport, understanding upper air wind profiles becomes crucial in facilitating weather forecasting operations. This study was conducted to assess the vertical wind characteristics at Bandara Kualanamu based on Pibal observation data spanning the period from 2014 to 2022. The data processing for Pibal observations employed statistical methods and Hodograph analysis. The research findings reveal that the average wind speed at 18 UTC is higher compared to 06 UTC. There is a discernible trend of increasing wind speed with rising altitudes, with average wind speeds at altitudes ranging from 1000-3000 ft being approximately 6-7 kts, at 5000-7000 ft around 7-8 kts, and at altitudes above 10000 ft being at least 9 kts or higher. Monthly wind direction frequency distribution and Hodograph analysis indicate the presence of two alternating wind patterns, namely, northwesterly to northerly (NW-N) and east-southeastern (E-SE) winds. These patterns recur annually and are particularly pronounced at altitudes of 1000-3000 ft.

**Keywords:** Kualanamu Airport · Vertical wind · Hodograph

### PENDAHULUAN

Pengamatan cuaca dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yakni pengamatan udara permukaan (sinoptik) dan pengamatan udara atas (aerologi) (Republik Indonesia, 2012). Kedua jenis pengamatan ini memiliki tujuan dan metode yang berbeda. Pengamatan sinoptik dilakukan oleh pengamat untuk memantau parameter meteorologi di atmosfer yang dekat dengan permukaan bumi (Wirjohamidjojo & Swarinoto, 2013). Di sisi lain, pengamatan aerologi bertujuan untuk mengukur profil termo-dinamika dan kinematika secara vertikal untuk memahami parameter meteorologi di berbagai lapisan atmosfer (BMG, 2006). Pengamatan

✉ Immanuel Jhonson A. Saragih  
immanuel.saragih@bmg.go.id

BMKG – Stasiun Meteorologi Kualanamu, Deli Serdang – Sumatera Utara

**How to Cite:** Saragih, I. J. A., (2023). Profil Angin Udara Atas di Bandara Kualanamu Berdasarkan Data Pengamatan *Pilot Balloon* (Pibal) Tahun 2014-2022. *Prosiding Seminar Nasional Fisika*, 2(1), 272-289. <http://proceedings.upi.edu/index.php/sinafi>

aerologi mencakup metode seperti *Pilot Balloon* (Pibal), *radiosonde* (rason), *radiowind* (rawin), dan *rawinsonde* (gabungan radiosonde dan rawin).

Pengamatan Rawinsonde melibatkan pengukuran profil termo-dinamika dan kinematika secara vertikal serta pengamatan arah dan kecepatan angin di lapisan udara atas. Sebaliknya, pengamatan Rawin dilakukan dengan mengikuti perangkat radar, responder, atau *transmitter radiosonde* yang terpasang pada balon untuk menentukan kecepatan dan arah angin di lapisan udara atas. Pengamatan Pibal, di sisi lain, adalah metode yang melibatkan pengukuran arah dan kecepatan angin di lapisan atas dengan memanfaatkan sudut elevasi dan azimuth yang diukur menggunakan alat optik yang disebut *theodolite* pada saat balon Pibal diikuti (BMG, 2006).

Wilayah Benua Maritim Indonesia (BMI) memiliki dinamika atmosfer yang cepat dan fluktuatif, yang memperkuat pentingnya pengamatan profil udara atas untuk memantau perubahan kondisi cuaca di berbagai lapisan atmosfer (Saragih dkk., 2017; Silitonga dkk., 2017; Tjasyono, 2006; Tjasyono & Harijono, 2014). Kendala biaya dan peralatan yang terkait dengan pengamatan aerologi menyebabkan kurangnya data yang tersedia, baik dari segi spasial maupun temporal. Hal ini juga mengakibatkan rendahnya minat untuk memanfaatkan data aerologi dalam mendukung operasional peramalan cuaca.

Bandara Kualanamu (IATA: KNO, ICAO: WIMM) telah berfungsi sebagai pangkalan transit internasional sejak 25 Juli 2013 untuk Kawasan Sumatera dan sekitarnya (PT Angkasa Pura II, 2020). Tingginya aktivitas penerbangan di Bandara Kualanamu menuntut ketersediaan data cuaca yang akurat guna memastikan keselamatan dan kelancaran penerbangan. Untuk itu, pemahaman tentang karakteristik dan dinamika atmosfer menjadi kunci dalam memahami gerakan vertikal massa udara di atmosfer (Rinaldy dkk., 2017; Winarso, 2009; Zakir dkk., 2010). Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) adalah lembaga pemerintah yang bertanggung jawab atas layanan informasi MKG (Republik Indonesia, 2009), termasuk data udara atas. BMKG telah menugaskan Stasiun Meteorologi Kualanamu sebagai Unit Pelaksana Teknis (UPT) pengamatan aerologi di Bandara Kualanamu.

Stasiun Meteorologi Kualanamu melakukan dua jenis pengamatan aerologi, yaitu pengamatan Pibal yang dilakukan pada jam 06 dan 18 UTC, serta pengamatan Rason yang dilakukan pada jam 00 dan 12 UTC (BMG, 2004, 2006; BMKG, 2014). Pengamatan Pibal dan Rason memiliki perbedaan signifikan. Pengamatan Pibal dilakukan secara manual dengan menggunakan *theodolite* untuk mengukur arah dan kecepatan angin di berbagai lapisan atmosfer. Sementara itu, pengamatan Rason dilakukan secara otomatis dengan menggunakan perangkat *radiosonde*, meliputi *transmitter* dan *receiver*, untuk mengukur parameter meteorologi yang lebih kompleks, seperti suhu udara, kelembapan udara, tekanan udara, arah, dan kecepatan angin di lapisan udara atas (BMG, 2006).



**Gambar 1.** Dokumentasi kegiatan pengamatan udara atas di Sta. Met. Kualanamu: Pengamatan Rason (a) dan Pibal (b)

Pengamatan Pibal adalah metode yang melibatkan balon udara dan theodolite untuk mengukur arah dan kecepatan angin di berbagai lapisan atmosfer (BMG, 2006). Balon

dilepaskan pada waktu yang telah ditentukan kemudian diikuti (diteropong) menggunakan theodolite. Pengukuran pertama dilakukan satu setengah menit setelah pelepasan balon. Kemudian, setiap satu menit, pengukuran ulang dilakukan hingga posisi balon tidak dapat diamati lagi. Seluruh data azimuth dan elevasi dicatat dalam formulir pengamatan Pibal, yaitu Form ME 6.

Hingga saat ini, pengolahan data Pibal minim dilakukan karena keterbatasan parameter cuaca yang diamati, terutama ketinggian atmosfer. Data hasil pengamatan umumnya hanya dikirimkan melalui CMSS dan tidak diolah lebih lanjut untuk mendukung operasional UPT yang bersangkutan. Tidak memanfaatkan data pengamatan udara atas, khususnya pengamatan Pibal, merupakan tantangan yang perlu diatasi. Khususnya untuk Bandara Kualanamu yang baru beroperasi, pemahaman tentang angin di lapisan atas sangat penting untuk operasional peramalan cuaca. Penelitian ini dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik angin di berbagai lapisan atmosfer di Bandara Kualanamu berdasarkan pengamatan Pibal selama periode tahun 2014-2022. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk memahami arah dan kecepatan angin di berbagai lapisan udara, yang sangat diperlukan dalam operasional peramalan cuaca di Bandara Kualanamu.

## METODOLOGI PENELITIAN

### Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini menggunakan data pengamatan Pibal yang telah dikumpulkan di Bandara Kualanamu selama periode 1 Januari 2014 hingga 31 Desember 2022. Data pengamatan Pibal ini diperoleh melalui Unit Aerologi Sta. Met. Kualanamu, dengan detail sebagai berikut:

**Tabel 1.** Rincian pengamatan Pibal di Stasiun Meteorologi Kualanamu

Aspek	Deskripsi
Lokasi pengamatan	: Gedung Aerologi Sta. Met. Kualanamu (3°35'43"LU, 98°51'43"BT – 9 mdpl)
Waktu pengamatan	: jam 06.00 dan 18.00 UTC
Balon Pibal	: warna merah, ukuran 20 gr

Dalam penelitian ini, data Pibal telah diolah secara statistik dengan tujuan menghitung nilai rata-rata (mean) dan juga untuk menentukan nilai modus, sesuai dengan Hartati (2017). Data arah angin, yang diukur dalam derajat (°) setelah diperoleh dari pengamatan Pibal, telah dikonversi menjadi delapan sektor arah angin sesuai dengan ketentuan yang tertera dalam Tabel 2. Selanjutnya, frekuensi munculnya setiap arah angin telah dihitung dalam persentase dan direpresentasikan dalam bentuk grafik distribusi arah angin pada berbagai ketinggian. Selain itu, perhitungan juga dilakukan untuk mendapatkan nilai rata-rata, maksimum, serta nilai modus dari kecepatan angin pada setiap tingkat ketinggian. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai mean:

$$\bar{x} = \frac{f_1 \cdot x_1 + f_2 \cdot x_2 + \dots + f_n \cdot x_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (1)$$

dimana  $\bar{x}$  adalah nilai rata-rata,  $x_n$  adalah kategori data tertentu, dan  $f_n$  adalah frekuensi data  $x_n$ .

