

Jurnal Inovasi Fisika Indonesia (IFI) Volume 14 Nomor 1 Tahun 2025, hal 43-54

ANALISIS SUHU BOLA BASAH DAN SELISIH TEKANAN UDARA SEBAGAI PARAMETER DALAM MEMPREDIKSI AWAN CUMULONIMBUS DI STASIUN METEOROLOGI MARITIM TANJUNG PERAK

¹⁾Eni Novianti, ²⁾Ni Made Aprillia Sekar Manggar Tika, ³⁾Novia Pramesti, ⁴⁾Nurzaka Faridatussafura, ⁵⁾Arie Realita

- ¹⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: eni.20016@mhs.unesa.ac.id
²⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: ni.20049@mhs.unesa.ac.id
³⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: novia.20014@mhs.unesa.ac.id
⁴⁾ Stasiun Meteorologi Maritim Kelas II Tanjung Perak Surabaya, email: tussafura@gmail.com
⁵⁾ Program Studi Fisika, FMIPA, Universitas Negeri Surabaya, email: arierealita@unesa.ac.id

Abstrak

Kemunculan awan cumulonimbus dapat menyebabkan cuaca ekstrem seperti badai guntur dan petir. Untuk mengetahui potensi kemunculannya dapat dilakukan dengan mengidentifikasi parameter suhu bola basah dan selisih tekanan udara. Parameter tersebut berpengaruh pada kelembapan udara yang menjadi faktor penting pembentukan awan cumulonimbus. Dalam konteks penelitian ini, periode tahun 2022 diambil sebagai sampel analisis untuk mengetahui pola representatif kejadian cuaca ekstrem akibat kemunculan awan cumulonimbus. Metode penelitian ini menggunakan metode pembacaan data sinoptik melalui buku laporan ME-48. Setelah data di analisis dan diolah menggunakan Microsoft Excel dapat ditemukan kemunculan awan cumulonimbus pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, Juni, Oktober, November dan Desember, di mana awan cumulonimbus mulai memasuki tingkat dewasa terjadi pukul 13.00 WIB. Rentang nilai suhu bola basah pada pembacaan pukul 09.00 hingga 11.00 WIB digunakan untuk memprediksi kemunculan awan cumulonimbus adalah 26,1-26,5°C. Sedangkan selisih nilai tekanan udara yaitu pada rentang 1,3-1,6 milibar atau 130-160 Pascal. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan peringatan dini terhadap kejadian cuaca ekstrem khususnya di wilayah cakupan Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak.

Kata Kunci: awan cumulonimbus, suhu bola basah, selisih tekanan udara, cuaca ekstrem, data sinoptik

Abstract

The appearance of cumulonimbus clouds may trigger extreme weather, such as thunderstorms and lightning. It is possible to predict its appearance by figuring out the wet bulb temperature aspects and the differential in air pressure. These variables have an impact on air humidity, which is an essential element in the occurrence of cumulonimbus clouds. This study employs the 2022 timeframe as a sample pattern of catastrophic weather conditions due to the arrival of cumulonimbus clouds. For this reason, the ME-48 report book was adopted for the synoptic data reading method. Using Microsoft Excel to analyze and process data resulted in the onset of cumulonimbus clouds in January, February, March, April, May, June, October, November and December, with cumulonimbus clouds approaching maturity at 13.00 WIB. The range of wet bulb temperature values used to anticipate the arrival of cumulonimbus clouds is 26.1-26.5°C during measurements from 09.00 to 11.00 WIB. Meanwhile, the air pressure differential lies within the range of 1.3-1.6 millibars (130-160 Pascal). This study is intended to assist in mitigating the consequences of early warning systems for extreme weather, particularly in the immediate area of the Tanjung Perak Maritime Meteorological Station.

Keywords: cumulonimbus clouds, wet bulb temperature, air pressure difference, extreme weather, synoptic data

I. PENDAHULUAN

Awan Cumulonimbus (Cb) memiliki dampak signifikan terhadap dinamika atmosfer dan kondisi cuaca lokal (Saragih *et al.*, 2017; Hutagalung *et al.*, 2022). Dampak kemunculan awan Cb salah satunya adalah menimbulkan cuaca ekstrem berupa petir dan badai guntur (Abay and Haryanto, 2021; Kholiviana *et al.*, 2022). Cuaca ekstrem yang terdampak dari awan Cb berkaitan dengan proses pembentukan awan itu sendiri (Caraka *et al.*, 2015). Terbentuknya awan Cb karena pertemuan massa udara jenuh, di mana angin bergerak dari ketidakstabilan lapisan udara sehingga daya angkat ke atas sangat kuat (Sipayung, 2017; Ardiansyah, 2022). Kemunculan awan Cb yang terbentuk dapat diidentifikasi menggunakan parameter nilai suhu bola basah dan tekanan udara (Faridatussafura *et al.*, 2016). Suhu bola basah dan tekanan udara berkaitan erat dengan aspek kelembapan udara (Stull, 2011). Kelembapan udara sebagai faktor penting dalam awan Cb karena menjadi komponen pembentukan awan Cb (Fan *et al.*, 2007; Firdaus *et al.*, 2021).

Dominasi awan Cb yang terbentuk tidak bisa dipisahkan dari faktor geografis dan topografi wilayah yang bervariasi (Azani and Kusumawardani, 2022). Dalam konteks penelitian ini adalah wilayah Jawa Timur. Secara geografis, wilayah Jawa Timur berbatasan dengan Laut Jawa di sebelah utara dan Samudera Hindia di sebelah selatan (Sulistiyono and Rochwulaningsih, 2013). Pada wilayah Samudera Hindia merupakan salah satu daerah pembentukan dan lintasan siklon tropis sehingga cuaca di Indonesia, khususnya Jawa Timur tidak terlepas dari pengaruh yang disebabkan oleh siklon tropis (Mahsunah *et al.*, 2019). Selain itu, mayoritas daratan Jawa Timur terdiri atas pegunungan dan lembah sehingga ditemukan pengaruh angin darat-laut dan angin gunung-lembah dalam pembentukan awan Cb (Azani and Kusumawardani, 2022).

