

PROFIL VERTIKAL ATMOSFER SELAMA AKTIFITAS SIKLON TROPIS CEMPAKA DAN DAHLIA

VERTICAL ATMOSPHERIC PROFILE DURING TROPICAL CYCLONE CEMPAKA AND DAHLIA ACTIVITIES

Eka Fibriantika^{1*}, Raksaka Indra Alhaqq²

¹Pusat Meteorologi Penerbangan, BMKG, Jl. Angkasa I No.2 Kemayoran, Jakarta Pusat, DKI Jakarta, 10720

² Pusat Jaringan Komunikasi, BMKG, Jl. Angkasa I No.2 Kemayoran, Jakarta Pusat, DKI Jakarta, 10720

*E-mail: eka.fibriantika@bmgk.go.id

Naskah masuk: 21 Agustus 2018; Naskah diperbaiki: 25 Februari 2019; Naskah diterima: 09 April 2019

ABSTRAK

Siklon tropis Cempaka dan Dahlia yang terbentuk di wilayah *Tropical Cyclone Warning Center (TCWC)* Jakarta pada akhir bulan November 2017 telah mengakibatkan banjir dan tanah longsor di sebagian besar Pulau Jawa. Posisi kedua siklon tersebut yang sangat dekat dengan Pulau Jawa mempengaruhi kondisi troposfer atas dan stratosfer bawah di Pulau Jawa. Pada penelitian ini dilakukan analisis profil vertikal atmosfer di Pulau Jawa dengan menggunakan data Radiosonde pada 3 (tiga) stasiun pengamatan radiosonde, yaitu Stasiun Meteorologi Cengkareng, Cilacap dan Juanda. Penelitian ini bertujuan mengetahui kondisi profil vertikal pada saat terjadi siklon tropis Cempaka dan siklon tropis Dahlia. Data yang digunakan adalah data radiosonde pada Desember-Januari-Februari (DJF) tahun 2013-2017 di Stasiun Meteorologi Cengkareng dan Juanda, DJF tahun 2017 di Stasiun Meteorologi Cilacap, serta data lain pada ketiga stasiun saat terjadi kedua siklon tropis tersebut. Nilai rerata parameter cuaca dan indeks stabilitas *atmosphere* yang diperoleh melalui software RAOB versi 6.5 menunjukkan siklon tropis Cempaka memiliki pengaruh yang lebih signifikan terhadap kondisi profil vertikal atmosfer di Pulau Jawa dibandingkan dengan siklon tropis Dahlia terutama pada parameter profil vertikal suhu udara, suhu titik embun, dan kelembaban udara.

Kata kunci: Siklon tropis, Cempaka, Dahlia, radiosonde, kelembaban udara

ABSTRACT

Tropical Cyclone Cempaka and Dahlia formed in the area of responsibility of Tropical Cyclone Warning Center (TCWC) Jakarta at the end of November 2017 and triggered floods and landslides in most of Java Island. Both tropical cyclones, which were very close to Java Island, influenced the condition of upper troposphere and lower stratosphere over Java Island. In this study, we analyze the vertical atmospheric profile over Java Island using radiosonde data obtained from 3 (three) Meteorological Stations, namely Cengkareng, Cilacap and Juanda. This study aims to examine the condition of the vertical atmospheric profile in the event of tropical cyclone Cempaka and Dahlia. The radiosonde data used were those observed during the period of December-January-February (DJF) 2013-2017 at Cengkareng and Juanda Meteorological Stations, during DJF 2017 at the Cilacap Meteorological Station, and during both tropical cyclone activities at those three stations. The mean value of weather parameters and atmospheric stability index obtained from RAOB version 6.5 show that tropical cyclone Cempaka has more significant effects on the atmospheric vertical profiles over Java Island compared to tropical cyclone Dahlia, especially on vertical profile of air temperature, dewpoint temperature, and relative humidity.

Keywords: Tropical cyclone, Cempaka, Dahlia, radiosonde, relative humidity

1. Pendahuluan

Siklon tropis Cempaka dan Dahlia merupakan siklon tropis yang tumbuh di area *Tropical Cyclone Warning Center* Jakarta (TCWC Jakarta). Berdasarkan WMO *Tropical Cyclone Operational Plan for South Pasific and South East Indian Ocean* (TCP-24) edisi 2006, area yang menjadi tanggung

jawab TCWC Jakarta adalah 90° BT – 125° BT dan 0° LS – 10° LS. Siklon tropis Cempaka terbentuk pada tanggal 27 November 2017 pukul 19.00 WIB di koordinat 8,6° LS dan 110,8° BT atau sekitar 100 KM di sebelah selatan tenggara Cilacap. Sebelum menjadi siklon tropis, telah terbentuk pusat tekanan rendah sejak 26 November 2017 pukul 07.00 WIB. Siklon Tropis Cempaka punah pada tanggal 29 November 2017 pukul 07.00 WIB dan statusnya

kembali menjadi pusat tekanan rendah. Pulau Jawa dan Pulau Bali merupakan wilayah yang paling terdampak oleh keberadaan Siklon Tropis Cempaka. Siklon Tropis Dahlia terbentuk pada tanggal 29 November 2017 pukul 19.00 WIB di koordinat $8,2^{\circ}$ LS dan $100,8^{\circ}$ BT atau sekitar 470 KM sebelah selatan Bengkulu. Masa hidup siklon tropis Dahlia lebih panjang dibandingkan dengan siklon tropis Cempaka yang hanya bertahan 3 hari. Siklon tropis Dahlia punah pada tanggal 3 Desember 2017 pukul 18.00 WIB. Wilayah yang terkena dampak siklon tropis Dahlia meliputi wilayah Pulau Sumatera bagian selatan, Banten, DKI Jakarta, Jawa Barat, dan Jawa Tengah. Siklon tropis Cempaka dan Dahlia yang terjadi secara berurutan mengakibatkan terjadinya banjir, tanah longsor, dan puting beliung di beberapa wilayah seperti Pacitan, Wonosobo, Yogyakarta, dan Purworejo. Dibandingkan dengan siklon tropis Cempaka, dampak yang ditimbulkan oleh siklon tropis Dahlia lebih kecil, hal ini dipengaruhi oleh posisi siklon tropis Cempaka yang lebih dekat daratan.

