

**PEMANFAATAN NUMERICAL WEATHER PREDICTION DAN
CITRA SATELIT HIMAWARI-9 DALAM ANALISIS KONDISI
ATMOSFER SAAT HUJAN LEBAT
(Studi Kasus 14 Maret 2024)**

**Rayhan Rafi¹⁾, Wisnu Syahid²⁾, Kanaya Kaizzi Larasati³⁾, Syarif Abdillah Aydin
Umardani⁴⁾, Febby Debora Abigael⁵⁾, Aries Kristianto⁶⁾**

*1,2,3,4,5,6) Sekolah Tinggi Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika
1,2,3,4,5,6 Tangerang, Indonesia
Email : rayhan.rafi26@gmail.com*

ABSTRACT

Heavy rainfall occurred in the Special Region of Yogyakarta on March 14, 2024. This rainfall event was categorized as extreme weather, as data from the Regional Disaster Management Agency (BPBD) reported damage in 496 affected locations. Heavy rainfall can occur due to atmospheric instability caused by the growth of convective clouds (cumulonimbus). The phenomenon of heavy rainfall was monitored using remote sensing systems in the form of satellites to observe and analyze the event. Yogyakarta's topography explains the use of ECMWF ERA-5 model data to identify wind distribution patterns (streamlines) influenced by westerly winds. The Convective Cloud Overlay (CCO), red-green-blue (RGB), and High-resolution Cloud Analysis Information (HCAI) methods were applied to interpret cumulonimbus cloud development, observed from the formation phase (08:00 UTC) to the dissipation phase (18:00 UTC). Observations indicated a decrease in cloud-top temperature to -80°C at 09:00 UTC, followed by dissipation with a temperature of -20°C at 18:00 UTC. Atmospheric instability indices were analyzed using Numerical Weather Prediction (NWP) methods to obtain quantitative values for indices contributing to heavy rainfall, such as SSI, LI, KI, TT, SWEAT, and CAPE. This study concluded that a "moderate" increase in instability index values explained why convective cloud development occurred.

Keywords: *Heavy rain, atmospheric instability, satellite, NWP*

ABSTRAK

Hujan lebat terjadi di Provinsi D.I. Yogyakarta pada 14 Maret 2024. Hujan ini dikategorikan sebagai cuaca ekstrem karena data BPBD menunjukkan terdapat kerusakan terdampak di 496 titik. Hujan lebat dapat terjadi karena pengaruh labilitas atmosfer yang disebabkan pertumbuhan awan konvektif (cumulonimbus). Fenomena hujan lebat dipantau dengan sistem penginderaan jauh berupa satelit untuk memantau dan menganalisis hujan lebat. Topografi Yogyakarta menjelaskan penggunaan data model ECMWF ERA-5 digunakan untuk mengetahui pola sebaran angin (*streamline*) yang dipengaruhi angin baratan. Metode *Convective Cloud Overlay* (CCO), *red-green-blue* (RGB) dan *High-resolution Cloud Analysis Information* (HCAI) baik untuk memberikan interpretasi pertumbuhan awan cumulonimbus dari masa pembentukan (08.00 UTC) hingga fase peluruhan (18.00 UTC). Hasil pengamatan menunjukkan terjadi penurunan suhu puncak awan sebesar -80°C pada 09.00 UTC dan pada fase peluruhan suhu mencapai -20°C pada 18.00 UTC. Analisis indeks labilitas digunakan dengan metode *Numerical Weather Prediction* (NWP) untuk

mendapatkan nilai kuantitatif dari indeks-indeks penyebab hujan lebat seperti SSI, LI, KI, TT, SWEAT, dan CAPE. Penelitian ini menyimpulkan bahwa terdapat peningkatan nilai indeks labilitas secara “moderate” yang menjawab mengapa pertumbuhan awan konvektif dapat terjadi.

Kata Kunci : Hujan lebat, labilitas atmosfer, satelit, NWP

1. PENDAHULUAN

Hujan lebat terjadi di Yogyakarta pada 14 Maret 2024. Data Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Yogyakarta mengungkapkan terjadi hujan lebat yang terjadi diakibatkan awan konvektif cumulonimbus dengan dampak kerusakan berupa 332 titik di Kabupaten Gunungkidul, 112 titik di Kabupaten Bantul, 20 titik di Kabupten Sleman, dan 32 titik di Kabupaten Kulon Progo [1].

Fenomena hujan lebat sangat mungkin terjadi di Indonesia karena Indonesia merupakan negara yang berada di titik ekuatorial. Kondisi ini membuat Indonesia selalu dikelilingi pertumbuhan awan konvektif [2]. Hujan lebat dapat terjadi karena pengaruh labilitas atmosfer sehingga membuat aliran udara membentuk pertumbuhan awan konvektif, dalam hal ini awan yang dapat menimbulkan hujan lebat adalah awan cumulonimbus (Cb) [3].

Fenomena hujan lebat dapat dipantau dengan penginderaan jauh di mana menurut Peraturan Kepala BMKG tahun 2010. Satelit adalah salah satu instrumen pengamatan penginderaan jauh yang digunakan untuk memantau hujan lebat yang terjadi [4]. Satelit yang digunakan Indonesia saat ini adalah Satelit Himawari yang merupakan satelit jenis satelit geostasioner dengan spesifikasi *Advanced Himawari Imager* (AHI). Spesifikasi ini memungkinkan satelit Himawari mengolah data dengan 16 kanal band berbeda sesuai kebutuhan peneliti [5]. Satelit ini dimanfaatkan dengan tujuan dapat memantau, memahami, dan

menganalisis sebaran awan baik sebelum, sedang, dan akan terjadi [6].

Untuk memantau situasi dan kondisi sebaran awan, perlu dilakukan pengolahan data melalui data satelit dan data *Numerical Weather Prediction* (NWP) yang dihasilkan oleh satelit. Model (NWP) sering digunakan untuk mengkaji fenomena hidrometeorologi, dimana pola konvektivitas awan memiliki pengaruh signifikan terhadap kejadian tersebut. *Japan Meteorology Agency* (JMA) telah mengembangkan berbagai model numerik untuk menganalisis beragam fenomena hidrometeorologi.