Penelitian terhadap parameter cuaca berupa suhu bola basah dan selisih tekanan udara untuk memprediksi kemunculan awan Cb telah dilakukan sebelumnya oleh Nurbaskoro (2012) dengan daerah penelitian Banyuwangi (Stasiun Meteorologi Banyuwangi). Parameter cuaca yang dianalisis dalam penelitian tersebut adalah suhu bola basah. Hasil yang diperoleh dalam penelitian tersebut yaitu waktu awan Cb memasuki tingkat dewasa di Stasiun Meteorologi Banyuwangi adalah pukul 12.00 hingga 19.00 WIB, sehingga digunakan waktu pukul 08.00 hingga 10.00 WIB sebagai waktu prakiraan kemunculan awan Cb. Dari waktu tersebut dihasilkan nilai minimal suhu bola basah yang dapat digunakan untuk memprediksi kemunculan awan Cb yaitu sebesar 25,5°C.

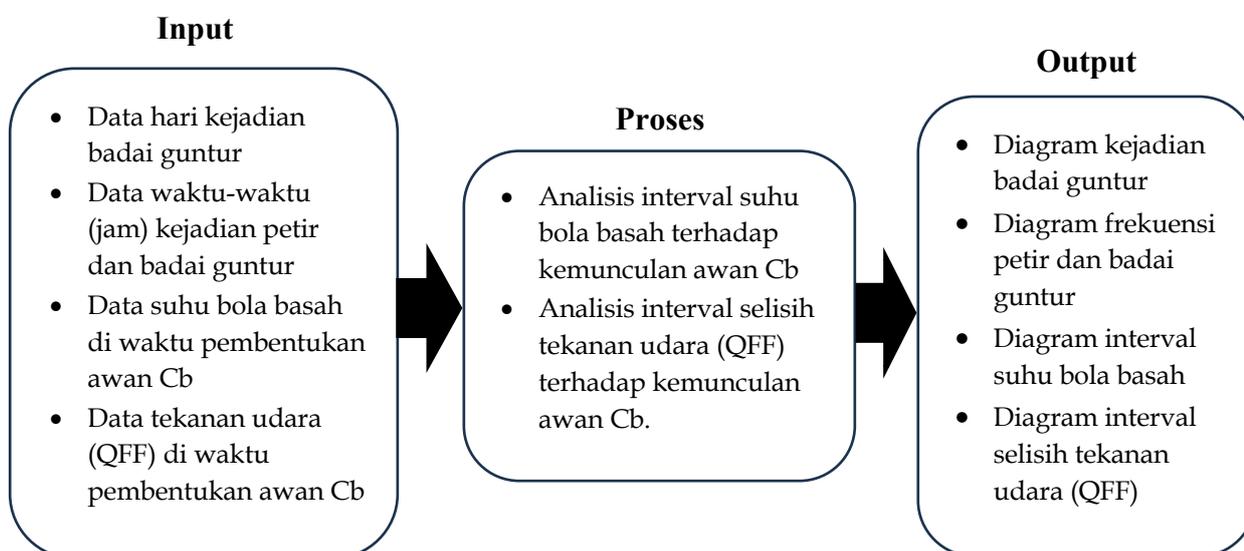
Selain itu, Faridatussafura *et al.* (2016) melakukan penelitian yang serupa dengan wilayah penelitian yang berbeda yaitu di Stasiun Meteorologi Maritim Semarang. Hasil dari penelitian tersebut yaitu waktu awan Cb memasuki tingkat dewasa di Stasiun Meteorologi Maritim Semarang adalah pukul 13.00 WIB sehingga digunakan waktu pukul 09.00 hingga 11.00 WIB sebagai waktu untuk memprediksi kemunculan awan Cb. Berdasarkan pertimbangan waktu yang digunakan tersebut menghasilkan interval nilai suhu bola basah yaitu 25,6-26,0°C. Dari kedua penelitian di atas dapat dicermati bahwa dari tahun 2012 sampai tahun 2016 yang memiliki selisih 4 tahun, suhu bola basah naik sekitar 0,1-0,5°C meskipun di lokasi penelitian yang berbeda. Walaupun demikian, temuan penelitian ini dapat menjadi indikator dalam menyimpulkan bahwa suhu udara di beberapa wilayah Indonesia semakin meningkat setiap berganti tahun. Oleh karena itu, dari penelitian yang telah dilaksanakan tersebut perlu dilaksanakan penelitian kembali untuk memahami perihal kondisi suhu udara dan selisih tekanan udara di tahun 2022.

Pada penelitian ini dilakukan dengan menganalisis suhu bola basah dan selisih tekanan udara dalam periode bulan Januari hingga Desember 2022 di Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak,

di mana wilayah penelitian ini melakukan pengamatan unsur-unsur cuaca, baik sinoptik maupun kemaritiman. Data sinoptik dapat digunakan dalam pemantauan dan pembuatan informasi cuaca di suatu wilayah (Diani *et al.*, 2012). Keunggulan penggunaan data sinoptik untuk pengamatan dan pengumpulan data parameter cuaca adalah pembaruan data yang detail, jelas dan secara *real-time* (Alfiandy and Permana, 2020). Hasil yang diperoleh diharapkan dapat menjadi upaya mitigasi cuaca ekstrem yang ditimbulkan oleh awan Cb di cakupan wilayah pengamatan setempat. Pengaruh cuaca ekstrem juga memengaruhi keselamatan transportasi baik darat, air maupun udara. Dengan mengetahui prediksi kemunculan awan Cb dengan parameter suhu bola basah dan selisih tekanan udara diharapkan dapat membantu prakirawan dalam memprediksi kemungkinan cuaca ekstrem sehingga kecelakaan akibat faktor cuaca dapat dihindari.