Tabel 2. Ketentuan konversi arah angin dalam derajat (°) menjadi delapan mata angin

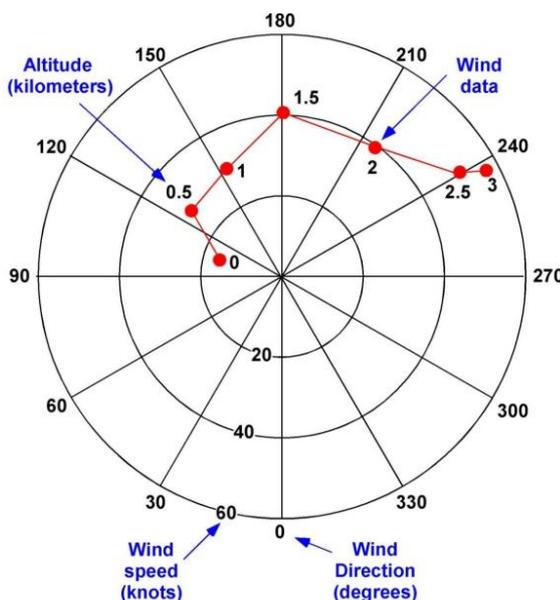
Mata Angin	Rentang Derajat (°)	
Utara (N)	360°	338° - 22°
Timur Laut (NE)	45°	23° - 67°
Timur (E)	90°	68° - 112°
Tenggara (SE)	135°	113° - 157°
Selatan (S)	180°	158° - 202°
Barat Daya (SW)	225°	203° - 247°
Barat (W)	270°	248° - 292°
Barat Laut (NW)	315°	293° - 337°

Hodograph adalah representasi grafis yang menghubungkan ujung-ujung vektor angin pada dua ketinggian yang berbeda dalam atmosfer (The COMET Program, 2016). Hodograph digunakan untuk menggambarkan variasi vertikal dari perbedaan kecepatan dan arah angin pada berbagai tingkat ketinggian dalam atmosfer. Gambar 2 menunjukkan bagaimana bentuk Hodograph yang umum digunakan dalam pengolahan data udara atas. Setiap titik pada Hodograph mewakili arah dan kecepatan angin yang terukur pada ketinggian tertentu. Analisis Hodograph dilakukan dengan tujuan untuk memahami bagaimana komponen vektor angin berubah seiring dengan perubahan ketinggian, dengan mengamati sejauh mana perubahan orientasi dan arah pergerakan angin terjadi. Konversi arah dan kecepatan angin menjadi vektor dalam Hodograph dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$x = \text{kecepatan angin} * \text{COS}(\text{arah angin}) \tag{2}$$

$$y = \text{kecepatan angin} * \text{SIN}(\text{arah angin}) \tag{3}$$

Dalam penelitian ini, Hodograph dibuat dengan cara merepresentasikan kecepatan angin sebagai panjang jari-jari dan arah angin sebagai sudut (Gambar 2). Untuk mencapai hal ini, data mengenai arah angin telah dikonversi menjadi koordinat x dan y dengan menggunakan persamaan 2 dan 3. Selain itu, perlu dicatat bahwa titik tengah Hodograph diidentifikasi dengan kecepatan angin sebesar 0 kt dan arah angin sebesar 0 derajat.



Gambar 2. Ilustrasi dan penjelasan komponen Hodograph (The COMET Program, 2016)

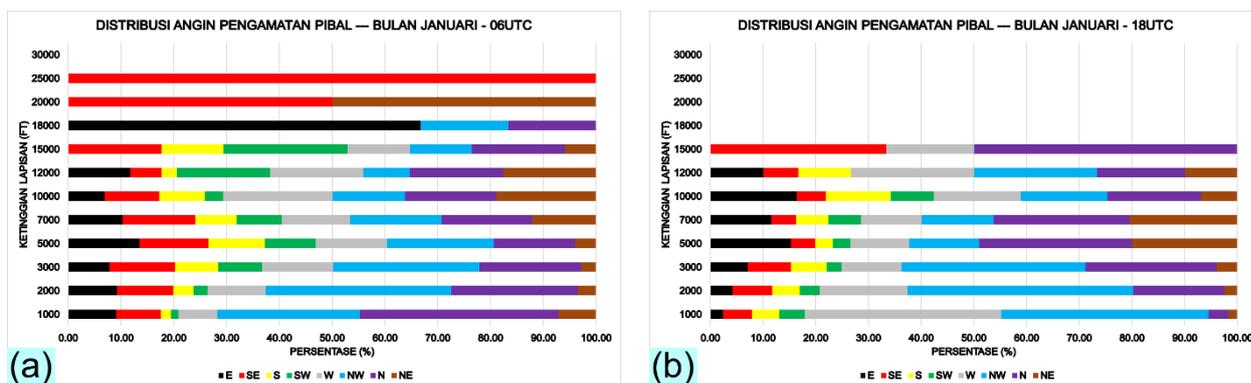
## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Profil Bulanan Angin Udara Atas

Data arah angin dalam setiap lapisan telah dikelompokkan menjadi delapan sektor arah angin yang berbeda. Frekuensi relatif dari setiap sektor arah angin tersebut kemudian direpresentasikan dalam grafik untuk mengidentifikasi arah angin yang paling dominan. Selanjutnya, data kecepatan angin pada setiap lapisan diolah untuk menghitung nilai rata-rata, maksimum, dan modus guna mengevaluasi variasi kecepatan angin pada setiap ketinggian yang diamati.

#### Bulan Januari

Berdasarkan data Pibal yang diambil pada bulan Januari pukul 06UTC (Gambar 3.a), ditemukan bahwa arah angin dominan adalah dari barat laut hingga utara (NW-N). Pada ketinggian 1000 ft, kecepatan angin rata-rata adalah 6 kt, dengan kecepatan maksimum mencapai 25 kt dan nilai modus sebesar 2 kt. Di ketinggian 2000 ft, arah angin dominan adalah dari barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai 24 kt sebagai kecepatan maksimum, dan modus sebesar 2 kt. Pada ketinggian 3000 ft, arah angin dominan tetap dari barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai 19 kt sebagai kecepatan maksimum, dan modus 2 kt. Sementara di ketinggian 5000 ft, arah angin dominan juga dari barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, kecepatan maksimum mencapai 25 kt, dan modus 5 kt. Pada ketinggian 7000 ft, arah angin dominan adalah dari barat laut hingga utara (NW-N) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, kecepatan maksimum mencapai 25 kt, dan modus 7 kt. Di ketinggian 10000 ft, arah angin dominan berasal dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 9 kt, mencapai 41 kt sebagai kecepatan maksimum, dan modus 7 kt.



**Gambar 3.** Grafik distribusi arah angin per-lapisan bulan Januari: Pengamatan jam 06UTC (a) dan 18UTC (b)

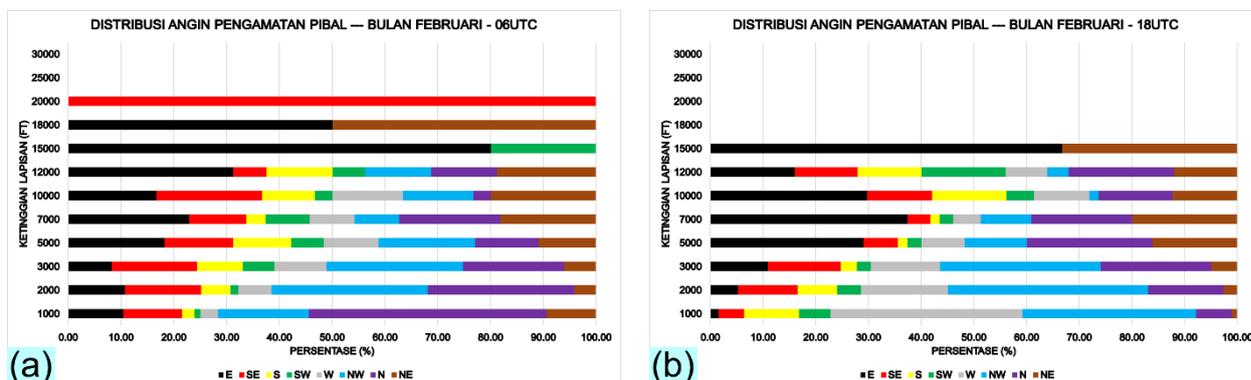
Pada pengamatan jam 18UTC (Gambar 3.b), terlihat bahwa arah angin dominan juga bertiup dari barat laut hingga utara (NW-N). Di ketinggian 1000 ft, angin dominan bertiup dari barat hingga barat laut (W-NW) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai kecepatan maksimum 31 kt, dan modus 8 kt. Di ketinggian 2000 ft, arah angin dominan adalah dari timur laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 23 kt, dan modus 10 kt. Di ketinggian 3000 ft, angin dominan bertiup dari timur laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 25 kt, dan modus 6 kt. Pada ketinggian 5000 ft, arah angin dominan adalah dari utara (N) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 43 kt, dan modus 5

kt. Pada ketinggian 7000 ft, angin dominan bertiup dari utara (N) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 35 kt, dan modus 5 kt. Sementara di ketinggian 10000 ft, arah angin bervariasi dari timur hingga barat laut hingga utara (E, W, NW, N) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 25 kt, dan modus 3 kt.