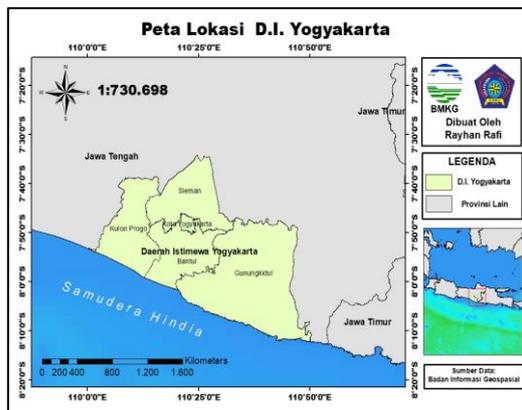
Upaya ini bertujuan untuk membantu pengguna memanfaatkan fitur yang tersedia pada Satelit Himawari secara optimal. Model GSM terus disempurnakan agar mencapai tingkat akurasi yang tinggi sesuai dengan kebutuhan analisis berbagai fenomena hidrometeorologi [7]. Hal ini bertujuan agar dapat memberikan hasil analisis dan interpretasi data yang baik mengenai unsur indeks labilitas atmosfernya [8].

Dalam memahami fenomena kejadian hujan lebat, diperlukan analisis mendalam mengenai kondisi labilitas atmosfer agar dapat mengetahui penyebab hujan lebat [9]. Jurnal ini ditulis untuk menganalisis kondisi labilitas atmosfer terhadap hujan lebat yang terjadi di Yogyakarta melalui data pemodelan dan penginderaan jauh berupa satelit. Di dalam penelitian ini akan menjelaskan visualisasi data pembentukan awan konvektif serta indeks labilitas apa saja yang mempengaruhi hujan lebat.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini akan berfokus pada Daerah Istimewa Yogyakarta memiliki wilayah koordinat 7°20' - 8°30' LS dan 110°00' - 110°50' BT (pada Gambar 1). Hujan lebat terjadi di Yogyakarta pada 14 Maret 2024. Karena data dari BPBD menunjukkan kerusakan yang relatif merusak, ini menjadi alasan mengapa penelitian ini berfokus di Yogyakarta.



Gambar 1. Peta Wilayah Penelitian

2.2 Data dan Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis deskriptif terhadap beberapa pengolahan data. Penelitian ini mengambil sumber informasi dari BNPB wilayah Yogyakarta untuk mendapatkan informasi mengenai kerusakan hujan lebat yang terjadi di Yogyakarta pada 14 Maret 2024. Dengan sumber informasi tersebut, digunakan berbagai jenis data.

Pembuatan peta topografi untuk wilayah D.I. Yogyakarta dilakukan untuk mengetahui perbedaan kemiringan lereng dengan memanfaatkan data dari model elevasi digital (DEM) USGS *earth explorer* dengan *cloud cover* 10%. Data ini diolah dengan perangkat lunak ArcGIS menggunakan *slope* untuk menghasilkan peta topografi.

ECMWF ERA-5 merupakan data model yang merupakan tipe reanalisis data untuk mengetahui gambaran secara umum dari

kondisi atmosfer [10]. Hasil pengolahan ECMWF ERA-5 akan digunakan untuk menganalisis peta *streamline* atau sebaran arah dan kecepatan angin di Yogyakarta saat 14 Maret 2024 secara spasial.

Convective Cloud Overlay (CCO) merupakan salah satu metode untuk mendapatkan citra dari awan konvektif cumulonimbus [10]. Data yang dipakai adalah data kanal 13 (IR1), 15 (IR2), dan 8 (IR3) yang kemudian diolah menggunakan GrADS.

Pemanfaatan satelit untuk mendapatkan citra sangat memudahkan pengguna. Metode RGB melalui citra satelit Himawari-9 digunakan untuk melihat sebaran awan secara spasial. Pengumpulan data dimulai dengan pengambilan data melalui filezilla yang aksesnya didapat dari BMKG. Aplikasi untuk mengolah data ini adalah perangkat lunak Sataid GMSLPD yang dapat mengolah data satelit menjadi visualisasi citra [11]. Jenis data yang diambil antara lain kanal 3 [0,64 μm], 5 [1,6 μm], 11 [8,6 μm], 13 [10,4 μm] dan 15 [12,3 μm] untuk mengolah RGB (*Cloud Phase Distinction* dan *24-Hours Day Microphysics*). Metode HCAI merupakan metode untuk menganalisis sebaran awan secara objektif di mana data diambil di filezilla dan menggunakan perangkat GMSLPC. HCAI merupakan pembaruan dari fitur *Objective Cloud Analysis Information* (OCAI) [11]. Hasil *time series* dan indeks labilitas didapatkan melalui data GSM Himawari yang merupakan data pemodelan yang dikembangkan di satelit Himawari-9 oleh *Japan Meteorological Agency* (JMA) [7]. Hasil indeks labilitas yang diambil dapat dikategorikan sebagai berikut:

Tabel 1. Kriteria konveksi Indeks Labilitas Atmosfer

Sumber: [12] dan [10]

Potensi Konveksi

Indeks Labilitas	Lemah	Sedang	Kuat
<i>Showalter index</i>	>4	4 s/d -4	<(-4)
<i>Lifted Index</i>	>-2	-2 s/d -6	<-6
<i>K Index</i>	<29	29 s/d 37	>37
<i>Total-totals Index</i>	<42	42 s/d 46	>46
SWEAT	<135	135 s/d 239	>329
CAPE	<1000	1000 s/d 2500	>2500

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Topografi Wilayah



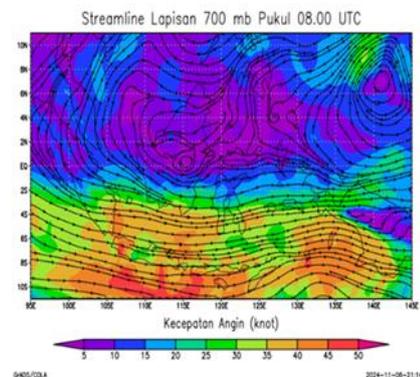
Gambar 2. Peta topografi D.I. Yogyakarta

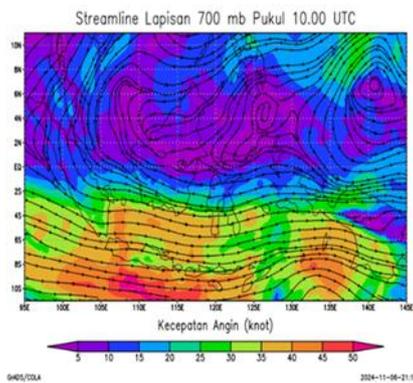
Wilayah D.I Yogyakarta terletak di bagian selatan Pulau Jawa. Berbatasan dengan Provinsi Jawa Tengah di utara dan Samudra Hindia di selatan. Secara geografis, sekitar 70-75% dari wilayah ini merupakan dataran rendah dengan elevasi di bawah 200 meter di atas permukaan laut (mdpl). Variasi topografi di D.I. Yogyakarta cukup beragam, mencakup wilayah datar hingga daerah dengan kemiringan lereng yang bervariasi. Mayoritas wilayah D.I. Yogyakarta memiliki karakteristik topografi yang landai atau datar, terlihat dari dominasi

warna hijau pada peta topografi. Namun, terdapat pula area dengan kemiringan lereng sedang yang ditandai dengan warna kuning, terutama di perbukitan dan pegunungan di bagian tengah dan barat wilayah ini. Selain itu, daerah dengan kemiringan lereng curam yang digambarkan dengan warna oranye tersebar di perbukitan dan pegunungan bagian tengah dan utara. Sementara itu, wilayah dengan kemiringan sangat curam, ditandai oleh warna merah yang umumnya berada di area pegunungan di utara D.I. Yogyakarta.