II. METODE

Data dalam penelitian ini adalah data sekunder dari laman basis data BMKGSoft melalui akses komputer di kantor Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak Surabaya. Data yang diperoleh akan diolah menggunakan Microsoft Excel untuk membentuk diagram kemunculan peristiwa badai guntur harian, frekuensi fenomena petir dan badai guntur tiap 60 menit, interval suhu bola basah dan selisih tekanan udara. Wilayah pengamatan yang dilakukan dalam memenuhi kebutuhan data parameter cuaca ini berada di radius teritorial Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak Surabaya dalam kurun waktu selama tahun 2022. Gambar 1 berikut merupakan bagan elementer alur rancangan penelitian ini.



Gambar 1. Rancangan penelitian analisis suhu bola basah dan selisih tekanan udara untuk memprediksi kemunculan awan Cumulonimbus (Cb).

Parameter cuaca berupa kemunculan petir, badai guntur, suhu bola basah dan tekanan udara QFF dari hasil pengamatan melalui interpretasi sandi sinoptik yang terekam pada form ME 48 didapatkan dengan memasukkan *username* stasiun pengamatan dan *password* pada laman pusat *online database* BMKGSoft (<http://bmksoft.database.bmkg.go.id/MetView/>). Penentuan suhu bola basah dan selisih nilai tekanan udara di selang waktu tertentu berasal dari hasil tinjau waktu-waktu (jam) frekuensi kejadian petir dan badai guntur di bulan-bulan dengan jumlah hari kejadian badai guntur melebihi rata-rata selama tahun 2022. Dengan membuat tabulasi data hari kejadian badai guntur setiap bulan selama tahun 2022, dapat diidentifikasi jumlah kejadian petir dan badai guntur setiap 60 menit pada bulan-bulan yang melebihi indeks rata-rata data harian badai guntur. Tabulasi

data kejadian petir dan badai guntur setiap 60 menit digunakan sebagai acuan dari waktu potensi kemunculan fenomena awan Cb sehingga dapat ditentukan suhu bola basah dan selisih tekanan udara yang menunjukkan keadaan pembentukan awan Cb (Faridatussafura *et al.*, 2016). Data suhu bola basah dan selisih tekanan udara (QFF) dibagi menjadi kelas-kelas dengan rentang tertentu. Nilai suhu bola basah dan selisih tekanan udara dianalisis untuk mempelajari karakteristik awan Cb dan sebagai informasi sistem peringatan dini terhadap cuaca ekstrem.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

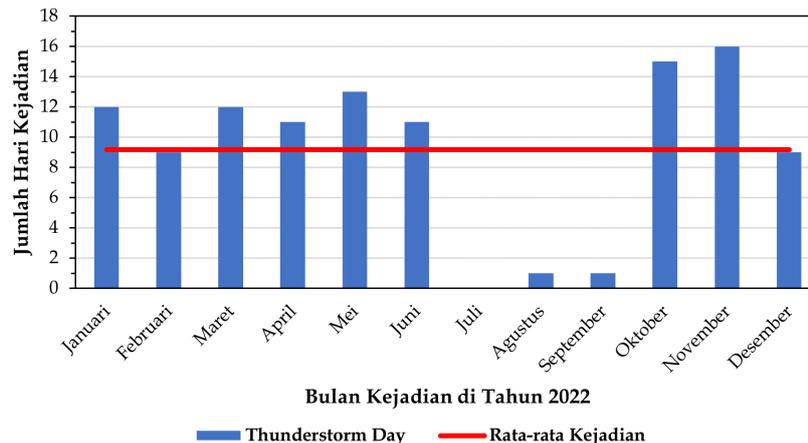
Data dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari data sinoptik diakses melalui server Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak Surabaya. Data parameter cuaca yang digunakan berupa data suhu bola basah yang dikaitkan dengan selisih tekanan udara (QFF) secara *real-time* setiap 60 menit dalam kurun waktu 24 jam pada bulan Januari sampai Desember 2022 di wilayah cakupan Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak Surabaya. Hasil interpretasi dari pengolahan data parameter cuaca tersebut adalah diagram badai guntur, frekuensi petir dan badai guntur, serta interval suhu bola basah dan selisih tekanan udara (QFF) yang masing-masing ditabulasikan dengan membuat rata-rata per 60 menit selama bulan Januari sampai Desember 2022.

1. *Data Badai Guntur Harian*

Tabel 1. Data bulan dengan jumlah kemunculan badai guntur di Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak setiap hari selama tahun 2022.

Bulan	<i>Thunderstorm Day</i>
Januari	12
Februari	9
Maret	12
April	11
Mei	13
Juni	11
Juli	0
Agustus	1
September	1
Oktober	15
November	16
Desember	9
Rata-rata	9

Pada Tabel 1 menunjukkan jumlah per bulan hari kejadian badai guntur pada tahun 2022. Pembahasan lebih lanjut terkait data di atas dapat disajikan dalam bentuk diagram batang untuk memberikan visualisasi data berikut.



Gambar 2. Diagram batang bulan dengan jumlah kemunculan badai guntur di Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak setiap hari selama tahun 2022.

Ditinjau dari Gambar 2 yang merupakan gambaran dari Tabel 1 data badai guntur menunjukkan jumlah hari terjadinya badai guntur selama satu tahun yaitu tahun 2022. Data badai guntur yang telah diakumulasikan kemudian ditentukan nilai rata-rata selama bulan Januari sampai Desember 2022. Bulan-bulan dengan jumlah hari kejadian badai guntur melebihi rata-rata dipilih untuk menjadi batasan penelitian. Jumlah badai guntur tertinggi yaitu pada bulan November dengan 16 kejadian badai guntur, sedangkan pada bulan Juli tidak terjadi badai guntur sama sekali. Badai guntur terdiri atas petir dan guntur yang dihasilkan dari awan Cb serta umumnya terjadi bersamaan dengan angin kencang dan hujan (Stolzenburg and Marshall, 2008; Putra and Lursinsap, 2014; Chaeran and Harcici, 2020; Nugraha *et al.*, 2021).