Siklon tropis memiliki peran yang penting pada dinamika atmosfer terutama pada troposfer bagian atas dan stratosfer bagian bawah [1]. Pengamatan kondisi atmosfer secara vertikal salah satunya dilakukan menggunakan radiosonde. Pengamatan radiosonde merupakan pengamatan udara atas menggunakan pemancar radiosonde yang diterbangkan menggunakan balon dengan tujuan untuk mendapatkan data suhu, tekanan, dan kelembaban udara yang kemudian ditransmisikan kembali ke stasiun peluncuran dengan gelombang radio. Data tersebut dapat digunakan untuk menghitung suhu titik embun, ketinggian lapisan tekanan udara, dan berbagai variabel lainnya. Sedangkan data arah dan kecepatan angin diperoleh dari posisi GPS di radiosonde [2].

Pada penelitian ini, data radiosonde diolah menggunakan perangkat lunak RAOB Observation (RAOB) untuk menghasilkan beberapa indeks stabilitas atmosfer agar dapat diketahui kondisi profil vertikal atmosfer. Menurut Haimberger (2007), radiosonde dapat merekam lebih jauh dan menyajikan data vertikal dengan resolusi yang lebih tinggi dibandingkan satelit [3]. Data radiosonde digunakan untuk analisis profil vertikal seperti dilakukan oleh Crnivec dan Smith (2015) di Australia bagian utara [4], namun analisis profil vertikal siklon tropis di wilayah Indonesia belum diselidiki. Oleh karena itu penggunaan data radiosonde diharapkan lebih menggambarkan kondisi profil vertikal lebih nyata.

Siklon tropis yang terjadi di wilayah Indonesia diduga berpengaruh terhadap kondisi troposfer bagian atas dan stratosfer bagian bawah yang akan berdampak pada pembentukan awan-awan hujan.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan gambaran seberapa besar peristiwa siklon tropis dapat berpengaruh terhadap kondisi profil vertikal atmosfer. Kondisi profil vertikal atmosfer diperlukan untuk prediksi cuaca terutama untuk cuaca penerbangan.

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini dilakukan analisis data radiosonde dari tiga stasiun meteorologi di Pulau Jawa, yaitu stasiun Meteorologi Cengkareng (WMO indeks: 96749), Stasiun Meteorologi Cilacap (WMO indeks: 96805), dan Stasiun Meteorologi Juanda (WMO indeks: 96935). Analisis dilakukan dengan mencari nilai rerata dari beberapa parameter cuaca, diantaranya suhu udara (T), suhu udara titik embun (Td), kelembaban udara (RH), arah dan kecepatan angin pada lapisan standar (1000, 925, 850, 700, 500, 400, 300, 250, 200, 150, dan 100 mb). Selain dicari nilai rerata dari parameter cuaca tersebut, analisis juga dilakukan pada beberapa indeks stabilitas atmosfer.

Berdasarkan profil puncak musim hujan di Pulau Jawa pada bulan Desember-Januari-Februari (DJF), pada penelitian ini digunakan data DJF selama 5 tahun untuk Stasiun Meteorologi Cengkareng dan Juanda (DJF 2013 - DJF 2017) serta data DJF selama 1 tahun untuk Stasiun Meteorologi Cilacap (DJF 2017). Data DJF kemudian dibandingkan dengan data radiosonde pada saat terjadi siklon tropis Cempaka dan Dahlia. Perbandingan kedua kelompok data tersebut dapat menjelaskan perbedaan antara kondisi saat terjadi kedua siklon dengan kondisi pada bulan DJF. Perbandingan rerata T dan Td ditampilkan dalam diagram Skew T log P yang merupakan diagram termodinamika yang dapat digunakan untuk menampilkan data sounding. Rerata parameter-parameter cuaca tersebut ditampilkan pada diagram skew T log P dengan menggunakan perangkat lunak RStudio. Beberapa indeks yang dianalisis diantaranya *Convective Available Potential Energy* (CAPE), *Convective inhibition* (CIN), *K Indeks*, *Lifted Indeks*, *Precipitable Water*, *Totals-Totals Indeks*, *SWEAT Indeks*, dan *Showalter Indeks* menggunakan perangkat lunak RAOB versi 6.5. RAOB juga dapat digunakan untuk melihat kondisi arah dan kecepatan angin pada saat Siklon Tropis Cempaka dan Dahlia.

3. Hasil dan Pembahasan

Profil rerata T dan Td. Kondisi rerata suhu udara (T) saat terjadi siklon tropis Cempaka (garis biru) pada Stasiun Meteorologi Cengkareng (Gambar 1(a)) memiliki nilai yang lebih tinggi 1 hingga 2°C dibandingkan dengan nilai rerata T bulan DJF 2013-

2017 (garis hitam). Perbedaan ini terlihat cukup jelas pada lapisan 500 hingga 200 mb. Rerata Td saat siklon tropis Cempaka (garis merah muda) mencapai 1 hingga 5°C lebih tinggi dibandingkan rerata Td bulan DJF 2013-2017 (garis oranye). Berdasarkan Gambar 1(a), meskipun nilai T dan Td saat siklon tropis Cempaka cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan nilai rerata T dan Td DJF 2013-2017, namun profil garis T dan Td saat siklon tropis Cempaka lebih rapat dibandingkan dengan profil garis T dan Td bulan DJF 2013-2017. Hal ini sesuai dengan kajian Crnivec dan Smith (2015) yang menunjukkan T dan Td pada saat siklon tropis di Pulau Willis lebih rapat dibandingkan dengan kondisi tanpa siklon tropis [4]. Melalui nilai Td, dapat diketahui nilai *mixing ratio* (w), sedangkan dengan diketahui nilai T maka akan didapatkan nilai *Saturation Mixing Ratio* (w_s). Nilai *Relative Humidity* (RH) merupakan nilai dari *Mixing ratio* (w) terhadap *Saturation Mixing Ratio* (w_s) dikali 100%. Semakin rapat garis T dengan Td pada diagram skew T log P, maka nilai RH akan semakin besar. Hal ini menunjukkan pada saat terjadi siklon tropis Cempaka, kondisi atmosfer mengalami kelembaban udara lebih tinggi dibandingkan dengan bulan DJF 2013-2017.

Pada saat terjadi siklon tropis Dahlia, kondisi rerata T di Stasiun Meteorologi Cengkareng (Gambar 1(b)) menunjukkan pola yang sama dengan saat siklon tropis Cempaka, yaitu memiliki nilai yang lebih tinggi 1 hingga 2°C dibandingkan dengan nilai rerata T bulan DJF 2013-2017. Sedangkan rerata Td (garis merah muda) pada beberapa lapisan memiliki nilai lebih rendah dibandingkan rerata suhu titik embun bulan DJF 2013-2017 (garis oranye). Pada lapisan 500 mb, rerata Td mencapai 3,16°C lebih rendah dibandingkan dengan rerata Td bulan DJF 2013-2017. Pada siklon tropis Dahlia, profil T dan Td lebih renggang dibandingkan dengan profil T dan Td bulan DJF 2013-2017, hal ini mengakibatkan nilai kelembaban udara saat siklon tropis Dahlia lebih rendah dibandingkan nilai kelembaban udara bulan DJF 2013-2017. Hasil kajian yang telah dilakukan oleh Crnivec dan Smith (2015) menunjukkan perbedaan suhu udara ketika siklon tropis lebih tinggi 1°C dibandingkan dengan kondisi tanpa siklon tropis di Pulau Willis [4]. Sedangkan perbedaan suhu titik embun pada saat siklon tropis mencapai 8°C lebih tinggi dibandingkan tanpa siklon tropis di pulau tersebut.