*Bulan Februari*

Berdasarkan data Pibal pada bulan Februari pukul 06UTC (Gambar 4.a), arah angin dominan adalah dari barat laut hingga utara (NW-N). Pada ketinggian 1000 ft, kecepatan angin rata-rata adalah 7 kt, dengan kecepatan maksimum mencapai 33 kt, dan modus 4 kt. Di ketinggian 2000 ft, arah angin dominan adalah dari barat laut hingga utara (NW-N) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 23 kt, dan modus 2 kt. Pada ketinggian 3000 ft, arah angin dominan adalah dari barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 39 kt, dan modus 3 kt. Di ketinggian 5000 ft, arah angin dominan juga dari barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, kecepatan maksimum mencapai 23 kt, dan modus 3 kt. Pada ketinggian 7000 ft, arah angin bervariasi dari utara hingga timur laut hingga timur (N, NE, E) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 21 kt, dan modus 5 kt. Di ketinggian 10000 ft, arah angin bervariasi dari timur laut hingga timur hingga tenggara (NE, E, SE) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 20 kt, dan modus 6 kt.

Sementara itu, pada pengamatan jam 18UTC (Gambar 4.b), arah angin cenderung bervariasi. Pada ketinggian 1000 ft, arah angin dominan adalah dari barat hingga barat laut (W-NW) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 25 kt, dan modus 5 kt. Di ketinggian 2000 ft, arah angin dominan adalah dari barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 36 kt, dan modus 6 kt. Pada ketinggian 3000 ft, arah angin dominan adalah dari barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 23 kt, dan modus 4 kt. Di ketinggian 5000 ft, arah angin dominan adalah dari utara (N) dan timur (E) dengan kecepatan rata-rata 9 kt, mencapai maksimum 30 kt, dan modus 6 kt. Pada ketinggian 7000 ft, arah angin dominan adalah dari timur (E) dengan kecepatan rata-rata 9 kt, mencapai maksimum 23 kt, dan modus 7 kt. Di ketinggian 10000 ft, arah angin dominan adalah dari timur (E) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 24 kt, dan modus 3 kt.

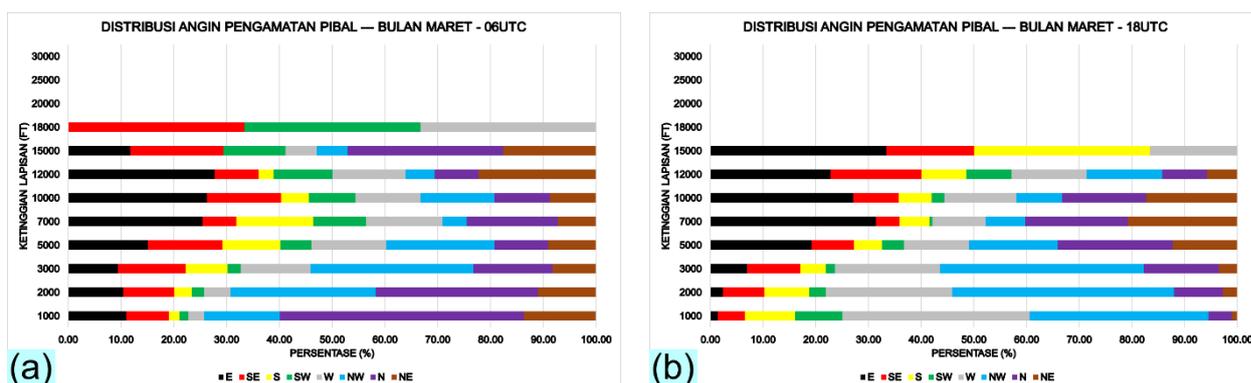


**Gambar 4.** Grafik distribusi arah angin per-lapisan bulan Februari: Pengamatan jam 06UTC (a) dan 18UTC (b)

*Bulan Maret*

Berdasarkan data Pibal yang dikumpulkan pada bulan Maret pukul 06UTC (Gambar 5.a), terlihat bahwa arah angin bervariasi. Pada ketinggian 1000 ft, kecepatan angin rata-rata adalah

7 kt, dengan kecepatan maksimum mencapai 30 kt, dan modus 3 kt. Di ketinggian 2000 ft, arah angin dominan adalah dari utara (N) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 27 kt, dan modus 5 kt. Pada ketinggian 3000 ft, arah angin dominan adalah dari barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 24 kt, dan modus 2 kt. Di ketinggian 5000 ft, arah angin dominan juga dari barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, kecepatan maksimum mencapai 35 kt, dan modus 5 kt. Pada ketinggian 7000 ft, arah angin dominan adalah dari timur (E) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 27 kt, dan modus 5 kt. Di ketinggian 10000 ft, arah angin dominan adalah dari timur (E) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 19 kt, dan modus 5 kt.



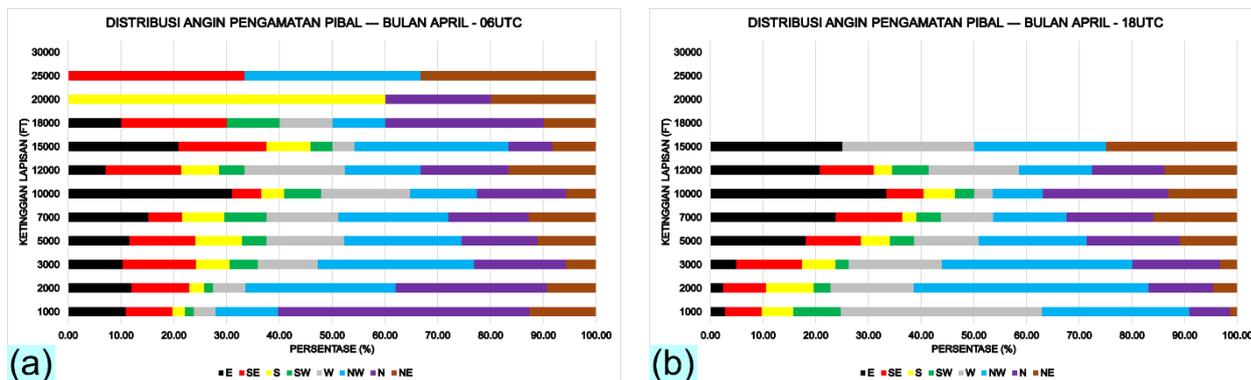
**Gambar 5.** Grafik distribusi arah angin per-lapisan bulan Maret: Pengamatan jam 06UTC (a) dan 18UTC (b)

Sementara itu, pada pengamatan jam 18UTC (Gambar 5.b), arah angin juga bervariasi. Pada ketinggian 1000 ft, arah angin dominan adalah dari barat hingga barat laut (W-NW) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 22 kt, dan modus 6 kt. Di ketinggian 2000 ft, arah angin dominan adalah dari arah barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 20 kt, dan modus 6 kt. Pada ketinggian 3000 ft, arah angin dominan adalah dari barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 23 kt, dan modus 5 kt. Di ketinggian 5000 ft, arah angin dominan adalah dari utara (N) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 28 kt, dan modus 5 kt. Pada ketinggian 7000 ft, arah angin dominan adalah dari timur (E) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 25 kt, dan modus 4 kt. Di ketinggian 10000 ft, arah angin dominan adalah dari timur (E) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 25 kt, dan modus 6 kt.