Secara teori, musim hujan terjadi pada bulan Oktober hingga Maret sedangkan musim kemarau terjadi pada bulan April hingga September (Dida *et al.*, 2016; Suhery *et al.*, 2023), dimana periode musim tersebut berbanding lurus dengan data *real-time* badai guntur yang didapatkan. Dalam penjabaran konteks yang lebih sederhana badai guntur dapat terjadi akibat pembentukan awan Cb sehingga data badai guntur tersebut dapat digunakan untuk mengidentifikasi kemunculan awan Cb. Kemunculan awan Cb pada tahun 2022 intensif terjadi pada periode musim hujan, puncaknya pada bulan November 2022. Dari data di atas dapat disimpulkan bahwa rata-rata per bulan hari kejadian badai guntur tahun 2022 adalah 9 kejadian. Bulan-bulan dengan jumlah hari kejadian badai guntur melebihi rata-rata yaitu Januari, Februari, Maret, April, Mei, Juni, Oktober, November dan Desember.

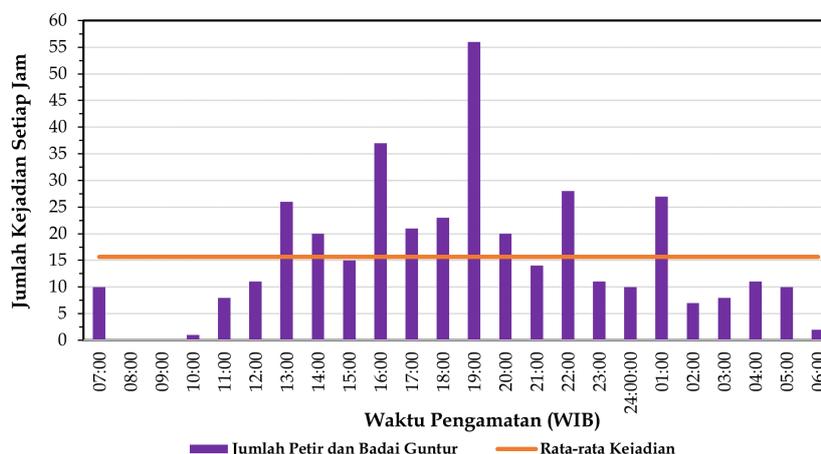
2. Data Petir dan Badai Guntur Setiap Jam

Tabel 2. Frekuensi fenomena petir dan badai guntur setiap jam di Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak selama tahun 2022.

Jam (WIB)	Bulan									Jumlah
	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Okt	Nov	Des	
07:00	0	0	1	0	3	3	1	1	1	10
08:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:00	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1

11:00	0	0	0	1	1	0	1	3	2	8
12:00	0	0	1	2	0	1	3	2	2	11
13:00	1	1	2	5	2	1	4	6	4	26
14:00	1	1	0	6	1	2	3	4	2	20
15:00	0	2	3	3	1	1	3	1	1	15
16:00	2	3	4	6	2	2	8	7	3	37
17:00	4	2	2	1	0	1	6	3	2	21
18:00	6	3	2	3	0	1	4	3	1	23
19:00	8	5	8	6	4	3	10	8	4	56
20:00	4	2	5	0	2	1	1	4	1	20
21:00	2	1	2	1	2	2	2	1	1	14
22:00	5	3	5	1	4	3	3	3	1	28
23:00	2	0	2	1	3	1	1	1	0	11
24:00	0	0	1	1	2	1	3	2	0	10
01:00	3	1	5	2	8	2	1	5	0	27
02:00	0	0	0	0	3	0	0	3	1	7
03:00	0	0	0	0	2	0	1	4	1	8
04:00	0	0	0	0	3	1	1	4	2	11
05:00	1	1	1	0	1	4	0	1	1	10
06:00	0	0	0	0	0	1	0	1	0	2
Rata-rata										16

Tabel 2 menunjukkan jumlah setiap jam kejadian petir dan badai guntur pada bulan-bulan tertentu yang peristiwa badai guntur harian melebihi rata-rata selama tahun 2022. Pembahasan lebih lanjut terkait data di atas ditampilkan dalam bentuk diagram batang berikut.



Gambar 3. Diagram batang waktu kejadian petir dan badai guntur tahun 2022.

Gambar 3 menunjukkan kejadian badai guntur dan petir setiap jam pada bulan yang melebihi rata-rata, yaitu 9 kejadian selama tahun 2022. Seperti yang telah dikuantifikasi pada Gambar 3, di mana pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, Juni, Oktober, November dan Desember pukul 00.00-24.00 UTC atau pada waktu pengamatan setempat, yakni jam 07.00-06.00 WIB. Kemudian data pengamatan petir dan badai guntur setiap 60 menit pada bulan tersebut menghasilkan nilai absolut dan diperoleh nilai rata-rata tertinggi sebagai batasan penelitian, yaitu

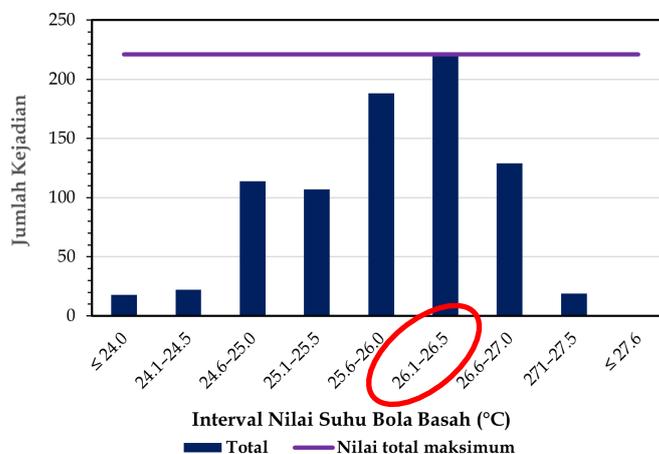
16 kejadian petir dan badai guntur. Badai guntur dan petir dapat digunakan untuk memprediksi kemunculan awan Cb karena secara teori menyatakan fenomena tersebut bagian dari pertumbuhan awan pada fase dewasa (*mature*) (Tjasyono, 2004). Kesimpulan yang dapat diambil melalui pemahaman Gambar 3 yang menunjukkan rata-rata frekuensi kemunculan badai guntur dan petir setiap 60 menit pada tahun 2022 disimbolkan dengan garis berwarna jingga adalah keberadaan awan Cb yang melampaui batasan mulai terlihat pada pukul 13.00 WIB, yaitu 26 kejadian.