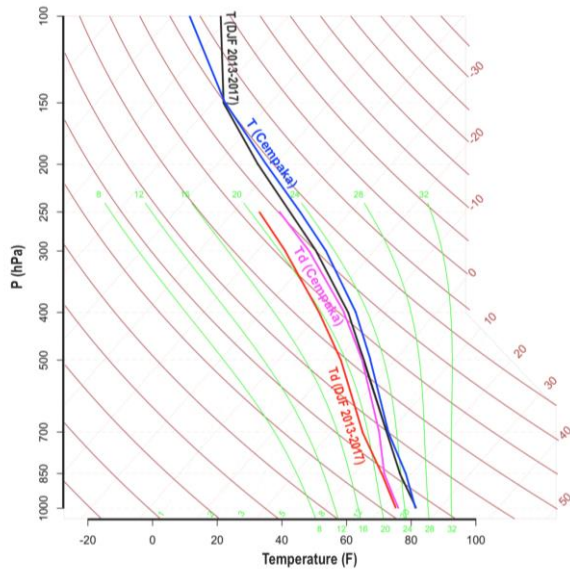
Rerata T di Stasiun Meteorologi Juanda (Gambar 2(a)) saat terjadi siklon tropis Cempaka (garis biru) memiliki nilai yang lebih tinggi 1 hingga 2°C dibandingkan dengan nilai rerata T DJF 2013-2017 (garis hitam), perbedaan ini terlihat cukup jelas pada lapisan 500 mb hingga lapisan 200 mb. Rerata Td saat siklon tropis Cempaka (garis merah muda) mencapai 1 hingga 5°C lebih tinggi dibandingkan

rerata Td bulan DJF 2013-2017 (garis oranye). Berdasarkan Gambar 2(a), meskipun nilai T dan Td saat siklon tropis Cempaka cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan nilai rerata T dan Td DJF 2013-2017, namun profil garis T dan Td saat Siklon Tropis Cempaka lebih rapat dibandingkan dengan profil garis T dan Td bulan DJF 2013-2017. Hal ini mengakibatkan nilai kelembaban udara saat ada aktifitas siklon tropis lebih tinggi dibandingkan dengan bulan DJF 2013-2017.

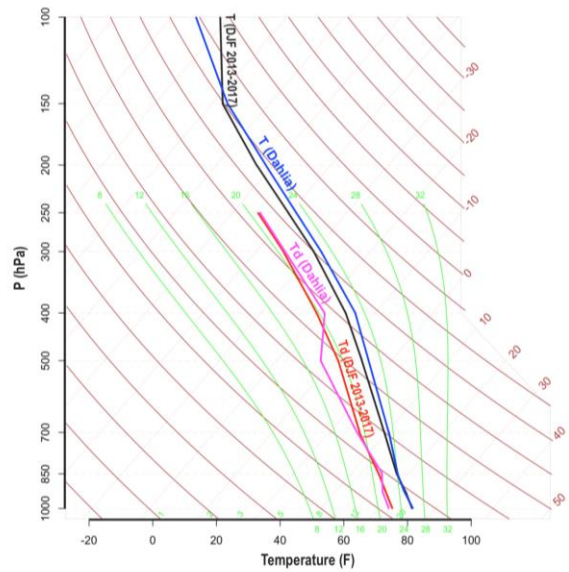
Kondisi rerata T (garis biru) saat terjadi Siklon Tropis Dahlia di Stasiun Meteorologi Juanda (Gambar 2(b)) lebih besar 1 hingga 2°C dibandingkan dengan nilai rerata T DJF 2013-2017 (garis hitam). Perbedaan nilai T juga cukup jelas pada lapisan 500 hingga lapisan 100mb. Pada saat siklon tropis Dahlia, rerata Td (garis merah muda) pada beberapa lapisan memiliki nilai lebih tinggi 1 hingga 3°C dibandingkan rerata suhu titik embun bulan DJF 2013-2017 (garis oranye). Pada siklon tropis Dahlia, profil T dan Td lebih renggang dibandingkan dengan profil T dan Td bulan DJF 2013-2017, kondisi ini juga mengakibatkan nilai kelembaban udara saat siklon tropis Dahlia lebih rendah dibandingkan nilai kelembaban udara bulan DJF 2013-2017.

Kondisi profil rerata suhu udara (T) saat siklon tropis Cempaka (garis biru) di Stasiun Meteorologi Cilacap (Gambar 3(a)) memiliki nilai yang lebih tinggi 1 hingga 2°C dibandingkan dengan nilai rerata T DJF 2017 (garis hitam). Rerata Td saat siklon tropis Cempaka (garis merah muda) mencapai 1 hingga 5°C lebih tinggi dibandingkan rerata Td bulan DJF 2017 (garis oranye). Berdasarkan Gambar 3(a), profil garis T dan Td saat siklon tropis Cempaka lebih rapat dibandingkan dengan profil garis T dan Td bulan DJF 2017. Hal ini mengakibatkan pada saat terjadi siklon tropis Cempaka nilai kelembaban udara lebih tinggi dibandingkan dengan bulan DJF 2017.

Pada saat terjadi Siklon Tropis Dahlia di Stasiun Meteorologi Cilacap (Gambar 3(b)) rerata T saat siklon tropis Dahlia (garis biru) lebih besar 1 hingga 2°C dibandingkan dengan nilai rerata T DJF 2017 (garis hitam), namun pada lapisan 300 mb nilai T mencapai 6°C lebih tinggi dibandingkan rerata T DJF 2017 pada lapisan tersebut. Rerata Td (garis merah muda) pada beberapa lapisan memiliki nilai lebih tinggi 1 hingga 3°C dibandingkan rerata Td bulan DJF 2013-2017 (garis oranye). Pada siklon tropis Dahlia, profil T dan Td lebih renggang dibandingkan dengan profil T dan Td bulan DJF 2017. Kondisi ini juga mengakibatkan nilai kelembaban udara saat siklon tropis Dahlia lebih rendah dibandingkan nilai kelembaban udara bulan DJF 2017.