Topografi wilayah ini memiliki pengaruh signifikan terhadap dinamika cuaca lokal. Kawasan pesisir selatan yang ditandai oleh elevasi rendah dan kemiringan landai memungkinkan angin permukaan dari Samudra Hindia bergerak leluasa ke arah utara. Pergerakan ini membawa massa udara lembab yang cukup besar, terutama saat musim hujan dan berkontribusi terhadap pembentukan pola cuaca tertentu di wilayah selatan D.I. Yogyakarta. Sebaliknya, wilayah dengan elevasi lebih tinggi di bagian tengah dan utara memengaruhi pola konveksi udara, pembentukan awan, dan distribusi curah hujan. Kombinasi ini menciptakan variasi iklim mikro yang signifikan di seluruh wilayah D.I. Yogyakarta.

3.2 Analisis Streamline



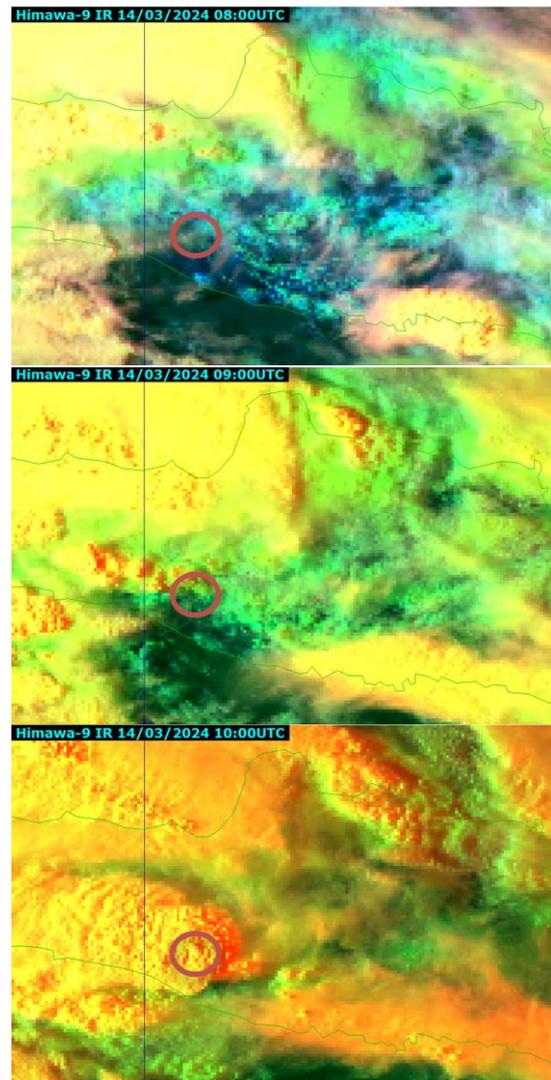


Gambar 3. Peta *Streamline* Indonesia Pada Lapisan 700mb Pukul 08.00 UTC dan 10.00 UTC

Pada peta *streamline* pukul 08.00 UTC, terlihat pola pertemuan angin (konvergensi) di daerah Jawa Tengah hingga D.I. Yogyakarta. Pola ini menunjukkan aliran udara yang berkumpul dan menggerakkan massa udara yang lebih besar ke atas menyebabkan kondisi yang mendukung untuk pembentukan awan konvektif. Pola siklonik yang muncul di sekitar Laut Jawa bagian selatan juga meningkatkan aliran angin menuju daratan Jawa Tengah dan Yogyakarta, sehingga kombinasi antara konvergensi angin dan pola siklonik ini berpotensi memicu pertumbuhan awan konvektif. Sementara itu, pada pukul 10.00 UTC, pola konvergensi ini masih terlihat kuat dengan intensitas pola siklonik yang meningkat di selatan Laut Jawa menunjukkan bahwa aktivitas konvektif terus berkembang dan mendukung pembentukan awan konvektif. Peningkatan aliran udara vertikal yang lebih kuat pada pukul 10.00 UTC ini meningkatkan kemungkinan cuaca ekstrem seperti hujan lebat, kilat, dan angin kencang di wilayah Yogyakarta dan sekitarnya.