#### Bulan April

Berdasarkan data Pibal yang dikumpulkan pada bulan April pukul 06UTC (Gambar 6.a), arah angin dominan adalah dari timur laut hingga utara (NW-N). Di ketinggian 1000 ft, kecepatan angin rata-rata adalah 6 kt, dengan kecepatan maksimum mencapai 16 kt, dan modus 4 kt. Pada ketinggian 2000 ft, arah angin dominan adalah dari barat laut hingga utara (NW-N) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 24 kt, dan modus 2 kt. Di ketinggian 3000 ft, arah angin dominan adalah dari barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 5 kt, mencapai maksimum 17 kt, dan modus 2 kt. Pada ketinggian 5000 ft, arah angin dominan adalah dari barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 35 kt, dan modus 2 kt. Di ketinggian 7000 ft, arah angin dominan adalah dari barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 28 kt, dan modus 3 kt. Pada ketinggian 10000 ft, arah angin

dominan adalah dari timur (E) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 27 kt, dan modus 7 kt.

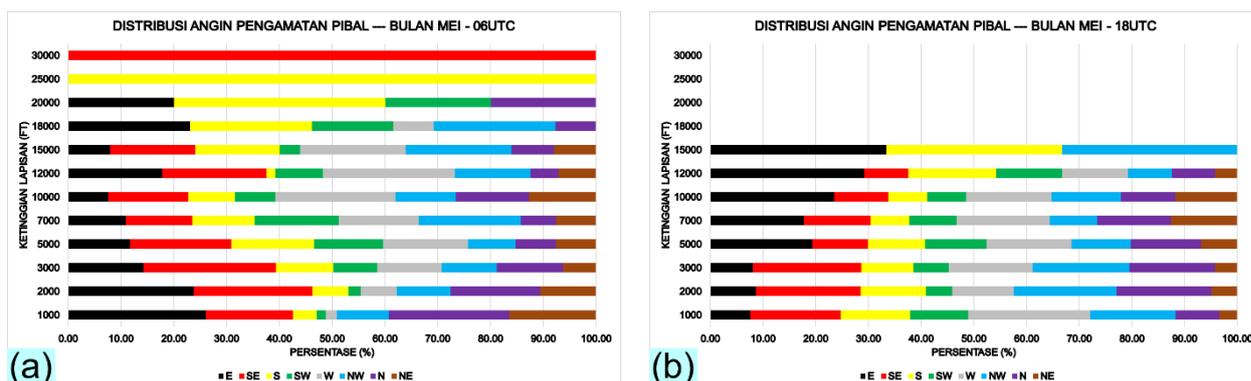


**Gambar 6.** Grafik distribusi arah angin per-lapisan bulan April: Pengamatan jam 06UTC (a) dan 18UTC (b)

Sementara itu, pada pengamatan jam 18UTC (Gambar 6.b), arah angin dominan bertiup dari barat hingga barat laut (W-NW). Di ketinggian 1000 ft, arah angin dominan adalah dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 25 kt, dan modus 6 kt. Pada ketinggian 2000 ft, arah angin dominan adalah dari arah barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 25 kt, dan modus 4 kt. Di ketinggian 3000 ft, arah angin dominan adalah dari barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 20 kt, dan modus 2 kt. Pada ketinggian 5000 ft, arah angin dominan bertiup dari barat laut hingga utara (NW-N) dan timur (E) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 24 kt, dan modus 4 kt. Di ketinggian 7000 ft, arah angin dominan adalah dari timur (E) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 29 kt, dan modus 5 kt. Pada ketinggian 10000 ft, arah angin dominan adalah dari timur (E) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 20 kt, dan modus 2 kt.

*Bulan Mei*

Berdasarkan data Pibal yang dikumpulkan pada bulan Mei pukul 06UTC (Gambar 7.a), arah angin dominan bertiup dari timur-tenggara (E-SE). Pada ketinggian 1000 ft, kecepatan angin rata-rata adalah 5 kt, dengan kecepatan maksimum mencapai 16 kt, dan modus 4 kt. Di ketinggian 2000 ft, arah angin dominan adalah dari timur-tenggara (E-SE) dengan kecepatan rata-rata 5 kt, mencapai maksimum 24 kt, dan modus 2 kt. Pada ketinggian 3000 ft, arah angin dominan adalah dari tenggara (SE) dengan kecepatan rata-rata 5 kt, mencapai maksimum 18 kt, dan modus 5 kt. Di ketinggian 5000 ft, arah angin bervariasi dari tenggara hingga selatan hingga barat daya hingga barat (SE, S, SW, W) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 26 kt, dan modus 4 kt. Di ketinggian 7000 ft, arah angin bervariasi dari barat daya hingga barat hingga barat laut (SW, W, NW) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 26 kt, dan modus 7 kt. Pada ketinggian 10000 ft, arah angin dominan bertiup dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 17 kt, dan modus 2 kt.



**Gambar 7.** Grafik distribusi arah angin per-lapisan bulan Mei: Pengamatan jam 06UTC (a) dan 18UTC (b)

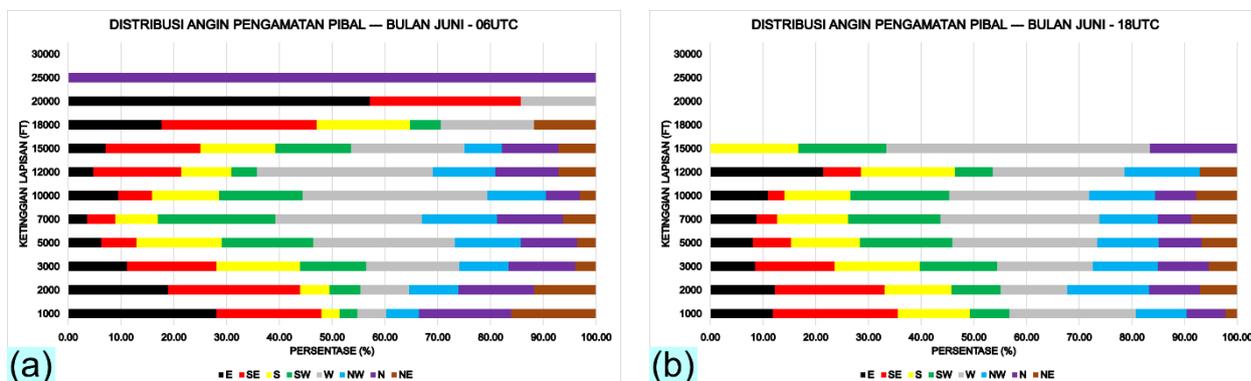
Sementara itu, pada pengamatan jam 18UTC (Gambar 7.b), arah angin cenderung bervariasi. Di ketinggian 1000 ft, arah angin dominan adalah dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 22 kt, dan modulus 7 kt. Di ketinggian 2000 ft, arah angin bervariasi dari tenggara hingga barat laut hingga utara (SE, NW, N) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 21 kt, dan modulus 5 kt. Di ketinggian 3000 ft, arah angin dominan adalah dari tenggara (SE) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 25 kt, dan modulus 2 kt. Di ketinggian 5000 ft, arah angin dominan adalah dari timur (E) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 24 kt, dan modulus 5 kt. Di ketinggian 7000 ft, arah angin dominan bertiup dari timur (E) dan barat (W) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 22 kt, dan modulus 5 kt. Pada ketinggian 10000 ft, arah angin dominan bertiup dari timur (E) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 30 kt, dan modulus 6 kt.

#### Bulan Juni

Berdasarkan data Pibal yang dikumpulkan pada bulan Juni pukul 06UTC (Gambar 8.a), arah angin cenderung bervariasi. Pada ketinggian 1000 ft, kecepatan rata-rata adalah 5 kt, dengan maksimum mencapai 16 kt, dan modulus 2 kt. Di ketinggian 2000 ft, arah angin dominan adalah dari tenggara (SE) dengan kecepatan rata-rata 5 kt, mencapai maksimum 20 kt, dan modulus 2 kt. Pada ketinggian 3000 ft, arah angin bervariasi dari tenggara hingga selatan hingga barat (SE, S, W) dengan kecepatan rata-rata 5 kt, mencapai maksimum 19 kt, dan modulus 2 kt. Di ketinggian 5000 ft, arah angin dominan adalah dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 33 kt, dan modulus 2 kt. Di ketinggian 7000 ft, arah angin dominan adalah dari barat daya hingga barat (SW-W) dengan kecepatan rata-rata 9 kt, mencapai maksimum 30 kt, dan modulus 4 kt. Pada ketinggian 10000 ft, arah angin dominan adalah dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 10 kt, mencapai maksimum 33 kt, dan modulus 8 kt.