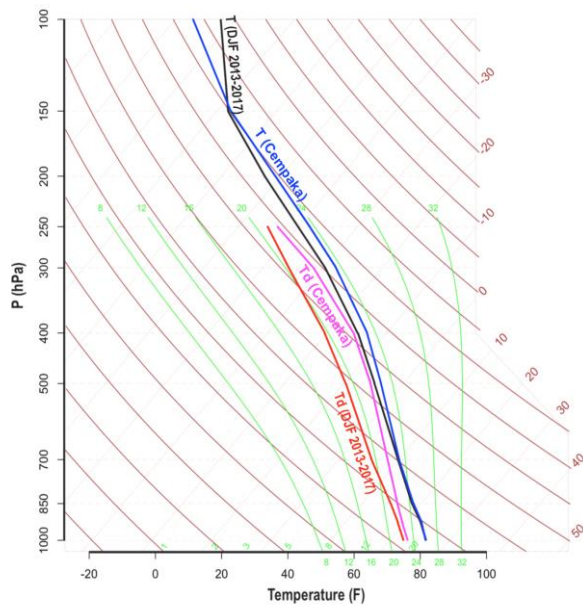


(a)

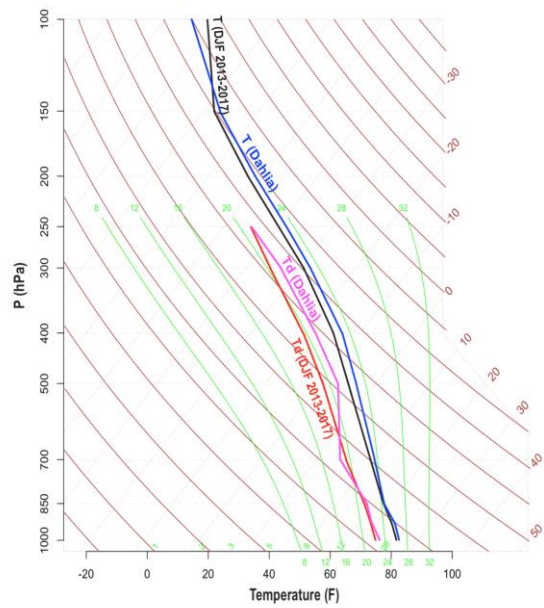


(b)

Gambar 1. Suhu (T) dan Suhu titik embun (Td) Stasiun Meteorologi Cengkareng, (a) Siklon Tropis Cempaka, (b) Siklon Tropis Dahlia

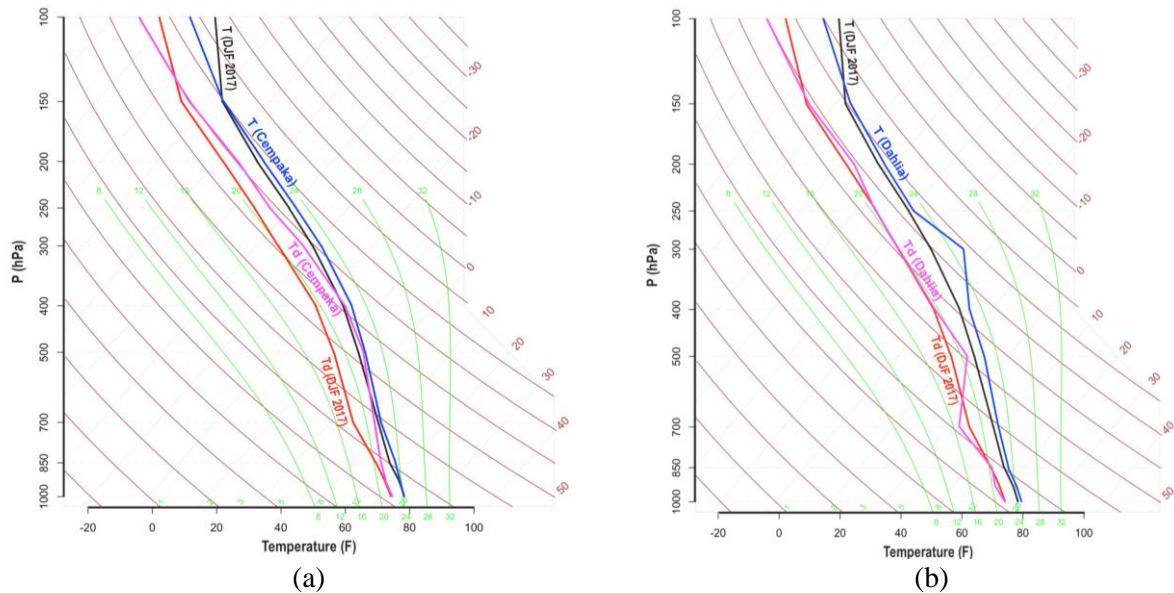


(a)



(b)

Gambar 2. Suhu (T) dan Suhu titik embun (Td) Stasiun Meteorologi Juanda, (a) Siklon Tropis Cempaka, (b) Siklon Tropis Dahlia



Gambar 3. Suhu (T) dan Suhu titik embun (Td) Stasiun Meteorologi Cilacap, (a) Siklon Tropis Cempaka, (b) Siklon Tropis Dahlia

Profil Kelembaban Udara (RH). Rerata RH ditampilkan pada Gambar 4 dengan sumbu x adalah RH (%) dan sumbu Y adalah *Pressure* (mb). Rerata RH di Stasiun Meteorologi Cengkareng pada saat siklon tropis Cempaka lebih tinggi dibandingkan rerata RH bulan DJF 2013-2017. Sedangkan rerata RH saat siklon tropis Dahlia memiliki nilai lebih rendah dibandingkan rerata RH bulan DJF tahun 2013-2017 (Gambar 4(a)).