3.3 Analisis Citra Satelit Red Green Blue (RGB)

3.3.1 *Cloud Phase Distinction*



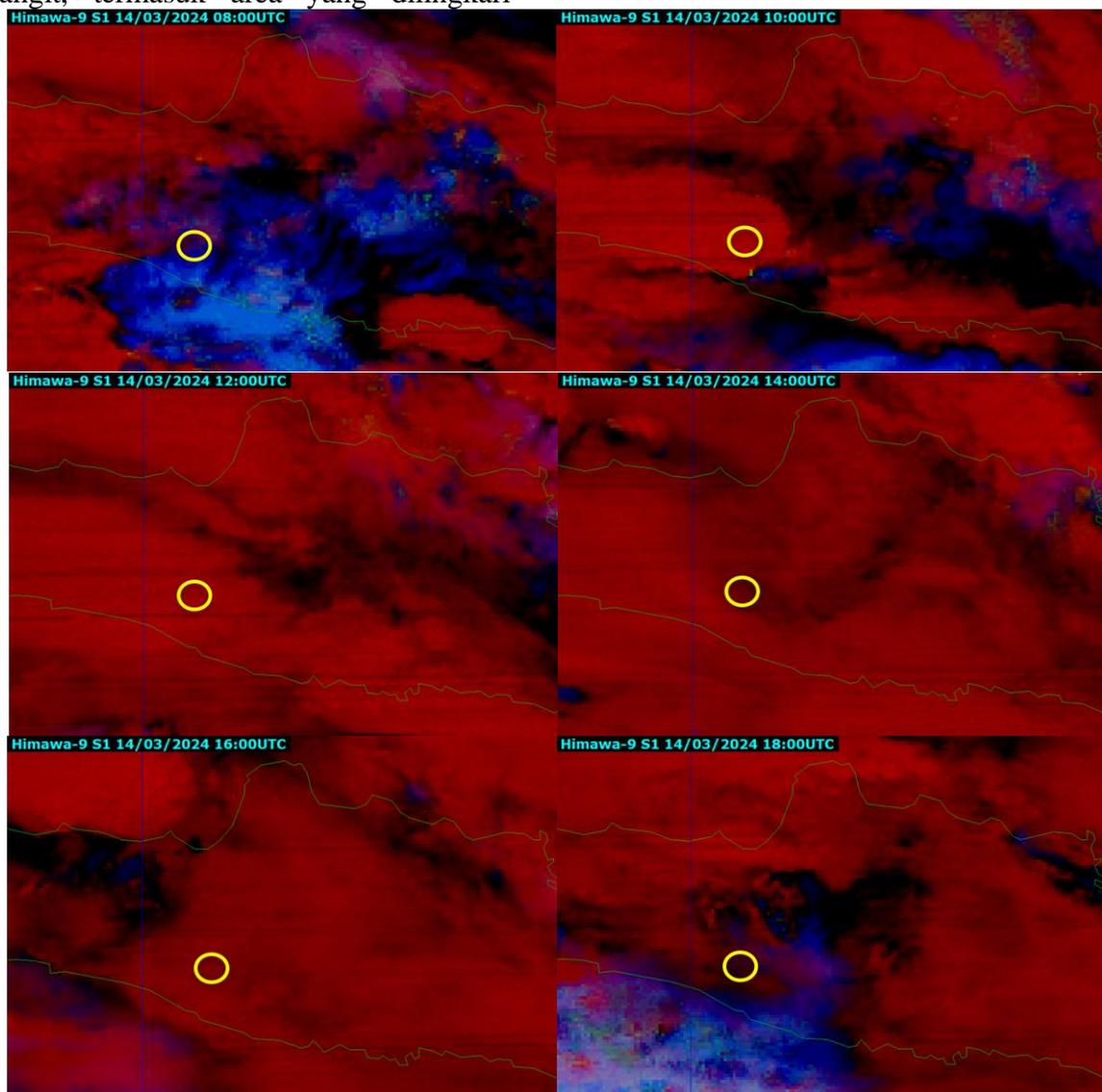
Gambar 4. Citra Teknik RGB *Cloud Phase Distinction*

Berdasarkan produk citra satelit RGB *Cloud Phase Distinction*, warna kekuningan menunjukkan awan cumulonimbus yang tebal dan tinggi serta mengandung partikel es. Warna pastel mewakili awan cirrus yang tipis, tinggi, dan juga mengandung partikel es. Warna hijau muda menunjukkan awan tebal dan rendah yang mengandung partikel es, sedangkan warna cyan menandakan awan tebal dan rendah yang mengandung air. Pada pukul 08.00 UTC, awan dengan warna cyan yang menunjukkan awan tebal dan rendah yang mengandung air, mulai mengelilingi wilayah Kota Yogyakarta.

Pada pukul 09.00 UTC, awan dengan warna hijau muda yang mengindikasikan awan tebal dan rendah mengandung partikel es mulai menutupi sebagian besar wilayah kota tersebut. Pada pukul 10.00 UTC, awan cumulonimbus yang berwarna kuning mulai menyelimuti hampir seluruh langit, termasuk area yang dilingkari

warna merah. Namun, metode ini hanya efektif digunakan pada siang hari, sehingga setelah pukul 10.00 UTC, data yang diperoleh mulai tidak optimal seiring dengan berkurangnya intensitas sinar matahari.

3.3.2 24-Hours Day Microphysics



Gambar 5. Citra Teknik RGB Model 24-Hours Day Microphysics

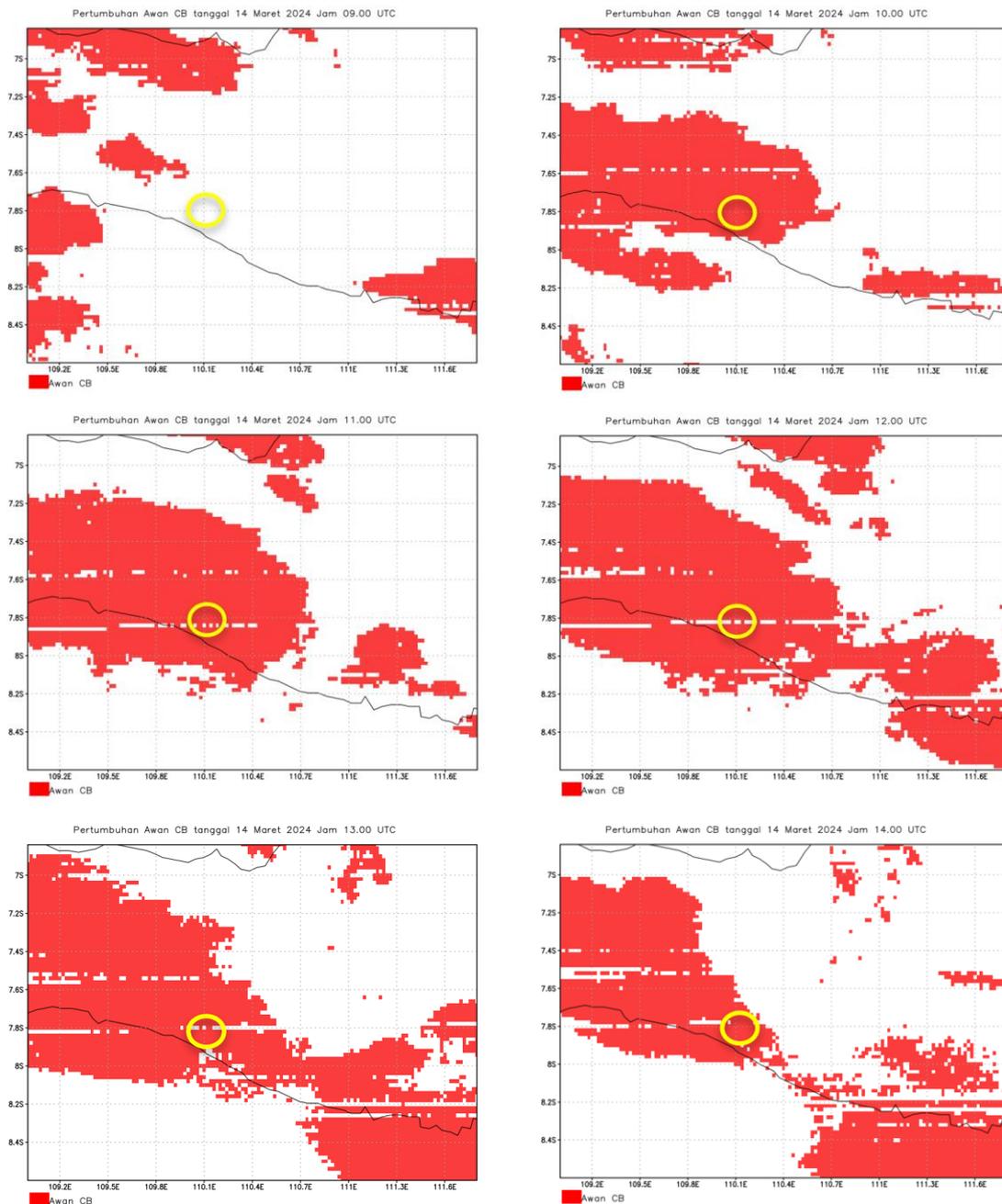
Berdasarkan produk citra satelit RGB 24-Hours Day Microphysics, warna coklat menggambarkan awan Cb yang tebal, sedangkan warna hitam menunjukkan awan cirrus yang tipis dan tinggi. Pada pukul 08.00 UTC, awan Cb mulai