Sementara itu, pada pengamatan jam 18UTC (Gambar 8.b), angin dominan bertiup dari barat (W). Pada ketinggian 1000 ft, arah angin dominan adalah dari barat (W) dan tenggara (SE) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 24 kt, dan modulus 3 kt. Di ketinggian 2000 ft, arah angin dominan adalah dari tenggara (SE) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 24 kt, dan modulus 2 kt. Pada ketinggian 3000 ft, arah angin bervariasi dari tenggara hingga selatan hingga barat daya hingga barat (SE, S, SW, W) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 27 kt, dan modulus 5 kt. Di ketinggian 5000 ft, arah angin dominan adalah dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 29 kt, dan modulus 2 kt. Di ketinggian 7000 ft, arah angin dominan adalah dari barat (W) dengan kecepatan

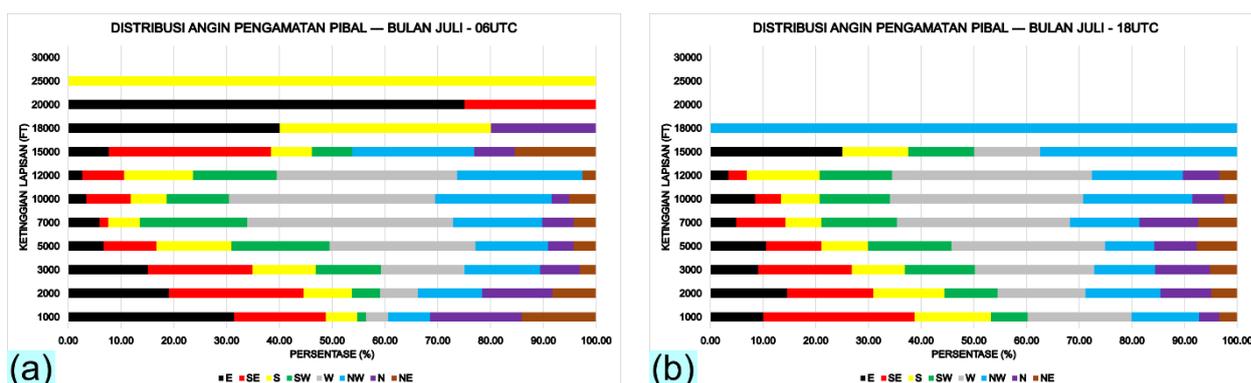
rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 26 kt, dan modulus 6 kt. Pada ketinggian 10000 ft, angin dominan bertiup dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 9 kt, mencapai maksimum 24 kt, dan modulus 5 kt.



Gambar 8. Grafik distribusi arah angin per-lapisan bulan Juni: Pengamatan jam 06UTC (a) dan 18UTC (b)

Bulan Juli

Berdasarkan data Pibal yang dikumpulkan pada bulan Juli pukul 06UTC (Gambar 9.a), terlihat bahwa angin dominan bertiup dari dua arah, yaitu tenggara (SE) dan barat (W). Pada ketinggian 1000 ft, kecepatan rata-rata adalah 5 kt, dengan maksimum mencapai 24 kt, dan modulus 4 kt. Di ketinggian 2000 ft, arah angin dominan adalah dari tenggara (SE) dengan kecepatan rata-rata 5 kt, mencapai maksimum 23 kt, dan modulus 2 kt. Pada ketinggian 3000 ft, angin dominan adalah dari tenggara (SE) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 34 kt, dan modulus 2 kt. Di ketinggian 5000 ft, arah angin dominan adalah dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 35 kt, dan modulus 5 kt. Pada ketinggian 7000 ft, arah angin dominan adalah dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 10 kt, mencapai maksimum 31 kt, dan modulus 3 kt. Di ketinggian 10000 ft, arah angin dominan adalah dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 12 kt, mencapai maksimum 27 kt, dan modulus 10 kt.



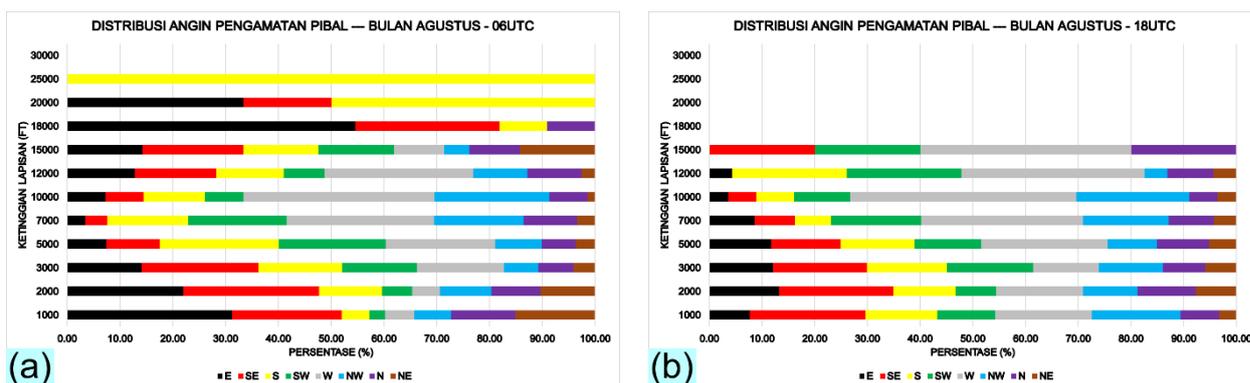
Gambar 9. Grafik distribusi arah angin per-lapisan bulan Juli: Pengamatan jam 06UTC (a) dan 18UTC (b)

Sementara itu, pada pengamatan jam 18UTC (Gambar 9.b), angin dominan bertiup dari barat (W). Pada ketinggian 1000 ft, arah angin dominan adalah dari tenggara (SE) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 23 kt, dan modulus 5 kt. Di ketinggian 2000 ft, arah angin bervariasi dari timur hingga tenggara hingga barat hingga barat laut (E, SE, W, NW) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 24 kt, dan modulus 2 kt. Pada ketinggian 3000 ft, angin dominan adalah dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 7 kt,

mencapai maksimum 39 kt, dan modus 2 kt. Di ketinggian 5000 ft, arah angin dominan adalah dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 45 kt, dan modus 4 kt. Pada ketinggian 7000 ft, angin dominan adalah dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 9 kt, mencapai maksimum 32 kt, dan modus 5 kt. Di ketinggian 10000 ft, arah angin dominan adalah dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 11 kt, mencapai maksimum 31 kt, dan modus 4 kt.

*Bulan Agustus*

Berdasarkan data pengamatan Pibal pada bulan Agustus pukul 06UTC (Gambar 10.a), angin dominan bertiup dari dua arah berbeda, yaitu timur (E) dan barat (W). Di ketinggian 1000 ft, kecepatan rata-rata adalah 5 kt, dengan maksimum mencapai 18 kt, dan modus 3 kt. Pada ketinggian 2000 ft, angin dominan juga dari timur (E) dengan kecepatan rata-rata 5 kt, mencapai maksimum 18 kt, dan modus 2 kt. Di ketinggian 3000 ft, arah angin dominan tetap dari timur (E) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 20 kt, dan modus 4 kt. Di ketinggian 5000 ft, arah angin bervariasi dari selatan hingga barat daya hingga barat (S, SW, W) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 30 kt, dan modus 4 kt. Di ketinggian 7000 ft, angin dominan dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 27 kt, dan modus 4 kt. Di ketinggian 10000 ft, arah angin dominan juga dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 10 kt, mencapai maksimum 34 kt, dan modus 9 kt.



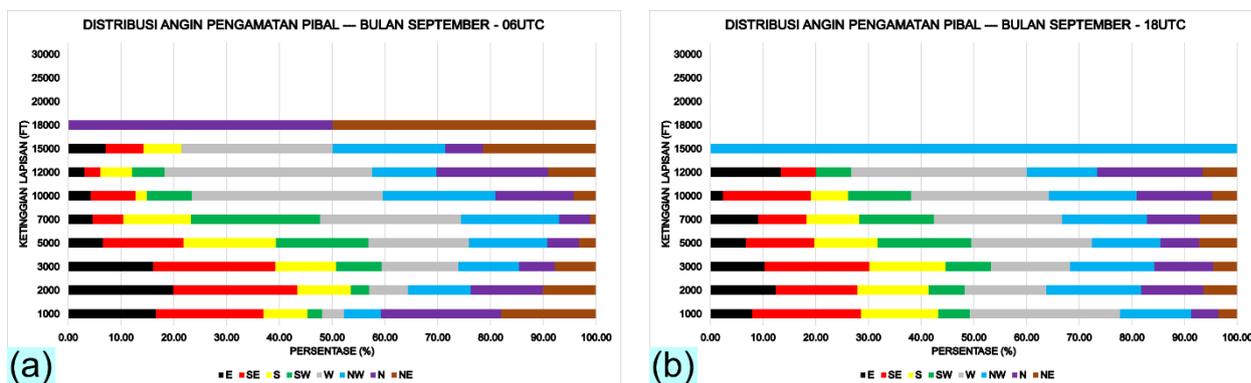
**Gambar 10.** Grafik distribusi arah angin per-lapisan bulan Agustus: Pengamatan jam 06UTC (a) dan 18UTC (b)

Sementara itu, pada pengamatan jam 18UTC (Gambar 10.b), terlihat bahwa arah angin cenderung bervariasi. Di ketinggian 1000 ft, angin dominan bertiup dari tenggara (SE) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 28 kt, dan modus 4 kt. Di ketinggian 2000 ft, angin dominan juga dari tenggara (SE) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 27 kt, dan modus 2 kt. Di ketinggian 3000 ft, arah angin berubah-ubah dari tenggara hingga selatan hingga barat daya (SE, S, SW) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 42 kt, dan modus 5 kt. Di ketinggian 5000 ft, angin dominan dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 32 kt, dan modus 4 kt. Di ketinggian 7000 ft, angin dominan juga dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 25 kt, dan modus 6 kt. Di ketinggian 10000 ft, arah angin dominan tetap dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 9 kt, mencapai maksimum 21 kt, dan modus 9 kt.