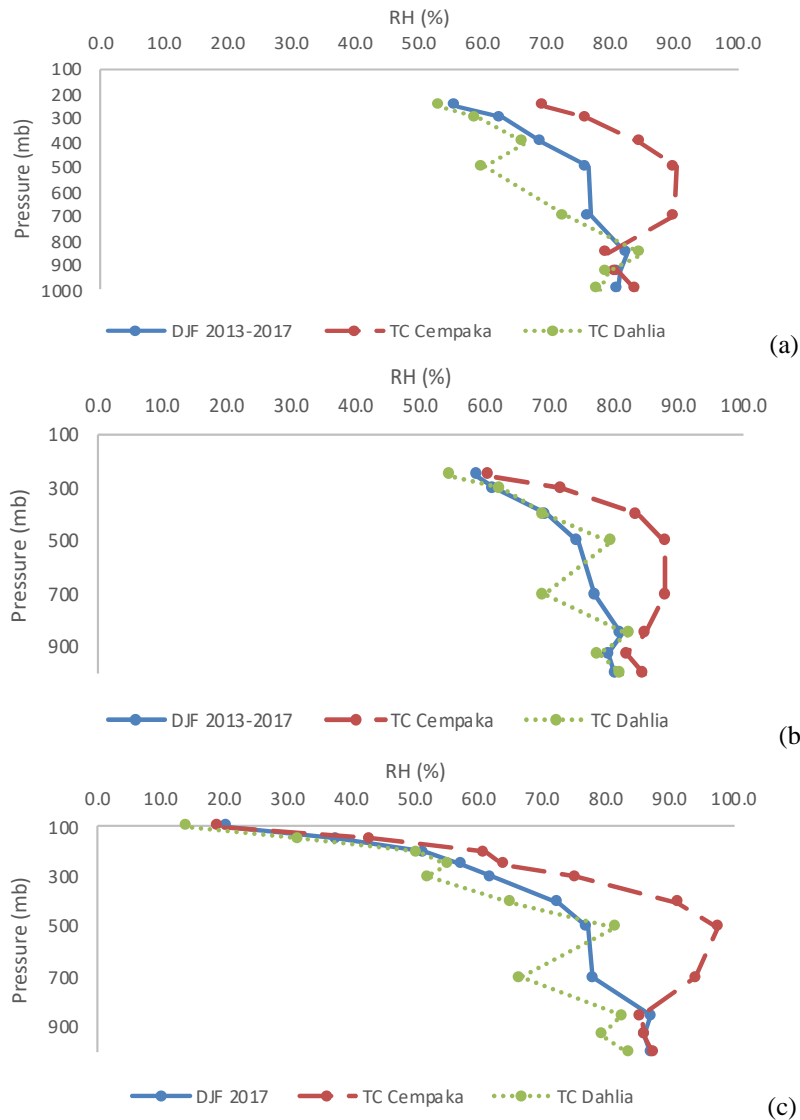
Rerata RH di Stasiun Meteorologi Juanda pada saat siklon tropis Cempaka lebih tinggi dibandingkan rerata RH bulan DJF 2013-2017. Sedangkan rerata RH saat siklon tropis Dahlia memiliki nilai lebih rendah dibandingkan rerata RH bulan DJF tahun 2013-2017 pada beberapa lapisan, salah satu yang signifikan yaitu pada lapisan 700 mb mencapai 8% lebih rendah (Gambar 4(b)).

Rerata RH di Stasiun Meteorologi Cilacap pada saat siklon tropis Cempaka lebih tinggi dibandingkan rerata RH bulan DJF 2013-2017 (Gambar 4(c)). Sedangkan rerata RH saat siklon tropis Dahlia memiliki nilai lebih rendah dibandingkan rerata RH bulan DJF tahun 2013-2017 pada beberapa lapisan, salah satu yang signifikan yaitu pada lapisan 700 mb mencapai 11,4% lebih rendah dan pada lapisan 300 mb mencapai 10,2%. Menurut Crnivec dan Smith (2015) kelembaban udara pada saat siklon tropis mengalami kenaikan pada setiap lapisan, sekitar 7% pada lapisan permukaan dan mencapai 25% pada lapisan 500 mb [4].

Profil Kecepatan dan Arah Angin. Kecepatan angin di Stasiun Meteorologi Cengkareng saat terjadi siklon tropis Cempaka dan Dahlia cenderung memiliki nilai lebih besar dibandingkan dengan rerata kecepatan angin pada bulan DJF 2013-2017

pada lapisan 1000 mb hingga 300 mb. Pada lapisan 925 mb hingga 700 mb kecepatan angin pada kedua siklon tropis tersebut mencapai 23.2-33 knot, sedangkan rerata kecepatan angin pada lapisan tersebut bulan DJF 2013-2017 hanya mencapai 14.4-15.4 knot (Tabel 1).