3. Data Interval Nilai Suhu Bola Basah

Tabel 3. Rentang nilai suhu bola basah pada waktu-waktu yang berpotensi mulai kemunculan awan Cb menuju fase tingkat dewasa.

Bulan	Interval Suhu Bola Basah (...°C)								
	≤ 24,0	24,1-24,5	24,6-25,0	25,1-25,5	25,6-26,0	26,1-26,5	26,6-27,0	27,1-27,5	≤ 27,6
Januari	9	12	61	11	0	0	0	0	0
Februari	2	3	13	21	22	16	7	0	0
Maret	0	0	4	6	26	41	14	2	0
April	0	0	0	4	22	36	25	3	0
Mei	0	0	0	4	11	23	42	12	1
Juni	2	3	12	18	28	21	6	0	0
Oktober	1	2	12	14	29	27	8	0	0
November	2	1	2	9	27	32	15	2	0
Desember	2	1	10	20	23	25	12	0	0
Jumlah	18	22	114	107	188	221	129	19	1

Tabel 3 merupakan akumulasi nilai suhu bola basah pada waktu tertentu selama tahun 2022 yang dilalui fase pembentukan awan Cb dan direpresentasikan dalam kelas-kelas yang memiliki rentang nilai seragam. Berikut ilustrasi diagram batang dari Tabel 3 yang menunjukkan nilai suhu bola basah dengan jumlah signifikan.



Gambar 4. Diagram batang jumlah kejadian nilai suhu bola basah di waktu mula pembentukan awan Cb.

Berdasarkan intepretasi hasil data frekuensi kejadian petir dan badai guntur dapat diperlukan sebagai penentuan dalam memperoleh data suhu bola basah. Suhu termasuk dalam faktor utama dalam memprediksi kemunculan awan cumulonimbus (Haklender and Delden, 2003; Mayangwulan *et al.*, 2011; Rais *et al.*, 2020). Dalam batasan penelitian ini adalah data suhu dari termometer bola basah. Hasil ukur termometer bola basah menunjukkan suhu titik jenuh dalam udara yang dapat memberikan informasi tentang kelembapan atmosfer. Titik jenuh adalah suhu udara mencapai kelembapan relatif 100% atau udara mengandung sebanyak mungkin uap air di suhu tersebut (Stull, 2011; Sadeghi *et al.*, 2013; Yan *et al.*, 2019; Chen and Chen, 2022). Ketika udara mencapai kelembapan maksimum, udara mengalami kondensasi dan membentuk awan, dan dalam kondisi tertentu. Hal ini berpotensi mengarah pada pembentukan awan Cb yang besar dan kuat.

Telah diketahui bahwa pada pukul 13.00 WIB adalah waktu kemunculan fenomena petir dan badai guntur mulai intensif dengan ditunjukkan jumlah kejadian yang melebihi rata-rata pada jam tertera sepanjang tahun 2022. Pemahaman tersebut menuju pendekatan durasi dari proses pembentukan awan Cb. Mayoritas wilayah beriklim tropis mengalami variasi daur hidup awan Cb yang tidak menentu dan bergantung kondisi atmosfer. Secara umum, awan Cb membutuhkan periode waktu selama ± 30 menit hanya untuk proses kondensasi dan 60-90 menit untuk bertahan atau bahkan beberapa jam (Riehl, 1954). Dikarenakan sifat awan Cb yang hampir fluktuatif atau berubah-ubah mengikuti faktor penghambat (Sano and Tsuboki, 2006), maka estimasi pengambilan data suhu bola basah yang tepat adalah mulai 2 jam sebelum terjadi kondensasi. Berdasarkan Tabel 3, data suhu bola basah diambil mulai pukul 09.00 hingga 11.00 WIB. Kemudian ditinjau dari Gambar 7 mengindikasikan bahwa interval nilai suhu bola basah yang mewakili kadar kelembapan maksimum untuk proses kondensasi awan Cb yang paling baik adalah 26,1-26,5°C.

Prakiraan kemunculan awan Cb melibatkan konveksi yang kuat, di mana udara hangat dan lembab naik ke atmosfer dan kemudian mendingin, membentuk awan besar dengan struktur vertikal yang mencolok (Cotton *et al.*, 2011). Terminologi struktur vertikal atmosfer dijelaskan melalui informasi tekanan udara pada ketinggian tertentu (Priyahita *et al.*, 2016). *Pressure Altitude* atau *Quasi-Flight Level* (QFF) dalam proses kondensasi mampu menjelaskan kemungkinan perubahan suhu dan kelembapan seiring ketinggian meskipun tidak terlibat secara langsung. Oleh karena itu, tekanan udara QFF dijadikan parameter yang memberikan wawasan tambahan, analisis menyeluruh tentang kondisi atmosfer pada suatu lokasi dan waktu tertentu untuk meramalkan pembentukan awan Cb. Keterkaitan tersebut menghasilkan data selisih tekanan udara (QFF) sebagai berikut.