*Bulan September*

Berdasarkan data pengamatan Pibal pada bulan September pukul 06UTC (Gambar 11.a), angin dominan bertiup dari dua arah yang berbeda, yaitu tenggara (SE) dan barat (W). Di ketinggian

1000 ft, kecepatan rata-rata adalah 5 kt, dengan maksimum mencapai 24 kt, dan modus 2 kt. Pada ketinggian 2000 ft, angin dominan juga dari tenggara (SE) dengan kecepatan rata-rata 5 kt, mencapai maksimum 22 kt, dan modus 2 kt. Di ketinggian 3000 ft, arah angin dominan tetap dari tenggara (SE) dengan kecepatan rata-rata 5 kt, mencapai maksimum 17 kt, dan modus 3 kt. Di ketinggian 5000 ft, arah angin berubah-ubah antara tenggara, selatan, barat daya, barat, hingga barat laut (SE, S, SW, W, NW) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 37 kt, dan modus 3 kt. Di ketinggian 7000 ft, angin dominan dari barat daya hingga barat (SW-W) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 33 kt, dan modus 6 kt. Di ketinggian 10000 ft, arah angin dominan juga dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 10 kt, mencapai maksimum 25 kt, dan modus 3 kt.



**Gambar 11.** Grafik distribusi arah angin per-lapisan bulan September: Pengamatan jam 06UTC (a) dan 18UTC (b)

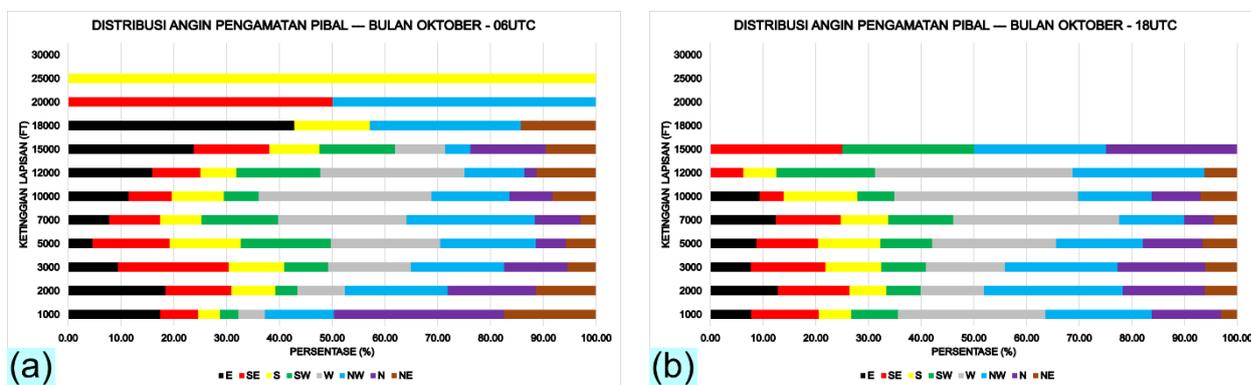
Sementara itu, pada pengamatan jam 18UTC (Gambar 11.b), terlihat bahwa arah angin dominan bertiup dari tenggara (SE) dan barat (W). Di ketinggian 1000 ft, angin dominan dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 22 kt, dan modus 8 kt. Pada ketinggian 2000 ft, arah angin bervariasi antara tenggara, selatan, barat, hingga barat laut (SE, S, W, NW) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 37 kt, dan modus 2 kt. Di ketinggian 3000 ft, angin dominan dari tenggara (SE) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 31 kt, dan modus 4 kt. Di ketinggian 5000 ft, angin dominan dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 35 kt, dan modus 6 kt. Di ketinggian 7000 ft, angin dominan dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 9 kt, mencapai maksimum 31 kt, dan modus 4 kt. Di ketinggian 10000 ft, arah angin dominan juga dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 11 kt, mencapai maksimum 29 kt, dan modus 4 kt.

#### Bulan Oktober

Berdasarkan data pengamatan Pibal pada bulan Oktober pukul 06UTC (Gambar 12.a), arah angin cenderung bervariasi. Di ketinggian 1000 ft, angin dominan bertiup dari utara (N) dengan kecepatan rata-rata 5 kt, mencapai maksimum 15 kt, dan modus 2 kt. Pada ketinggian 2000 ft, arah angin bervariasi antara barat laut, utara, hingga timur (NW, N, E) dengan kecepatan rata-rata 5 kt, mencapai maksimum 17 kt, dan modus 2 kt. Di ketinggian 3000 ft, angin dominan bertiup dari tenggara (SE) dan barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 5 kt, mencapai maksimum 17 kt, dan modus 2 kt. Di ketinggian 5000 ft, arah angin berubah-ubah antara tenggara, selatan, barat daya, barat, hingga barat laut (SE, S, SW, W, NW) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 27 kt, dan modus 5 kt. Di ketinggian 7000 ft, angin dominan

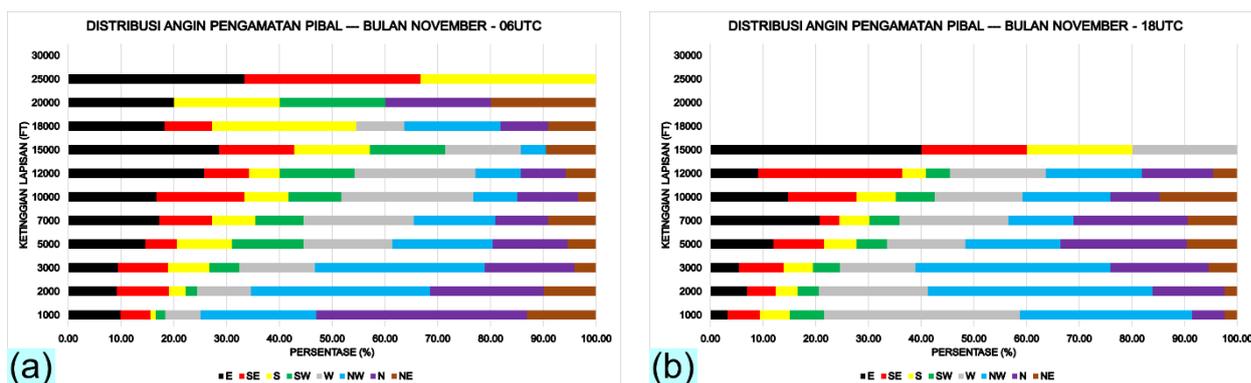
bertiup dari barat hingga barat laut (W-NW) dengan kecepatan rata-rata 9 kt, mencapai maksimum 25 kt, dan modus 7 kt. Di ketinggian 10000 ft, angin dominan bertiup dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 10 kt, mencapai maksimum 33 kt, dan modus 9 kt.

Sementara itu, pada pengamatan jam 18UTC (Gambar 12.b), terlihat bahwa angin dominan bertiup dari arah barat (W). Di ketinggian 1000 ft, angin dominan bertiup dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 24 kt, dan modus 2 kt. Pada ketinggian 2000 ft, angin dominan bertiup dari arah barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 29 kt, dan modus 2 kt. Di ketinggian 3000 ft, angin dominan bertiup dari barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 30 kt, dan modus 2 kt. Di ketinggian 5000 ft, angin dominan bertiup dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 30 kt, dan modus 3 kt. Di ketinggian 7000 ft, angin dominan bertiup dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 34 kt, dan modus 7 kt. Di ketinggian 10000 ft, angin dominan bertiup dari barat (W) dengan kecepatan rata-rata 9 kt, mencapai maksimum 27 kt, dan modus 5 kt.



**Gambar 12.** Grafik distribusi arah angin per-lapisan bulan Oktober: Pengamatan jam 06UTC (a) dan 18UTC (b) *Bulan November*

Berdasarkan data pengamatan Pibal pada bulan November pukul 06UTC (Gambar 13.a), terlihat bahwa angin dominan bertiup dari arah barat-barat laut (W-NW). Di ketinggian 1000 ft, angin dominan bertiup dari utara (N) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 20 kt, dan modus 4 kt. Pada ketinggian 2000 ft, angin dominan bertiup dari arah barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 20 kt, dan modus 2 kt. Di ketinggian 3000 ft, angin dominan bertiup dari arah barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 6 kt, mencapai maksimum 20 kt, dan modus 4 kt. Di ketinggian 5000 ft, arah angin bervariasi antara barat, barat laut, utara, hingga timur (W, NW, N, E) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 21 kt, dan modus 3 kt. Di ketinggian 7000 ft, arah angin bervariasi antara barat, barat laut, hingga timur (W, NW, E) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 26 kt, dan modus 6 kt. Di ketinggian 10000 ft, angin dominan bertiup dari arah barat (W) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 19 kt, dan modus 7 kt.