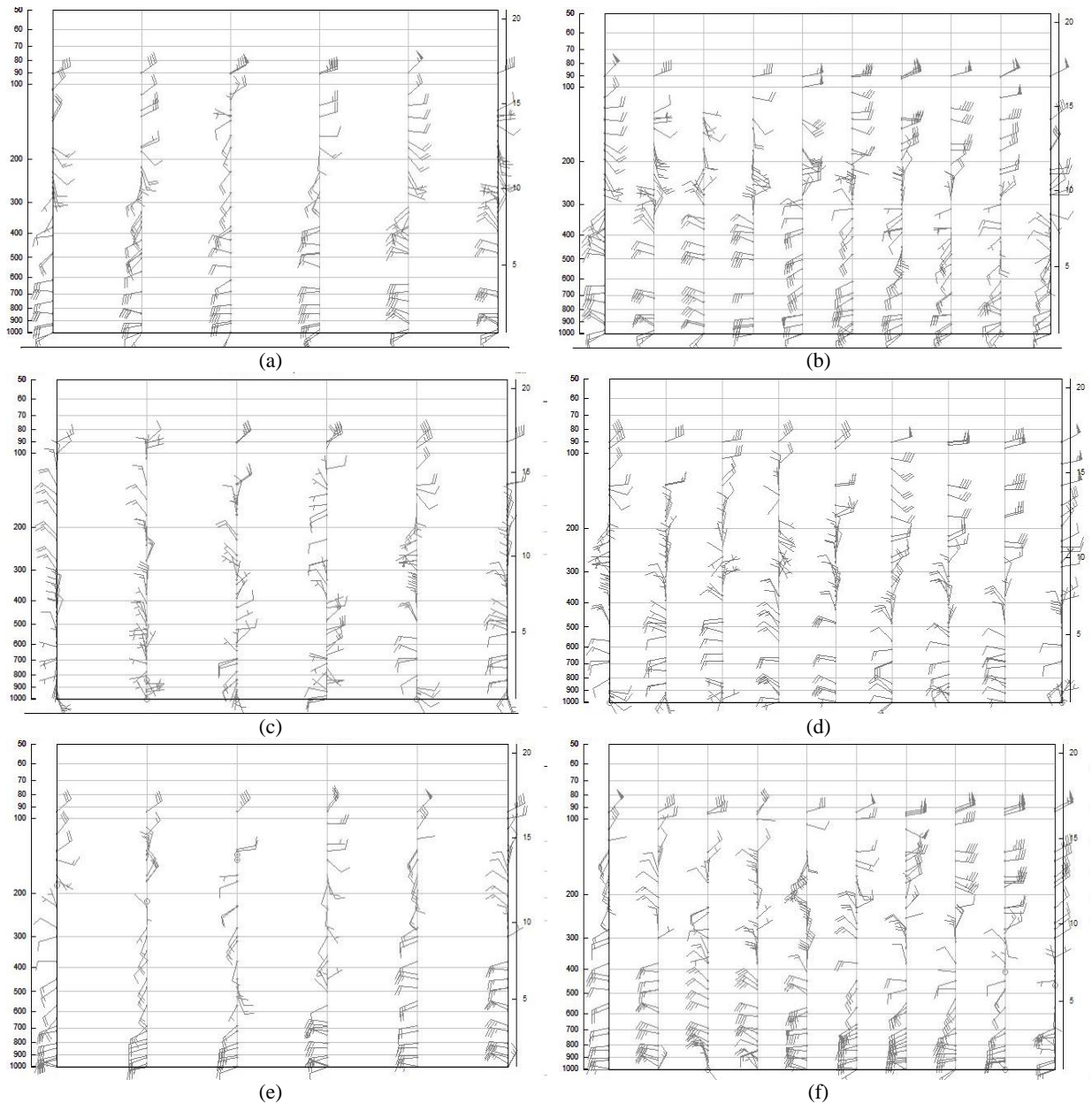
Di Stasiun Meteorologi Juanda, kecepatan angin pada saat terjadi siklon tropis Cempaka dan Dahlia tidak cukup signifikan perbedaannya dengan kondisi rerata kecepatan angin bulan DJF 2013-2017. Pada saat siklon tropis Cempaka, rerata kecepatan angin cenderung lebih lemah dibandingkan dengan rerata kecepatan angin DJF 2013-2017. Sedangkan jika dibandingkan antara kedua siklon tropis tersebut, rerata kecepatan angin saat siklon tropis Dahlia lebih besar dibandingkan Cempaka kecuali pada lapisan 1000 mb dan 300 mb. Pola rerata kecepatan angin pada Stasiun Meteorologi Cilacap pada kedua siklon tersebut lebih besar dibandingkan dengan rerata kecepatan angin bulan DJF 2017 dari mulai lapisan 1000 mb hingga 250 mb. Pada lapisan 925 mb hingga 700 mb kecepatan angin pada kedua siklon tropis tersebut mencapai 21-30 knot, sedangkan rerata kecepatan angin pada lapisan tersebut bulan DJF 2013-2017 hanya mencapai 14.1-15.5 knot. Pada lapisan 700 mb hingga 100 mb, rerata kecepatan angin pada saat siklon tropis Dahlia lebih besar dibandingkan rerata kecepatan angin pada saat siklon tropis Cempaka. Namun pada lapisan 1000 mb hingga 850 mb rerata kecepatan angin pada saat siklon tropis Cempaka lebih besar daripada saat siklon tropis Dahlia. Kecepatan angin pada saat siklon tropis di Pulau Willis lebih besar 3-6 knot dibandingkan dengan kondisi tanpa siklon, hal ini terjadi terutama pada lapisan permukaan hingga 300 mb [4].



Gambar 4. Rerata RH saat Siklon Tropis Cempaka, Dahlia, dan bulan DJF, (a) Stasiun Meteorologi Cengkareng, (b) Stasiun Meteorologi Juanda, (c) Stasiun Meteorologi Cilacap

Tabel 1. Rerata kecepatan angin pada tiga Stasiun Meteorologi (knot)

Lapisan (mb)	Stasiun Meteorologi								
	Cengkareng			Juanda			Cilacap		
	DJF 2013-2017	TC Cempaka	TC Dahlia	DJF 2013-2017	TC Cempaka	TC Dahlia	DJF 2017	TC Cempaka	TC Dahlia
1000.0	7.6	11.7	11.9	6.4	5.3	4.5	6.1	11.7	7.6
925.0	14.4	24.5	23.2	11.9	8.5	11.8	14.1	28.2	24.3
850.0	15.4	33.0	27.2	12.3	6.5	12.8	14.8	27.0	26.5
700.0	14.9	29.8	28.2	12.4	7.0	14.4	15.5	21.0	30.0
500.0	12.7	19.3	19.1	11.9	9.8	13.7	12.9	15.7	17.4
400.0	11.4	17.3	14.4	11.0	11.0	12.9	11.0	11.5	14.4
300.0	11.8	12.3	11.3	10.6	11.8	8.5	11.0	8.3	13.8
250.0	13.9	13.8	12.8	13.1	9.7	12.6	12.7	8.7	13.6
200.0	20.7	15.3	23.3	18.6	11.3	17.5	20.1	11.7	20.4
150.0	33.5	28.8	34.0	31.5	15.0	30.5	37.0	12.3	26.3
100.0	31.1	43.0	51.4	36.5	29.2	43.3	44.8	35.8	48.0



Gambar 5. Crossection (a) Stasiun Meteorologi Cengkareng Siklon Tropis Cempaka, (b) Stasiun Meteorologi Cengkareng Siklon Tropis Dahlia, (c) Stasiun Meteorologi Juanda Siklon Tropis Cempaka, (d) Stasiun Meteorologi Juanda Siklon Tropis Dahlia, (e) Stasiun Meteorologi Cilacap Siklon Tropis Cempaka, (f) Stasiun Meteorologi Cilacap Siklon Tropis Dahlia.

Crossection menampilkan profil arah dan kecepatan angin pada masing-masing stasiun meteorologi per jam pengamatan. Sumbu x adalah data angin per jam pengamatan dan sumbu y merupakan tekanan (mb). Pada lapisan 1000 - 300 mb, arah angin dominan berasal dari Barat Daya, Barat, dan Barat Laut dengan kecepatan 10-50 knot (Gambar 5(a) dan 5(b)). Menurut analisis yang telah dilakukan oleh Finocchio dkk (2016) dengan menggunakan model WRF, angin baratan pada struktur siklon tropis terjadi di lapisan 850 - 200 mb dengan kecepatan 20 knot [6]. Pada lapisan 300 - 150 mb arah angin di lapisan ini mengalami perubahan dari angin baratan menuju angin timuran, sehingga pada lapisan tersebut arah angin tidak beraturan dengan

kecepatan angin lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan angin pada lapisan 1000 – 300 mb. Pada lapisan 150 - 90 mb, arah angin berasal dari timur laut dan timur dengan kecepatan angin menguat kembali terutama pada lapisan 90 mb mencapai lebih dari 50 knot.

Profil angin vertikal Stasiun Meteorologi Juanda pada saat terjadi siklon tropis Cempaka (Gambar 5(c)) menunjukkan arah angin dari lapisan 1000 mb hingga 90 mb memiliki pola yang acak dengan kecepatan lebih rendah dibandingkan dengan kecepatan angin pada Stasiun Meteorologi Cengkareng pada saat siklon tropis Cempaka (Gambar 5(a)).