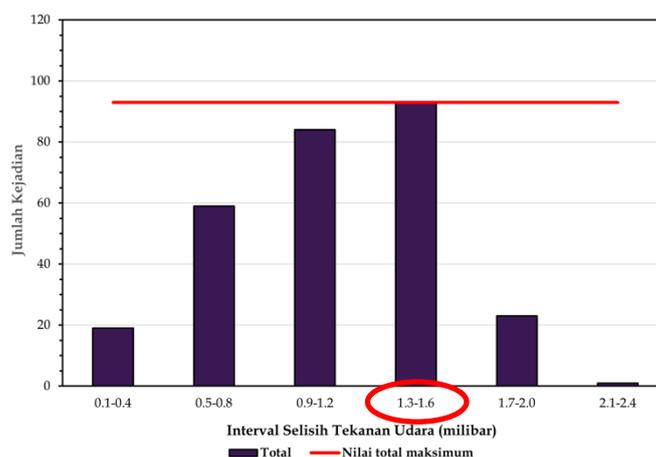
4. Data Interval Selisih Tekanan Udara

Tabel 4. Rentang selisih tekanan udara (QFF) di antara waktu yang berpotensi mulai pembentukan awan Cb menuju fase tingkat dewasa.

Bulan	Interval Selisih Tekanan Udara (...milibar)					
	0.1-0.4	0.5-0.8	0.9-1.2	1.3-1.6	1.7-2.0	2.1-2.4
Januari	1	8	12	9	1	0
Februari	5	10	10	21	0	0
Maret	0	9	12	8	2	0
April	1	4	13	8	4	0

Mei	3	6	14	6	1	1
Juni	3	5	13	8	1	0
Oktober	1	6	6	11	7	0
November	0	6	7	12	5	0
Desember	5	5	9	10	2	0
Jumlah	19	59	84	93	23	1

Tabel 4 merupakan kelas-kelas selisih tekanan udara antara waktu mulai pembentukan awan dengan waktu fase pembentukan awan Cb tepat sebelum menuju komprehensif. Berikut ilustrasi dalam bentuk diagram batang dari Tabel 4 yang menunjukkan selisih tekanan udara dengan jumlah signifikan.



Gambar 5. Diagram batang jumlah kejadian selisih tekanan udara (QFF) di antara waktu yang berpotensi mulai pembentukan awan Cb menuju fase tingkat dewasa.

Hasil data (Tabel 4. dan Gambar 5) merupakan interval selisih tekanan udara QFF. Selisih dari tekanan udara mengidentifikasi kondisi kestabilan udara sehingga pengambilan data dilakukan di antara waktu potensi mulainya kondensasi, yaitu pukul 09.00 WIB dengan waktu fase pembentukan awan Cb menjadi komprehensif (tingkat dewasa), yaitu pukul 11.00 WIB. Kelompok selisih tekanan udara yang dapat memberikan gambaran prediksi kedatangan awan Cb dengan baik, yaitu 1,3-1,6 milibar atau 130-160 Pascal. Dalam cakupan regional, kasus serupa terukur rentang nilai suhu bola basah dan selisih tekanan udara untuk memprediksi awan Cb adalah 25,6-26,0°C dan 0,5-0,9 milibar atau 50-90 Pascal (Faridatussafura *et al.*, 2016). Pemilihan sampel tahun saat pengambilan data menjadi dugaan dari perbedaan yang dihasilkan. Proyeksi tersebut mendemonstrasikan perkiraan suhu yang terus meningkat.

Sesuai konsesus ilmiah yang berkaitan dengan pemanasan global mengakui bahwa suhu bumi meningkat secara periodik (Giuliani *et al.*, 2017; Yamanouchi and Takata, 2020; Wang *et al.*, 2023). Selain itu, tekanan udara yang berkorelasi dengan kelembapan juga meningkat seiring berbanding lurus dengan suhu (Abbass *et al.*, 2022). Dengan demikian, analisis dari pengamatan jarak jauh mengenai kejadian petir dan badai guntur yang dikaitkan dengan parameter suhu bola basah dan selisih tekanan udara (QFF) memungkinkan untuk memahami serta memberikan pengawasan diri berupa peringatan dini terhadap fenomena cuaca bermakna ekstrem (Price, 2013).

IV. PENUTUP

A. Simpulan

Dampak variabilitas suhu dan tekanan udara terhadap indikator potensi cuaca ekstrem memainkan peran dalam pembentukan awan cumulonimbus. Dalam kurun waktu tahun 2022, Stasiun Meteorologi Maritim Tanjung Perak Surabaya memprediksi kemunculan awan cumulonimbus yang melampaui standar normal dari keadaan yang diperkirakan ini terjadi pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, Juni, Oktober, November dan Desember. Berdasarkan perspektif data pengamatan yang dihasilkan mengenai jumlah kejadian petir dan badai guntur setiap jam di bulan-bulan tersebut, awan cumulonimbus mulai menuju tingkat kematangan (dewasa) terjadi pada pukul 13.00 WIB. penaksiran waktu yang sesuai saat pengakumulasian data suhu bola basah adalah 2 jam sebelum terjadi pembentukan awan, yaitu mulai pukul 09.00 sampai 11.00 WIB. Selama rentang waktu yang ditentukan, interval nilai suhu bola basah atau suhu udara mencapai kelembapan maksimum yang paling mendekati dalam memprediksi kemunculan awan cumulonimbus adalah 26,1-26,5°C. Selain itu, selisih tekanan udara yang menunjukkan perubahan suhu di ketinggian tertentu juga memberikan informasi terkait kemunculan awan cumulonimbus. Untuk kasus penelitian ini diperoleh selisih tekanan udara senilai 1,3-1,6 milibar atau 130-160 Pascal.