mengelilingi wilayah Kota Yogyakarta. Pada pukul 10.00 UTC, awan Cb semakin meluas dan mulai menutupi sebagian besar kota. Antara pukul 12.00 UTC hingga 16.00 UTC, awan Cb hampir

menutupi seluruh langit, termasuk area yang dilingkari warna kuning. Namun, pada pukul 18.00 UTC, awan Cb mulai memudar dan digantikan oleh awan cirrus di beberapa wilayah. Karena metode ini dapat digunakan sepanjang hari, metode ini melengkapi analisis yang dilakukan

dengan metode RGB sebelumnya, memberikan pandangan yang lebih lengkap terhadap kondisi awan sepanjang 24 jam.

3.3.3 Convective Cloud Overlay (CCO)



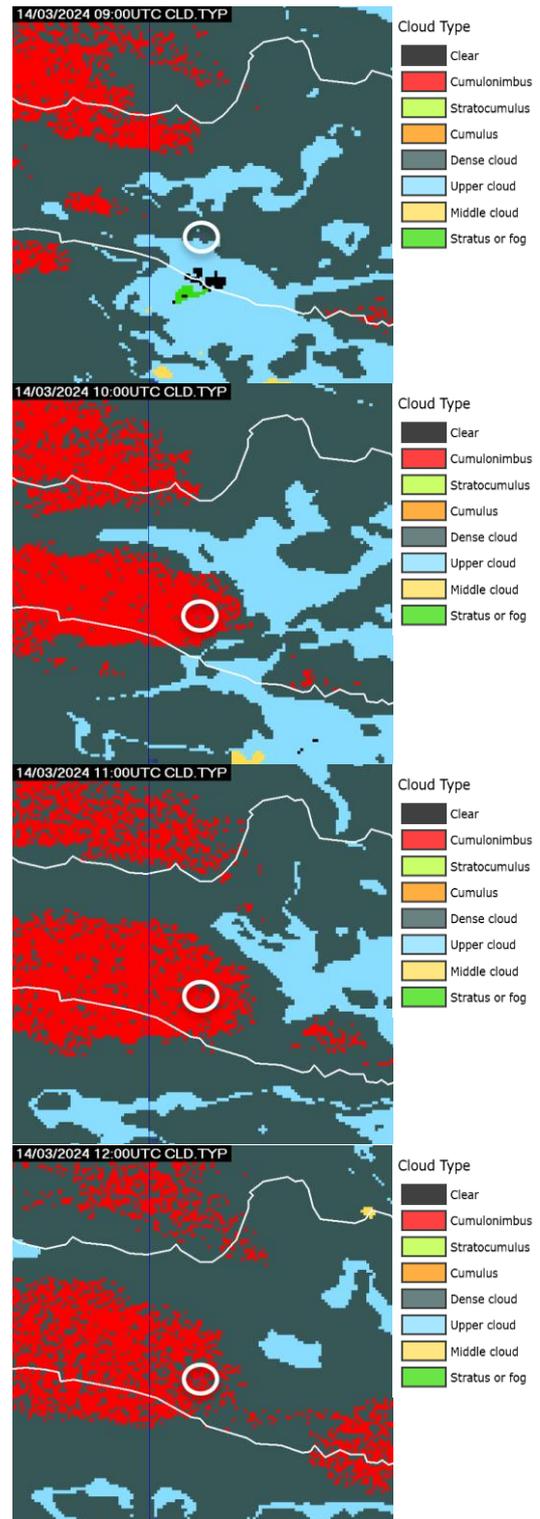
Gambar 6. Citra Teknik CCO

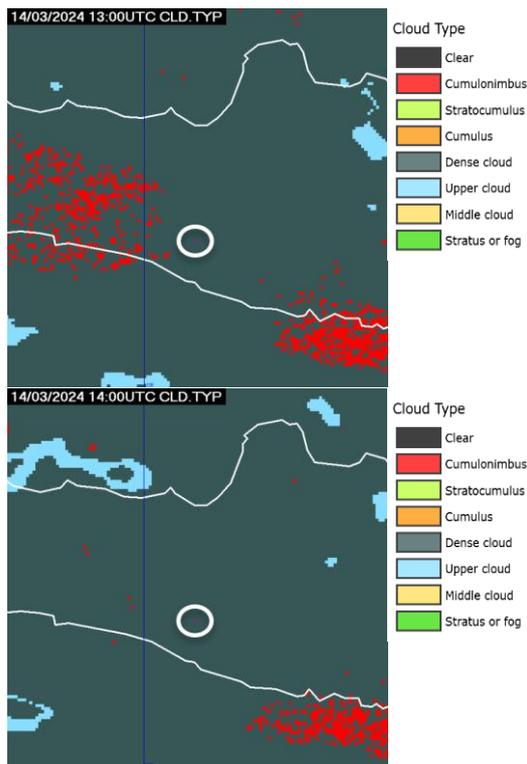
Berdasarkan produk citra satelit yang diolah menggunakan metode *Convective*