Profil angin vertikal saat siklon tropis Dahlia di Stasiun Meteorologi Juanda (Gambar 5(d)) menunjukkan pada lapisan 1000 mb hingga 500 mb arah angin berasal dari barat dan barat laut, pada lapisan 500 mb hingga 200 mb arah angin mengalami perubahan dari angin baratan menjadi timuran. Arah angin pada lapisan 200 mb hingga 90 mb berasal dari timur. Jika dibandingkan dengan kecepatan angin pada saat siklon tropis Cempaka, kecepatan angin pada saat siklon tropis Dahlia di Stasiun Meteorologi Juanda lebih besar, namun masih lebih kecil dibandingkan dengan kecepatan angin pada Stasiun Meteorologi Cengkareng (Gambar 5(b)).

Pada Stasiun Meteorologi Cilacap, pola profil angin vertikal pada kedua siklon sama dengan pola profil angin di Stasiun Meteorologi Cengkareng. Angin baratan terjadi pada lapisan 1000 mb hingga 300 mb pada saat siklon tropis Cempaka (Gambar 5(e)) dan siklon tropis Dahlia (Gambar 5(f)). Pada lapisan 300 mb hingga 150 mb terjadi perubahan arah angin yang diikuti dengan angin timuran pada lapisan 150 mb hingga 90 mb. Kecepatan angin pada saat siklon tropis Dahlia (Gambar 5(f)) lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan angin pada saat siklon tropis Cempaka (Gambar 5(e)). Menurut Finocchio dkk (2016), angin yang berubah secara tiba-tiba pada lapisan troposfer atas akan mengakibatkan intensifikasi siklon tropis terjadi lebih cepat dibandingkan dengan di troposfer bawah [6].

Indeks Stabilitas Atmosfer. Hasil perhitungan indeks stabilitas atmosfer pada ketiga stasiun meteorologi ditampilkan dalam Tabel 2 saat siklon tropis Cempaka. Nilai CAPE pada ketiga stasiun memiliki nilai lebih rendah dibandingkan dengan nilai rerata CAPE pada bulan DJF. Menurut [7], suatu lingkungan mungkin memiliki nilai CAPE yang sama tetapi tingkat kestabilan atmosfernya berbeda tergantung dari tinggi rendah dan tebal tipisnya CAPE. Nilai CIN di Stasiun Meteorologi Cengkareng lebih kecil dibandingkan dengan rerata CIN pada bulan DJF stasiun tersebut. Sedangkan nilai CIN saat siklon tropis Cempaka di Stasiun Meteorologi Juanda dan Stasiun Meteorologi Cilacap nilainya lebih besar dibandingkan dengan rerata bulan DJF.

Nilai K indeks pada saat siklon tropis Cempaka di Stasiun Meteorologi Cengkareng, Juanda, dan Cilacap secara berurutan sebesar 36.73, 36.58 dan 36.32. Nilai K indeks pada ketiga stasiun tersebut menunjukkan kemungkinan terjadinya badai Guntur cukup besar [8] [9]. Nilai *Lifted Indeks* pada saat siklon tropis Cempaka di Stasiun Meteorologi Cengkareng, Juanda, dan Cilacap secara berurutan sebesar -1.50, -1.20, -0.43. Nilai *lifted indeks* lebih besar dari -2 menunjukkan potensi *thunderstorm*

lemah berdasarkan klasifikasi RAOB [8], maka nilai *Lifted Indeks* saat terjadi siklon tropis Cempaka pada ketiga stasiun meteorologi menunjukkan bahwa potensi terjadinya *thunderstorm* lemah.

Precipitable water (PW) merupakan parameter yang dapat menggambarkan secara langsung kandungan uap air di atmosfer. Pengamatan uap air paling banyak dilakukan menggunakan radiosonde. Radiosonde dapat menyediakan data uap air terpanjang dan telah dijadikan sebagai sumber utama dalam melakukan analisis profil uap air troposfer. Meskipun radiosonde dapat menyediakan data uap air dengan akurasi hingga millimeter, namun karena distribusi spasial yang jarang dan resolusi temporal yang rendah (dua kali pengamatan dalam sehari), data uap air dari radiosonde belum dapat memenuhi kebutuhan untuk prakiraan cuaca jangka pendek [11]. Nilai rerata PW pada saat terjadi siklon tropis Cempaka di Stasiun Meteorologi Cengkareng, Juanda dan Cilacap secara berurutan masing-masing sebesar 62.54, 64.62 dan 61.94 mm. Menurut Syaifulloh (2018), nilai rerata PW untuk Stasiun Meteorologi Cengkareng dan Juanda masing-masing sebesar 52.65 dan 51.66 mm [8]. Nilai PW pada saat Siklon Tropis Cempaka lebih besar jika dibandingkan dengan nilai rerata PW pada bulan DJF ketiga stasiun pengamatan.

Nilai rerata *Showalter Indeks* (SI) pada saat siklon tropis Cempaka di Stasiun Meteorologi Cengkareng, Juanda, dan Cilacap secara berurutan masing-masing sebesar 0.67, 0.35 dan 0.99. Berdasarkan klasifikasi RAOB, nilai SI 4 hingga -4 menunjukkan potensi *thunderstorm* sedang. Nilai SWEAT saat siklon tropis Cempaka pada Stasiun Meteorologi Cengkareng, Juanda, dan Cilacap berturut-turut sebesar 267.53, 215.04 dan 248.27. Menurut Budiarti dkk (2012), pada Stasiun Meteorologi Cengkareng, badai guntur terjadi jika nilai SWEAT indeks lebih besar dari 135. Berdasarkan kriteria nilai SWEAT untuk wilayah subtropis, wilayah Cengkareng memiliki kemungkinan terjadi badai guntur hebat, wilayah Juanda memiliki kemungkinan terjadi pertumbuhan awan cumulus, dan wilayah Cilacap memiliki kemungkinan terjadi badai guntur.

Nilai rerata *Totals-Totals Indeks* saat siklon tropis Cempaka pada stasiun Meteorologi Cengkareng, Juanda dan Cilacap secara berurutan sebesar 42.55, 42.38 dan 42.12. Menurut Budiarti dkk (2012), kejadian badai guntur di Stasiun Meteorologi Cengkareng umumnya terjadi pada nilai *Totals-Totals Indeks* sebesar 42-46 [9]. Sedangkan menurut Syaifulloh (2018), rerata nilai *Total-Totals Indeks* untuk Stasiun Meteorologi Cengkareng dan Juanda sebesar 42 dan 43, yang berarti kedua stasiun tersebut memiliki peluang terjadinya badai Guntur[8].