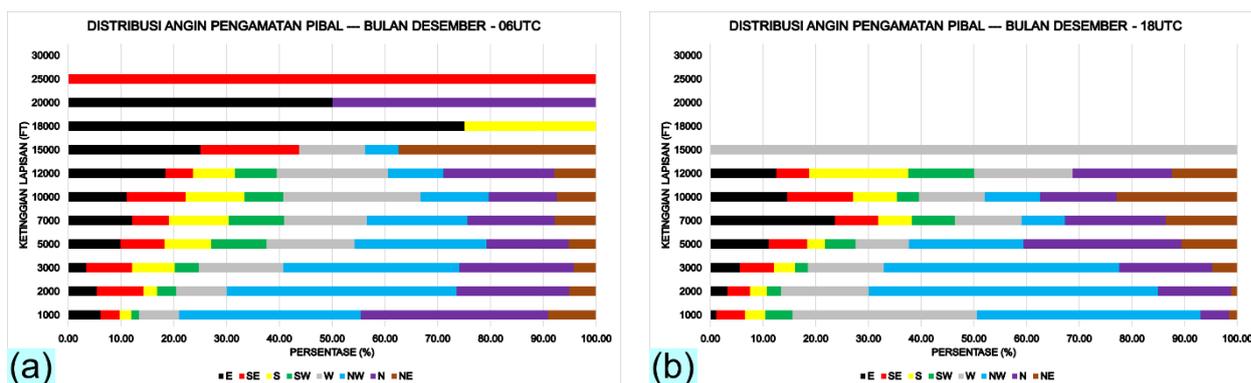


**Gambar 13.** Grafik distribusi arah angin per-lapisan bulan November: Pengamatan jam 06UTC (a) dan 18UTC (b)

Sementara itu, pada pengamatan jam 18UTC (Gambar 13.b), terlihat bahwa angin dominan bertiup dari arah barat-barat laut (W-NW). Di ketinggian 1000 ft, angin dominan bertiup dari arah barat-barat laut (W-NW) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 26 kt, dan modulus 5 kt. Pada ketinggian 2000 ft, angin dominan bertiup dari arah barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 27 kt, dan modulus 4 kt. Di ketinggian 3000 ft, angin dominan bertiup dari arah barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 31 kt, dan modulus 2 kt. Di ketinggian 5000 ft, angin dominan bertiup dari utara (N) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 37 kt, dan modulus 3 kt. Di ketinggian 7000 ft, arah angin bervariasi antara timur, barat, hingga utara (E, W, N) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 40 kt, dan modulus 6 kt. Di ketinggian 10000 ft, arah angin bervariasi antara timur, tenggara, barat, barat laut, hingga timur laut (E, SE, W, NW, NE) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 20 kt, dan modulus 2 kt.

#### Bulan Desember

Berdasarkan data pengamatan Pibal pada bulan Desember pukul 06UTC (Gambar 15.a), angin dominan bertiup dari arah barat laut (NW). Di ketinggian 1000 ft, angin dominan bertiup dari arah barat laut hingga utara (NW-N) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 23 kt, dan modulus 4 kt. Pada ketinggian 2000 ft, angin dominan bertiup dari arah barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 23 kt, dan modulus 5 kt. Di ketinggian 3000 ft, angin dominan bertiup dari arah barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 24 kt, dan modulus 6 kt. Di ketinggian 5000 ft, angin dominan bertiup dari arah barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 23 kt, dan modulus 7 kt. Di ketinggian 7000 ft, arah angin berubah-ubah antara barat, barat laut, hingga utara (W, NW, N) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 33 kt, dan modulus 7 kt. Di ketinggian 10000 ft, angin dominan bertiup dari arah barat (W) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 22 kt, dan modulus 6 kt.



**Gambar 14.** Grafik distribusi arah angin per-lapisan bulan Desember: Pengamatan jam 06UTC (a) dan 18UTC (b)

Sementara itu, pada pengamatan jam 18UTC (Gambar 15.b), angin dominan tetap bertiup dari arah barat laut (NW). Di ketinggian 1000 ft, angin dominan bertiup dari arah barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 9 kt, mencapai maksimum 22 kt, dan modus 6 kt. Pada ketinggian 2000 ft, angin dominan bertiup dari arah barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 9 kt, mencapai maksimum 33 kt, dan modus 8 kt. Di ketinggian 3000 ft, angin dominan bertiup dari arah barat laut (NW) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 32 kt, dan modus 9 kt. Di ketinggian 5000 ft, angin dominan bertiup dari arah utara (N) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 28 kt, dan modus 8 kt. Di ketinggian 7000 ft, arah angin berubah-ubah antara timur, utara, hingga timur laut (E, N, NE) dengan kecepatan rata-rata 8 kt, mencapai maksimum 32 kt, dan modus 6 kt. Di ketinggian 10000 ft, arah angin bervariasi dengan kecepatan rata-rata 7 kt, mencapai maksimum 23 kt, dan modus 2 kt.

### Profil Vertikal Angin Udara Atas

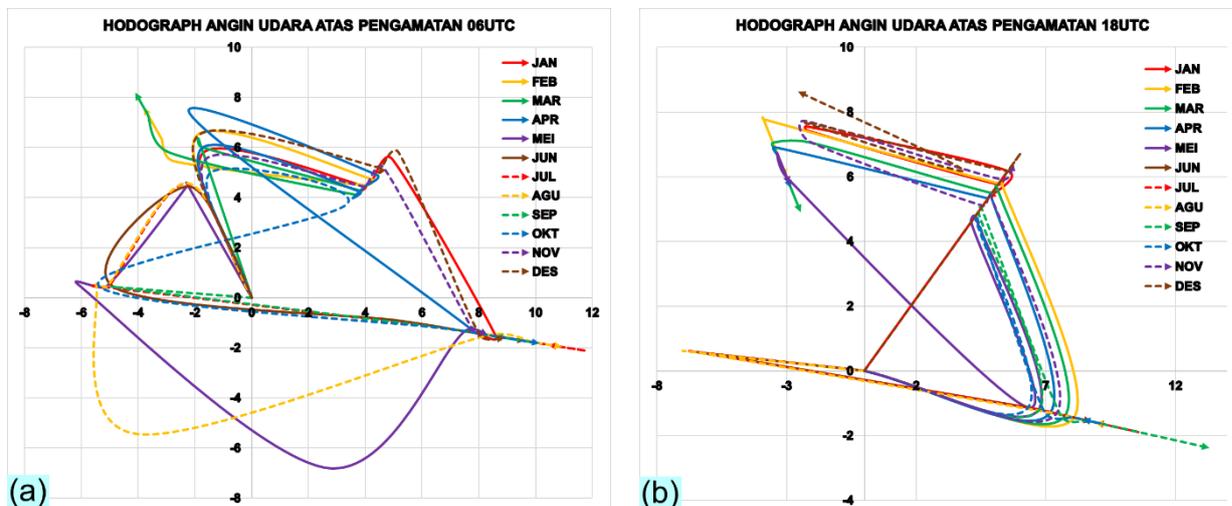
Dalam analisis profil angin vertikal, penelitian ini menggunakan plot *Hodograph* untuk menganalisis arah dan kecepatan angin vertikal sepanjang jalur pergerakan balon Pibal. Untuk memastikan konsistensi data, plot *Hodograph* dilakukan pada berbagai ketinggian, termasuk 1000, 2000, 3000, 5000, 7000, 10000, dan 12000 ft. Secara umum, terdapat perbedaan dalam pola pergerakan angin antara pengamatan pada pukul 06UTC dan 18UTC.

### Arah Angin Vertikal

Gambar 15.a menunjukkan hasil pengamatan pada pukul 06UTC. Pada ketinggian 1000-3000 ft, ditemukan dua pola arah angin yang berbeda. Pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Oktober, November, dan Desember, arah angin dominan adalah dari barat laut-utara (NW-N), sedangkan pada bulan Mei, Juni, Juli, Agustus, dan September, arah angin dominan adalah dari timur-tenggara (E-SE). Pada ketinggian 5000-12000 ft, angin dominan biasanya bertiup dari barat laut-barat (NW-W), kecuali pada bulan Februari dan Maret, di mana arah angin dominan adalah dari timur (E).