B. Saran

Patut dianjurkan studi lanjutan untuk mengeksplorasi dan memahami lebih dalam tentang korelasi antara suhu bola basah, selisih tekanan udara, dan pembentukan awan cumulonimbus. Hal ini dapat mencakup analisis statistik lebih lanjut atau studi kasus-kasus khusus. Selain itu, perlu inovasi dalam mengembangkan model prediksi yang lebih canggih dan akurat berdasarkan temuan dari analisis suhu bola basah dan selisih tekanan udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Abay, F. M. J. and Haryanto, Y. D. 2021. Analisis dinamika atmosfer dan distribusi Awan Konvektif menggunakan Teknik Red Green Blue (RgB) pada citra satelit Himawari-8 (Studi Kasus: Banjir Jakarta 31 Desember 2019-1 Januari 2020). *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 12, No. 1, pp. 34-39.
- Alfiandy, S. and Permana, D., S. 2020. Tren curah hujan berbasis data sinoptik BMKG dan reanalisis Merra-2 Nasa di Provinsi Sulawesi Tengah. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 21, No. 2, pp. 63-72.
- Ardiansyah, D. 2022. Labilitas atmosfer terkait kejadian hujan es (studi kasus hujan es di Sindang dataran Bengkulu tanggal 25 Juni 2021). *Buletin Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika*, Vol. 2, No. 2, pp. 34-48.
- Avia, L. Q. and Haryanto A., 2013. Determination of threshold temperature of rain cloud over Indonesian based on MTSAT and TRMM satellite data. *Jurnal Sains Dirgantara*. Vol. 10, No. 2, pp. 82-89.
- Azani, A. A. and Kusumawardani, N. 2022. Kajian indeks stabilitas atmosfer terhadap kejadian hujan lebat di Kota Bitung (studi kasus tahun 2020-2021). *Jurnal Widya Climago*, Vol. 4, No. 1, pp. 29-36.
- Caraka, R. E., Yasin, H. and Suparti, 2015. Pemodelan tinggi pasang air laut di Kota Semarang dengan menggunakan Maximal Overlap Discrete Wavelet Transform (MODWT). *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, Vol. 2, No. 2, pp. 104-114.
- Chaeran, M. and Harci. 2020. Pedoman menentukan daerah cuaca buruk bagi para nakhoda. *Dinamika Bahari*, Vol. 1, No. 2, pp. 116-121.
- Chen, H. Y. and Chen, C. C. 2022. An Empirical Equation for Wet-Bulb Temperature Using Air Temperature and Relative Humidity. *Atmosphere*, Vol. 13, No. 11:1765, pp. 1-14.

- Cotton, W. R., Bryan, G. and Heever, S. C. 2011. Chapter 8 - Cumulonimbus Clouds and Severe Convective Storms. International Geophysics: Academic Press, Vol. 99, pp. 315-454.
- Diani, F., Permana, H. and Sarah, N. P. 2012. Kajian sistem informasi prakiraan cuaca BMKG pada BMKG Bandung. *Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi*, pp. 16-21.
- Dewi, S. 2015. Penentuan distribusi tipe awan di Provinsi Riau menggunakan citra satelit mtsat ir1. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*. Vol. 16, No.1, pp. 9-14.
- Dida, H. P., Suparman, S. and Widhiyanuriyawan, D. 2016. Pemetaan potensi energi angin di perairan Indonesia berdasarkan data Satelit QuikScat dan WindSat. *Jurnal Rekayasa Mesin*, Vol. 7, No. 2, pp. 95-101.
- Fan, J., Zhang, R., Li, G. and Tao, W. K., 2007. Effects of aerosols and relative humidity on cumulus clouds. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 112, pp. 1-15.
- Faridatussafura, N., Wandika, Y. I. and Muhlis, A. 2016. Analisis suhu bola basah dan selisih tekanan udara untuk memprediksi kemunculan Awan Cumulonimbus di Stasiun Meteorologi Maritim Semarang. *Proceeding of Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika*, Universitas Negeri Yogyakarta: 8 Oktober 2016, pp. 155-160.
- Firdaus, M. L., Nasiah, Uca. 2021. Studi spasiotemporal sambaran petir cloud to ground di Kabupaten Gowa tahun 2017-2019. *Jurnal Environmental Science*, Vol. 3, No. 2, pp. 160-170.
- Haklander, A. J. and Delden, A. V. 2003. Thunderstorm predictors and their forecast skill for the Netherlands. *Atmospheric Research*, Vol. 67-68, pp. 273-299.
- Houze, R. A. 2014. *Cloud Dynamics* 2nd edition. Academic Press: Cambridge, Vol. 104, pp. 1-432.
- Huang, Y., Zhang, K., Yang, S. and Jin, Y. 2013. A Method to Measure Humidity Based on Dry-Bulb and Wet-Bulb Temperatures. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology*, Vol 6, No.16, pp. 2984-2987.
- Hutagalung, M. O. R., Gusranda, I., Naumi, R. R. and Mulya, A. 2022. Analisis kejadian hujan lebat berdasarkan kondisi atmosfer dan citra Satelit Himawari-8 (Studi Kasus Kab. Bolaang Mongondow Utara, 4 Maret 2020). *Jurnal Penelitian Fisika dan Terapannya*, Vol. 3, No. 2, pp. 33-41.
- Isnoor, K. F. N., Firdianto, P. U. and Susilawati, A. 2018. Studi tentang fenomena Borneo Vortex terhadap variabilitas awan di Kalimantan Barat (Studi kasus tanggal 11-12 Januari 2018). *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, Vol. 02, No. 02, pp. 127-136.
- Kholiviana, P. A., Ruhiat, Y. and Saefullah, A. 2022. Analisis vertical wind shear pada pertumbuhan Awan Cumulonimbus di wilayah Kabupaten Tangerang. *Newton-Maxwell Journal of Physics*, Vol. 3, No. 1, pp. 17-23.
- Mahsunah, O., Widagdo, S. and Bintoro, R. S. 2019. Karakter siklon tropik dan pengaruhnya terhadap tinggi gelombang di Perairan Pesisir Selatan Jawa. *J-Tropimar*, Vol. 1, No. 2, pp. 104-116.
- Mayangwulan, D., Wiratmo, J. and Siregar, M. P. 2011. Potensi kejadian badai guntur berdasarkan parameter kelembapan, labilitas udara dan mekanisme pengangkatan (Studi Kasus: di Bandar Udara Frans Kaiseipo Biak). *Jurnal sains dirgantara*, Vol.8, No.2, pp. 139-156.
- Nelvi, A., Asrul., Nugroho, S. 2014. Analisis curah hujan harian untuk menentukan pola terjadinya fenomena Madden Julian Oscillation (MJO) di daerah sekitar ekuator Indonesia. *Pillar of physics*, Vol. 4, pp. 57-64.
- Nugraha, A., Putra, Y. S. and Adriat, R. 2021. Analisis potensi terjadinya thunderstorm menggunakan metode sweat di Stasiun Meteorologi Supadio. *Prisma Fisika*, Vol. 9, No. 1, pp. 55-61.
- Nurbaskoro, G. 2012. Analisis suhu bola basah (Tw) untuk memprediksi terbentuknya Awan Cumulonimbus (Cb) di Stasiun Meteorologi Banyuwangi. *Prosiding Workshop Cuaca Ekstrim 2012*, Vol. 1, pp. 13-16.
- Nurrohman, F., and Tjasyono, B. 2017. Kajian indeks stabilitas atmosfer terhadap kejadian hujan lebat di wilayah Makassar (Studi kasus bulan Desember 2013 - 2014). *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, Vol 3, No.2, pp. 18-24.