Hasil perhitungan indeks stabilitas atmosfer saat siklon tropis Dahlia pada ketiga stasiun meteorologi ditampilkan dalam Tabel 3. Indeks stabilitas atmosfer yang signifikan pada saat terjadinya Siklon Tropis Dahlia diantaranya adalah *Precipitable Water*

(PW) dan SWEAT indeks. Berdasarkan analisis indeks stabilitas, pada siklon tropis Cempaka peluang terjadinya badai guntur lebih tinggi dibandingkan dengan siklon tropis Dahlia.

Tabel 2. Indeks Stabilitas Atmosfer saat siklon tropis Cempaka

Indeks Stabilitas	Stasiun Meteorologi					
	Cengkareng		Juanda		Cilacap	
	DJF 2013-2017	TC Cempaka	DJF 2013-2017	TC Cempaka	DJF 2017	TC Cempaka
CAPE	589.39	383.69	508.34	250.21	331.98	197.77
CIN	-57.32	-66.59	-75.00	-52.80	-33.39	-31.21
K Indeks	33.70	36.73	33.82	36.58	32.28	36.32
Lifted Indeks	-1.81	-1.50	-1.58	-1.20	-1.27	-0.43
PW (mm)	57.14	62.54	57.33	64.62	54.69	61.94
SI	0.47	0.67	0.49	0.35	0.98	0.99
SWEAT	222.44	267.53	217.02	215.04	214.92	248.27
Totals Totals Indeks	43.16	42.55	43.11	42.38	42.64	42.12

Tabel 3. Indeks Stabilitas Atmosfer saat siklon tropis Dahlia

Indeks Stabilitas	Stasiun Meteorologi					
	Cengkareng		Juanda		Cilacap	
	DJF 2013-2017	TC Dahlia	DJF 2013-2017	TC Dahlia	DJF 2017	TC Dahlia
CAPE	589.39	157.24	508.34	435.53	331.98	146.15
CIN	-57.32	-74.64	-75.00	-81.91	-33.39	-73.53
K Indeks	33.70	31.09	33.82	31.43	32.28	29.41
Lifted Indeks	-1.81	0.44	-1.58	-0.86	-1.27	0.12
PW	57.14	55.85	57.33	58.99	54.69	54.92
SI	0.47	1.30	0.49	1.57	0.98	2.05
SWEAT	222.44	265.29	217.02	223.89	214.92	247.94
Totals Totals Indeks	43.16	41.12	43.11	40.86	42.64	40.36

4. Kesimpulan

Hasil analisis data radiosonde pada Stasiun Meteorologi Cengkareng, Juanda dan Cilacap menunjukkan bahwa siklon tropis Cempaka dan Dahlia mengakibatkan adanya perubahan kondisi profil vertikal atmosfer. Nilai rerata suhu udara pada kedua siklon mencapai 1-2°C lebih tinggi dari rerata DJF, sedangkan suhu titik embun mencapai 1-5°C lebih tinggi dari rerata DJF. Rerata kelembaban udara saat siklon tropis Cempaka pada ketiga Stasiun Meteorologi lebih tinggi dibandingkan dengan rerata kelembaban udara DJF. Sedangkan rerata kelembaban udara saat siklon tropis Dahlia pada ketiga Stasiun Meteorologi lebih rendah dibandingkan dengan rerata kelembaban udara DJF. Kecepatan angin pada kedua siklon tropis lebih besar dibanding kecepatan angin DJF. Indeks stabilitas atmosfer yang cukup signifikan pada saat

siklon tropis Cempaka adalah *K Index*, *Precipitable Water* (PW), *SWEAT*, dan *Totals-Totals Index*. Sedangkan pada saat siklon tropis Dahlia hanya *Precipitable Water* (PW) dan *SWEAT*. Siklon tropis Cempaka memiliki pengaruh yang lebih besar terhadap kondisi profil vertikal atmosfer di Pulau Jawa dibandingkan dengan Siklon Tropis Dahlia.

Ucapan Terima Kasih

Penulis sampaikan terima kasih kepada Kepala Pusat Meteorologi Penerbangan, Kepala Bidang Manajemen Observasi Meteorologi Penerbangan, serta rekan-rekan di Sub Bidang Manajemen Observasi Udara Atas untuk pemanfaatan data yang digunakan dalam kajian ini.

Daftar Pustaka

- [1] M. V. Ratnam, S. Ravindra Babu, S. S. Das, G. Basha, B. V. Krishnamurthy, and B. Venkateswararao, "Effect of tropical cyclones on the stratosphere-troposphere exchange observed using satellite observations over the north Indian Ocean" *Atmos. Chem. Phys.*, vol. 16, pp. 8581–8591, 2016.
- [2] R. Rondanelli *et al.*, "The Life Cycle of A Radiosonde". 2012.
- [3] L. Haimberger, "Homogenization of Radiosonde Temperature Time Series Using Innovation Statistics," 2007.
- [4] N. Crnivec and R. K. Smith, "Mean radiosonde soundings for the Australian monsoon/cyclone season." *Trop. CYCLONE Res. Rep.*, 2015.
- [5] F. Flores *et al.*, "The Life Cycle of a Radiosonde." *Am. Meteorol. Soc.*, 2013.
- [6] P. M. Finocchio, S. J. Majumdar, N. David S, and M. Iskandarani, "Idealized Tropical Cyclone Responses to the Height and Depth of Environmental Vertical Wind Shear." *Am. Meteorol. Soc.*, vol. 144. 2016.
- [7] D. O. Blanchard, "NOTES AND CORRESPONDENCE Assessing the Vertical Distribution of Convective Available Potential Energy." 1998.
- [8] M. D. Syaifullah, "Analisis Kondisi Udara Atas Wilayah Indonesia dengan Radiosonde." *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 18. no. 1, Mar. 2018.
- [9] M. Budiarti, M. Muslim, and Y. Ilhamsyah, "Studi Indeks Stabilitas Udara Terhadap Prediksi Kejadian Badai Guntur (Thunderstorm) Di Wilayah Stasiun Meteorologi Cengkareng Banten." *J. Meteorol. dan Geofis.*, vol. 13. no. 2, 2012.
- [10] J. J. George and R. J. Shafer, "Weather Forecasting for Aeronautics." *Weather Forecast. Aeronaut.*, 1960.
- [11] B. Chen and Z. Liu. "Analysis of Precipitable Water Vapor (PWV) Data Derived from Multiple Techniques: GPS, WVR, Radiosonde and NHM in Hong Kong." *Proc. Vol. I, Lect. Notes Electr. Eng.* 303, 2014.