Gambar 15.b, yang menampilkan hasil pengamatan pada pukul 18UTC, juga menggambarkan dua pola arah angin yang berbeda pada ketinggian 1000-3000 ft. Pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, September, Oktober, November, dan Desember, arah angin dominan adalah dari barat laut-utara (NW-N), sementara pada bulan Juni, Juli, dan Agustus, angin dominan bertiup dari tenggara (SE). Pada ketinggian 5000-12000 ft, angin

dominan biasanya bertiup dari barat laut-utara (NW-N) sepanjang sebagian besar bulan, kecuali pada bulan Februari, Maret, April, dan Mei, di mana arah angin dominan adalah dari timur (E).

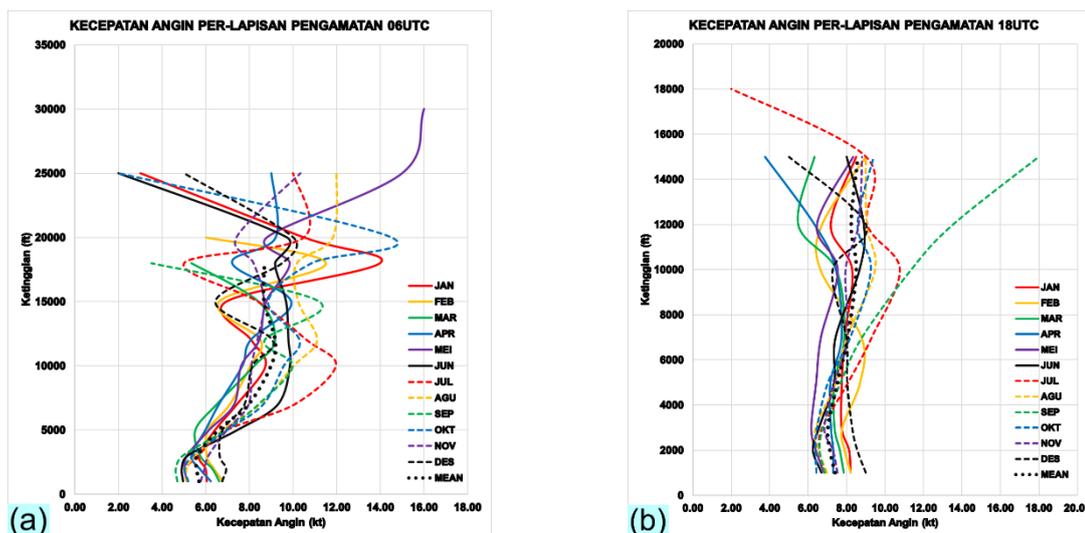


**Gambar 15.** Plot *Hodograph* araha ngin dominan dan kecepatan rata-rata bulanan: Pengamatan jam 06UTC (a) dan 18UTC (b)

### Kecepatan Angin Vertikal

Gambar 16 menampilkan grafik rata-rata kecepatan angin di berbagai lapisan atmosfer. Dari gambar ini, terlihat bahwa pengamatan Pibal pada pukul 06UTC mencapai lapisan yang lebih tinggi dibandingkan dengan pengamatan pada pukul 18UTC. Selain itu, rata-rata kecepatan angin pada pukul 18UTC cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan pengamatan pada pukul 06UTC. Hal ini menunjukkan bahwa di Bandara Kualanamu, kecepatan angin vertikal pada malam hari cenderung lebih tinggi daripada pada siang hari. Selain itu, profil kecepatan angin vertikal juga menunjukkan adanya tren peningkatan rata-rata kecepatan angin seiring dengan meningkatnya ketinggian.

Pada pengamatan pukul 06UTC terlihat bahwa secara umum kecepatan angin pada ketinggian 1000-3000 ft berkisar antara 5-6 kt, sedangkan pada ketinggian 5000-7000 ft berkisar antara 6-8 kt, dan pada ketinggian di atas atau sama dengan 10.000 ft berkisar lebih dari atau sama dengan 9 kt. Sementara itu, pada pengamatan pukul 18UTC, kecepatan angin secara umum pada ketinggian 1000-3000 ft berkisar antara 6-7 kt, pada ketinggian 5000-7000 ft berkisar antara 7-8 kt, dan pada ketinggian di atas atau sama dengan 10.000 ft berkisar lebih dari atau sama dengan 8 kt.



Gambar 16. Grafik kecepatan angin rata-rata per-lapisan tiap bulan: Pengamatan jam 06UTC (a) dan 18UTC (b)

## KESIMPULAN

Penelitian profil udara atas di Bandara Kualanamu menunjukkan ada dua pola angin di lapisan rendah dan menengah saat siang dan malam. Pada siang hari, angin di lapisan rendah bertiup dari barat laut-utara atau timur-tenggara, sedangkan di lapisan menengah bertiup dari barat. Di malam hari, angin di lapisan rendah bertiup dari barat laut-utara atau tenggara, dan di lapisan menengah dari timur atau barat-barat laut. Kecepatan angin rata-rata lebih tinggi di malam hari, dan meningkat dengan ketinggian. Pada ketinggian 1000-3000 ft, kecepatan berkisar 5-7 kt, pada 5000-7000 ft berkisar 6-8 kt, dan di atas 10000 ft lebih dari 8 kt.

## DAFTAR PUSTAKA

- BMG. (2004). Keputusan Kepala Badan Meteorologi dan Geofisika Nomor: KEP.004 Tahun 2004 tentang Kriteria Klasifikasi Unit Pelaksana Teknis Stasiun Meteorologi, Stasiun Klimatologi, dan Stasiun Geofisika.
- BMG. (2006). Peraturan Kepala BMG Nomor: SK.44/ME.104/KB/BMG-2006 tentang Tata Cara Tetap Pelaksanaan Pengamatan, Penyandian dan Pelaporan Hasil Pengamatan Meteorologi Udara Atas. Dalam BMKG (Peraturan Kepala BMG Nomor: SK.44/ME.104/KB/BMG-2006).
- BMKG. (2014). Peraturan Kepala BMKG Nomor 9 Tahun 2014 tentang Uraian Tugas Stasiun Meteorologi.
- Hartati, N. (2017). Statistika Untuk Analisis Data Penelitian. Dalam Bandung.
- PT Angkasa Pura II. (2020). Bandara Internasional Kualanamu. Bandara Kami. [https://www.angkasapura2.co.id/id/business\\_relation/our\\_airport/17-bandara-internasional-kualanamu](https://www.angkasapura2.co.id/id/business_relation/our_airport/17-bandara-internasional-kualanamu)
- Republik Indonesia. (2009). Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 31 Tahun 2009 tentang Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- Republik Indonesia. (2012). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 46 Tahun 2022 tentang Penyelenggaraan Pengamatan dan Pengelolaan Data Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika.
- Rinaldy, N., Saragih, I. J. A., Wandala Putra, A., Redha Nugraheni, I., Wijaya Yonas, B., Putra, A. W., Nugraheni, I. R., & Yonas, B. W. (2017). Identification of Mesoscale Convective Complex (MCC) phenomenon with image of Himawari 8 Satellite and WRF ARW Model on Bangka Island

(Case Study: 7-8 February 2016). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 98(1), 012002. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/98/1/012002>

Saragih, I. J. A., Kristianto, A., Silitonga, A. K., & Paski, J. A. I. (2017). Kajian Dinamika Atmosfer saat Kejadian Hujan Lebat di Wilayah Pesisir Timur Sumatera Utara Menggunakan Model WRF-ARW dan Citra Satelit Himawari-8. *Unnes Physics Journal*, 6(1), 25–30.

Silitonga, A. K., Saragih, I. J. A., & Saragih, R. W. (2017). Deskripsi Parameter Cuaca Dan Stabilitas Udara Terkait Kejadian Angin Puting Beliung Pontianak (Studi Kasus 30 Agustus 2016). *Seminar Nasional Fisika (SNF) 2017*, VI, 23–30. <https://doi.org/10.21009/03.snf2017.02.epa.04>

The COMET Program. (2016). *Principles of Convection II: Using Hodographs*. <https://www.meted.ucar.edu/mesoprim/hodograf/>

Tjasyono, B. H. (2006). *Atmosfer, Meteorologi Indonesia 1: Karakteristik dan Sirkulasi*. BMG.

Tjasyono, B. H., & Harijono, S. W. B. (2014). *Atmosfer Ekuatorial*. Pusat Penelitian dan Pengembangan BMKG.

Winarso, P. A. (2009). *Analisa Cuaca 1*. Akademi Meteorologi dan Geofisika.

Wirjohamidjojo, S., & Swarinoto, Y. S. (2013). *Meteorologi Sinoptik*. Puslitbang BMKG.

Zakir, A., Sulistya, W., & Khotimah, M. K. (2010). *Perspektif Operasional Cuaca Tropis*. Badan Meteorologi dan Geofisika.