- Price, C. G. 2013. Lightning Applications in Weather and Climate Research. *Surveys in Geophysics*, Vol. 34, pp. 755-767.
- Prima, R., Arifianto, F., Haryanto, Y. D. and Avrionesti. 2023. Determination of air stability parameter threshold value for cumulonimbus and thunderstorm cloud events at Kualanamu Meteorological Station. *Journal of Technomaterial Physics*. Vol. 5, No.2, pp. 99-103.
- Priyahita, F. W., Sugianti, N. and Aliah, H. 2016. ANALISIS TAMAN ALAT CUACA KOTA BANDUNG DAN SUMEDANG MENGGUNAKAN SATELIT TERRA BERBASIS PYTHON. *ALHAZEN Journal of Physics*, Vol. 2, No. 2, pp. 28-37.
- Putra, A. W. and Lursinsap, C. 2014. Cumulonimbus prediction using artificial neural network back propagation with radiosonde indices. *Proceeding of Seminar Nasional Penginderaan Jauh 2014*, pp. 153-165.
- Rais, A. F., Setiawan, F., Yunita, R., Meinovelina, E., Soenardi., Fadli, M. and Wijayanto, B. 2020. Prediction of Cumulonimbus (Cb) cloud based on integrated forecast system (ifs) of European Medium Range Weather Forecast (ECMWF) in the Flight Information Region (FIR) of Jakarta and Ujung Pandang. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 12, No. 2, pp. 95-100.
- Riehl, H. 1954. *Tropical Meteorology*. McGraw-Hill: New York, pp. 1-392.
- Sadeghi, S. H., Peters, T. R., Cobos, D. r., Loescher, H. W. and Campbell, C. S. 2013. Direct Calculation of Thermodynamic Wet-Bulb Temperature as a Function of Pressure and Elevation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, Vol. 30, Issue 8, pp. 1757-1765.
- Sano, T. and Tsuboki, K. 2006. Structure and Evolution of a Cumulonimbus Cloud Developed over a Mountain Slope with the Arrival of Sea Breeze in Summer. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, Vol. 84, No. 4, pp. 613-640.
- Saragih, I. J. A., Kristianto, A., Silitonga, K. and 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*, Vol. 6, No. 1, pp. 25-30.
- Seto, T. H., Sutrisno., Tikno, S. and Widodo, F. H. 2013. Pemanfaatan teknologi modifikasi cuaca untuk redistribusi curah hujan dalam rangka tanggap darurat banjir di Provinsi DKI Jakarta dan sekitarnya. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 14, No. 1, pp. 1 - 11.
- Sipayung, S. B. 2017. Analisis awan cumulonimbus dan angin serta keterkaitannya dengan curah hujan di kawasan Cede Bade, Bandung (Jawa Barat). *Lapan*, Vol. 18, No. 2, pp. 75-82.
- Stolzenburg, M. and Marshall, T. C. 2008. Charge structure and dynamics in thunderstorms. *Space Science Series of ISSI*, Vol. 30, No. 137, pp. 355-372.
- Stull, R. 2011. Wet-Bulb temperature from relative humidity and air temperature. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 50, No. 11, pp. 2267-2269.
- Suhery, N., Jaya, M. M., Khikmawati, L. T, Sarasati, W., Tanjov, Y. E., Larasati, R. F., Azis, M. A., Purwanto, A., Sari, I. P., Mainnah, M. and Satyawan, N. M. Keterkaitan musim hujan dan musim angin dengan musim penangkapan Ikan Lemuru yang berbasis di PPN Pengambangan. *Marine Fisheries*, Vol. 14, No. 1, pp. 77-90.
- Sulistiyono, S. T. and Rochwulaningsih, Y. 2013. Contest for hegemony: The dynamics of inland and maritime cultures relations in the history of Java Island, Indonesia. *Journal of Marine and Island Cultures*, Vol. 2, No. 2, 115-127.
- Tjasyono, B. 2013. *Meteorologi Indonesia: karakteristik dan sirkulasi atmosfer*. Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika: Jakarta, Vol. 1, pp. 1-220.
- Waludjojati, A. 2005. Pengaruh kecepatan udara terhadap temperatur bola basah, temperatur bola kering, pada menara pendingin. *Momentum*, Vol. 1, No. 2, pp. 5 - 9.
- Yan, L., Yu, P., Hu, S., Gao, Q., Li, W. and Qian, F. 2019. An improved transmitter system to accurately measure wet-bulb temperature of air. *Measurement and Control*, Vol. 52, Issue 7-8, pp. 1002-1007.