Cloud Overlay (CCO), perkembangan awan konvektif Cb di wilayah Yogyakarta

dapat diamati sepanjang hari, mulai pukul 09.00 UTC hingga 14.00 UTC. Pada pukul 09.00 UTC, seluruh area yang dilingkari warna kuning menunjukkan tidak adanya deteksi awan Cb yang menandakan tidak ada aktivitas konvektif pada waktu tersebut. Pada pukul 10.00 UTC, wilayah D.I. Yogyakarta mulai tertutup awan Cb yang terdeteksi dan ini terus meluas seiring berjalannya waktu. Pada pukul 11.00 UTC dan 12.00 UTC, area yang tertutup awan Cb semakin luas menunjukkan peningkatan aktivitas konvektif di wilayah tersebut. Pada pukul 13.00 UTC, hampir seluruh wilayah D.I. Yogyakarta terpantau tertutup awan Cb yang tebal. Namun, pada pukul 14.00 UTC terjadi penurunan signifikan jumlah awan Cb dengan sebagian besar area yang sebelumnya tertutup awan kini kembali terbuka. Metode CCO terbukti sangat efektif dalam mendeteksi perkembangan dan penurunan awan konvektif, terutama awan cumulonimbus dalam periode waktu 24 jam.

3.3.4 High-resolution Cloud Analysis Information (HCAI)

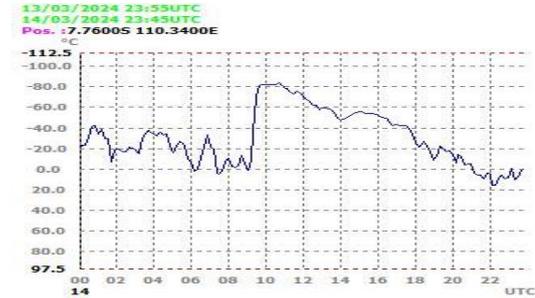




Gambar 7. Citra Teknik HCAI

Berdasarkan produk citra satelit HCAI *Cloud Type*, perkembangan awan di wilayah D.I. Yogyakarta dapat diamati secara detail. Pada pukul 09.00 UTC, terlihat awan tebal dan awan tinggi di sekitar area yang dilingkari putih, sementara awan Cb belum memasuki wilayah tersebut. Namun, awan Cb mulai terdeteksi dari arah barat laut, berada di luar lingkaran yang diamati. Pada pukul 10.00 hingga 11.00 UTC, awan Cb mulai muncul dan meluas secara signifikan, mencakup area di dalam lingkaran putih. Intensitas awan Cb kemudian mulai berkurang pada pukul 12.00 hingga 13.00 UTC, hingga akhirnya seluruh awan Cb menghilang sepenuhnya pada pukul 14.00 UTC yang menyisakan awan tebal. Melalui metode HCAI ini, berbagai jenis awan, termasuk cumulonimbus, dapat dipantau secara rinci, memberikan informasi yang akurat terkait dinamika cuaca dan kondisi atmosfer di wilayah tersebut.

3.3.5 Analisis *Time Series* Satelit



Gambar 8. Grafik *Time Series* Fase Pertumbuhan Awan Cumulonimbus

Dari Grafik (1), terlihat bahwa pada rentang waktu antara pukul 00.00 - 08.00 UTC, tidak ada indikasi pertumbuhan awan konvektif yang signifikan di sekitar wilayah D.I. Yogyakarta. Hal ini terlihat dari suhu puncak awan yang relatif stabil dan berada di atas 0°C hingga -40°C yang menunjukkan bahwa lapisan atmosfer atas belum cukup dingin untuk mendukung terbentuknya awan konvektif seperti Cb. Namun, mulai disekitar pukul 09.00 UTC, terdapat penurunan suhu yang cukup drastis hingga mencapai di bawah -80°C. Penurunan suhu ini menjadi indikasi pertumbuhan awan Cb yang signifikan, dimana puncak awan tersebut mencapai ketinggian yang cukup tinggi dan mendingin dengan drastis. Kejadian ini sesuai dengan hasil pengamatan dari citra satelit Himawari-9 yang menunjukkan bahwa wilayah penelitian mulai tertutupi oleh lintasan awan Cb atau anvil awan yang terbentuk dari proses konveksi kuat. Pada fase berikutnya, sekitar pukul 18.00 UTC, awan Cb mulai mengalami proses peluruhan. Hal ini ditandai dengan peningkatan suhu secara bertahap dan konsisten hingga mencapai nilai yang cukup tinggi, yaitu mendekati -20°C. Peningkatan suhu puncak awan ini menunjukkan bahwa aktivitas konveksi mulai melemah dan awan cumulonimbus memasuki fase peluruhan, dimana ketinggian puncak awan menurun dan

suhu puncak awan meningkat secara bertahap.

3.3.6 Analisis Labilitas Atmosfer Menggunakan Data NWP

Pemanfaatan indeks labilitas baik dilakukan sebagai parameter untuk memprediksi konvektivitas penyebab

Waktu (UTC)	Lifted Index (°C)	Potensi
08.00	-2.1	Moderate
09.00	-2.1	Moderate
10.00	-2.0	Moderate
11.00	-1.8	Lemah
12.00	-1.8	Lemah
13.00	-1.8	Lemah
14.00	-1.7	Lemah
15.00	-1.7	Lemah
16.00	-1.7	Lemah
17.00	-1.8	Lemah
18.00	-1.7	Lemah

hujan lebat [13]. Untuk memahami kondisi labilitas atmosfer, terdapat beberapa parameter indeks pada Radiosonde yang perlu diukur dan dikategorikan. Beberapa indeks labilitas atmosfer yang dimaksud adalah *Showalter Index* (SI), *Lifted Index* (LI), *K Index* (KI), *Total Totals* (TT), *Severe Weather Threat* (SWEAT), *Convective Inhibition* (CIN), dan *Convective Available Potential Energy* (CAPE) [14].

Tabel 2. Showalter Stability Index

Waktu (UTC)	Showalter Stability Index (°C)	Potensi
08.00	0.5	Moderate
09.00	0.4	Moderate
10.00	0.3	Moderate
11.00	0.1	Moderate
12.00	0.4	Moderate
13.00	0.7	Moderate

14.00	0.7	Moderate
15.00	0.7	Moderate
16.00	0.8	Moderate
17.00	0.8	Moderate
18.00	0.9	Moderate

Showalter Stability Index (SSI) berfungsi untuk menilai kestabilan atmosfer dengan mengukur daya angkat vertikal dari suatu parsel udara, terutama antara lapisan 850 mb dan 500 mb [15]. Selama pengamatan, nilai SSI berkisar antara 0,1°C hingga 0,9°C dengan potensi konveksi yang tergolong moderate. Nilai SSI terendah terjadi pada pukul 11.00 UTC yang bertepatan dengan fase matang awan Cb. Sedangkan nilai tertinggi tercatat pada pukul 18.00 UTC ketika awan Cb mengalami proses peluruhan tahap akhir. Fenomena ini menunjukkan bahwa atmosfer lebih labil saat awan dalam fase matang, namun kestabilan meningkat seiring dengan peluruhan awan.

Tabel 3. Lifted Index

Lifted Index (LI) digunakan untuk memberikan gambaran tentang potensi terjadinya konveksi atau gerakan udara vertikal yang kuat [16]. Pada rentang waktu 08.00–10.00 UTC, nilai *Lifted Index* adalah sebesar -2,1°C hingga -2,0°C yang menunjukkan potensi konveksi moderate. Seiring perkembangan, nilai LI mengalami peningkatan pada pukul 11.00 UTC ketika awan memasuki fase peluruhan. Nilai LI yang lebih rendah di awal pembentukan menunjukkan kondisi atmosfer yang kurang stabil. Sementara nilai yang lebih tinggi menunjukkan kecenderungan atmosfer menjadi lebih stabil selama fase peluruhan awan.

Tabel 4. K-Index

Waktu (UTC)	K-Index (°C)	Potensi
08.00	35.8	Moderate

09.00	35.9	Moderate
10.00	36.2	Moderate
11.00	36.4	Moderate
12.00	37.1	Kuat
13.00	36.2	Moderate
14.00	35.8	Moderate
15.00	35.3	Moderate
16.00	34.7	Moderate
17.00	34.3	Moderate
18.00	34.7	Moderate

K-Index (KI) digunakan untuk menilai potensi badai di atmosfer, terutama konveksi kuat yang dapat menghasilkan badai petir [17]. Selama pengamatan, nilai KI berkisar antara 35,8°C hingga 37,1°C, dengan potensi konveksi kuat. Nilai tertinggi dicapai pada pukul 12.00 UTC saat awan Cb mulai meluruh. Sedangkan nilai terendah terjadi saat awan meluruh. Hal ini menunjukkan bahwa konveksi lebih kuat saat awan berada dalam fase matang dibandingkan saat awal pembentukan dan peluruhan.

Tabel 5. Total-Totals Index

Waktu (UTC)	Total-Totals Index(°C)	Potensi
08.00	41.7	Lemah
09.00	41.9	Lemah
10.00	42.1	Moderate
11.00	42.3	Moderate
12.00	42.0	Moderate
13.00	41.6	Lemah
14.00	41.7	Lemah
15.00	41.8	Lemah
16.00	41.8	Lemah
17.00	41.9	Lemah
18.00	41.8	Lemah

Total-Totals Index (TT) digunakan untuk mengukur potensi konveksi di atmosfer [18]. Selama waktu pengamatan, nilai TT mencapai puncak pada pukul 11.00 UTC

dengan nilai 42,3°C. Kejadian ini menandakan potensi konveksi yang lebih kuat saat awan mencapai fase matang. Sebaliknya, nilai yang lebih rendah tercatat pada fase awal pembentukan dan peluruhan awan menunjukkan bahwa potensi konveksi paling intens terjadi saat awan matang.

Tabel 6. SWEAT Index

Waktu (UTC)	SWEAT Index	Potensi
08.00	285	Kuat
09.00	285	Kuat
10.00	285	Kuat
11.00	289	Kuat
12.00	305	Kuat
13.00	300	Kuat
14.00	295	Kuat
15.00	293	Kuat
16.00	291	Kuat
17.00	286	Kuat
18.00	278	Kuat

Severe Weather Threat Index (SWEAT) digunakan untuk memprediksi potensi cuaca buruk di atmosfer, termasuk badai petir [18]. Nilai SWEAT sepanjang waktu pengamatan berada pada kategori kuat dengan nilai tertinggi 305 tercatat pada pukul 12.00 UTC saat awan Cb mulai meluruh. Nilai yang sedikit lebih rendah terjadi selama pembentukan dan peluruhan awan yang menunjukkan bahwa cuaca paling ekstrem kemungkinan terjadi selama fase matang.

Tabel 7. Convective Available Potential Energy

Waktu (UTC)	Convective Available Potential Energy	Potensi
08.00	396	Lemah
09.00	350	Lemah

10.00	335	Lemah
11.00	296	Lemah
12.00	235	Lemah
13.00	255	Lemah
14.00	249	Lemah
15.00	233	Lemah
16.00	222	Lemah
17.00	263	Lemah
18.00	209	Lemah

Convective Available Potential Energy (CAPE) berfungsi mengukur jumlah energi yang tersedia untuk konveksi di atmosfer [19]. Selama pengamatan dari pukul 08.00 hingga 18.00 UTC, nilai CAPE di lokasi penelitian tergolong lemah dengan nilai tertinggi tercatat pada pukul 08.00 UTC sebesar 396 J/kg yang bertepatan dengan fase awal pembentukan awan. Setelah itu, nilai CAPE menurun secara bertahap hingga mencapai nilai terendah pada pukul 18.00 UTC sebesar 209 J/kg yang menunjukkan fase peluruhan awan. Secara keseluruhan, rendahnya nilai CAPE menunjukkan bahwa awan Cb di lokasi ini tidak memiliki energi konvektif yang cukup kuat untuk mendukung perkembangan badai yang sangat intens.

4. KESIMPULAN

Hujan lebat yang membuat kerusakan di berbagai titik yang terjadi di D.I. Yogyakarta pada 14 Maret 2024 menunjukkan terdapat pertumbuhan dan penguatan awan konvektif. Kerusakan terparah yang ditimbulkan menurut data BPBD adalah daerah Kabupaten Gunungkidul yang mana berada di sisi timur Yogyakarta. Pertumbuhan awan didorong oleh angin baratan yang terdapat pada peta *streamline* dan karakteristik topografi D.I Yogyakarta. Hal ini sejalan dengan pengamatan terhadap teknik citra RGB (*Cloud Phase Distinction* dan *24-Hours Day Microphysics*) serta teknik

CCO yang memperlihatkan pertumbuhan, penguatan, dan perluasan awan cumulonimbus. Hal ini juga dibuktikan dengan pengamatan teknik HCAI yang merupakan identifikasi awan objektif dengan memperlihatkan Provinsi D.I. Yogyakarta yang diselimuti awan cumulonimbus. Awan konvektif mulai tumbuh secara cepat pada 09.00 UTC, menjadi fase matang pada 10.00 UTC, dan fase peluruhan terjadi pada 18.00 UTC. Indeks labilitas atmosfer seperti SSI, LI, KI, TT, dan SWEAT menjelaskan bahwa pada 10.00 UTC dikategorikan moderate yang mana ini sudah relatif baik untuk membuat pertumbuhan awan konvektif secara *massive*. Sedangkan nilai terbesar dari CAPE berada pada pukul 08.00 UTC yang mengidentifikasi bahwa akan terdapat pertumbuhan awan. Dari semua metode yang digunakan, maka dapat disimpulkan bahwa penggunaan satelit dan data model baik untuk menunjukkan baik untuk menganalisis tingkat labilitas dan dinamika atmosfer yang terjadi di D.I. Yogyakarta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPBD DIY, "Cuaca Ekstrem 14 Maret 2024 dan Dampaknya di Wilayah DIY," 2024. [Online]. Available: <https://bpbd.jogjaprovo.go.id/berita/cua-caekstrem-14-maret-2024-dan-dampaknya-di-wilayah-diy>. [Accessed: Nov. 14, 2024].
- [2] H. K. B. Tjasyono and S. W. Harijono, *Atmosfer Ekuatorial, Pusat Penelitian dan Pengembangan Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, Jakarta, 2013.
- [3] N. H. Muzaki, E. S. T. R. I. Diniyati, R. R. Pratama, and A. Mulya, "Analisis kondisi atmosfer saat kejadian hujan lebat dan angin kencang di Probolinggo berdasarkan citra satelit dan citra radar," *Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, vol. 5, no. 2, pp. 142–

- 156, 2021.
- [4] BMKG, Kepala Badan Meteorologi, Klimatologi, Dan Geofisika Nomor: Kep. 009 Tahun 2010 Tentang Prosedur Standar Operasional Pelaksanaan Peringatan Dini, Pelaporan, Dan Diseminasi Informasi Cuaca Ekstrem, Jakarta, 2010.
- [5] D. Kushardono, "Kajian satelit penginderaan jauh cuaca generasi baru Himawari 8 dan 9," *Jurnal Inderaja*, vol. 3, no. 5, 2012. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/271120969_Kajian_Satelit_Penginderaan_Jauh_Cuaca_Generasi_Baru_Himawari_8_dan_9.
- [6] A. Zakir, W. Sulistya, and M. K. Khotimah, *Perspektif Operasional Cuaca Tropis*, Puslitbang BMKG, Jakarta, 2010.
- [7] K. Miyamoto, "Recent improvements to the JMA global NWP model," *CAS/JSC WGNE Research Activities in Atmospheric and Oceanic Modelling*, vol. 39, pp. 6-09, 2009. [Online]. Available: https://wgne.net/bluebook/uploads/2009/individual-articles/06_Miyamoto_Kengo_WGNE-miyamoto.pdf.
- [8] R. Kurniati, S. L. H. Pakpahan, and A. Mulya, "Analisis kejadian hujan lebat menggunakan citra satelit HIMAWARI-8 (studi kasus Pulau Bintan, 7 November 2020)," *KoPeN: Konferensi Pendidikan Nasional*, vol. 3, no. 1, pp. 130–141, 2021. [Online]. Available: https://ejurnal.mercubuana-yogya.ac.id/index.php/Prosiding_KoPeN/article/view/1661.
- [9] A. D. Hawari, C. A. S. Y. Nurdianto, and Y. D. Haryanto, "Pemanfaatan data radiosonde dan satelit cuaca Himawari-8 pada analisis kejadian hujan lebat," 2023.
- [10] N. F. R. Maulidianto, Tempo, and Y. D. Haryanto, "Analisis kondisi atmosfer saat kejadian hujan es menggunakan data observasi, data pemodelan numerik, dan data satelit cuaca (studi kasus: kejadian hujan es di wilayah Kapan, Kabupaten Timor Tengah Selatan Tanggal 29 November 2023)," *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya*, vol. 11, no. 1, pp. 60–77, 2024. [Online]. Available: <https://doi.org/10.24252/jft.v11i1.45152>.
- [11] J. A. I. Paski, A. Sepriando, and D. A. S. Pertiwi, "Pemanfaatan teknik RGB pada citra satelit Himawari-8 untuk analisis dinamika atmosfer kejadian banjir Lampung 20-21 Februari 2017," *J. Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, vol. 4, 2017.
- [12] E. Fibriantika and D. Mayangwulan, "Analisis spasial indeks stabilitas udara di Indonesia," *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, vol. 21, no. 1, pp. 1–12, 2020. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.29122/jstmc.v21i1.4005>.
- [13] F. L. Agroho, S. Syahreza, and D. Sugiyanto, "Analysis of the rainfall event in 2018-2019 using the air stability index method at the Meteorological Station of Sultan Iskandar Muda Banda Aceh," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1882, no. 1, p. 012023, 2021. [Online]. Available: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1882/1/012023/meta>.
- [14] N. D. Ulhaq and Y. D. Haryanto, "Pemanfaatan data satelit cuaca Himawari-8 dan radiosonde dalam analisis hujan lebat (studi kasus: Cilacap, 13 Januari 2021)," *Jurnal Penelitian Sains*, vol. 24, no. 2, pp. 69–77, 2022. [Online]. Available: <https://doi.org/10.56064/jps.v24i2.671>.

- [15] A. K. Showalter, "A stability index for thunderstorm forecasting," *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 34, no. 6, pp. 250–252, 1953. [Online]. Available: <https://www.jstor.org/stable/26242131>
- [16] J. G. Galway, "The Lifted Index as a predictor of latent instability," *Bulletin of the American Meteorological Society*, vol. 37, no. 10, pp. 528–529, 1956. [Online]. Available: <https://doi.org/10.1175/1520-0477-37.10.528>.
- [17] J. J. George, *Weather forecasting for aeronautics*, New York: Academic Press, 1960.
- [18] R. C. Miller, *Notes on analysis and severe-storm forecasting procedures of the Air Force Global Weather Central*, AWS Technical Report 200 (Revised), Washington D.C.: Air Weather Service, United States Air Force, 1972.
- [19] M. W. Moncrieff and M. J. Miller, "The dynamics and simulation of tropical cumulonimbus and squall lines," *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, vol. 102, no. 432, pp. 373–394, 1976.