

# ANALISIS DINAMIKA ATMOSFER KEJADIAN HUJAN LEBAT DENGAN METODE *RED GREEN BLUE* (RGB) DAN *CLOUD CONVECTIVE OVERLAYS* (CCO) DI BALIKPAPAN (STUDI KASUS: 09 AGUSTUS 2024)

Trimawarti Esti Vidia<sup>1</sup>, Yahya Darmawan<sup>2,\*</sup>, Widodo Widodo<sup>3</sup>

<sup>1, 2,3</sup> Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG)

e-mail: trimawartiv4@gmail.com<sup>1</sup>, yahya.darmawan@bmgk.go.id<sup>2\*</sup>, widodo@bmgk.go.id<sup>3</sup>

\*corresponding author

(Naskah masuk : 02 Januari 2025 Diterima untuk diterbitkan : 30 April 2025)

## ABSTRAK

Hujan lebat yang terjadi di Kota Balikpapan pada 9 Agustus 2024 menyebabkan banjir dan tanah longsor yang signifikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis fenomena tersebut menggunakan data citra satelit Himawari-8 yang diolah dengan perangkat lunak SATAID. Analisis dilakukan melalui pengukuran suhu puncak awan, interpretasi citra Red, Green, and Blue (RGB), analisis pola angin menggunakan streamline, dan penghitungan parameter atmosfer (CAPE, LI, dan K-Index) untuk memahami dinamika atmosfer. Analisis Low-Level Moisture Transport (LLMT) juga dilakukan untuk menggambarkan distribusi kelembapan atmosfer pada lapisan rendah (500–1000 hPa). Hasil penelitian menunjukkan suhu puncak awan cumulonimbus yang sangat rendah ( $-74,2^{\circ}\text{C}$ ) dengan nilai CAPE mencapai 628 J/kg dan K-Index  $34^{\circ}\text{C}$ , yang mengindikasikan adanya energi konveksi signifikan dan ketidakstabilan atmosfer tinggi. Analisis LLMT menunjukkan transportasi kelembapan yang kuat dari Selat Makassar menuju Balikpapan, sementara pola angin pada lapisan 925–500 hPa mendukung konvergensi kelembapan yang intens. Interaksi antara kelembapan tinggi, pola angin konvergen, dan ketidakstabilan atmosfer menjadi faktor utama yang mendukung kejadian hujan lebat di Balikpapan.

**Kata Kunci:** Hujan lebat, citra satelit, Himawari-8, SATAID, Balikpapan

## ABSTRACT

Heavy rains that occurred in Balikpapan City on August 9, 2024 caused significant flooding and landslides. This study aims to analyze the phenomenon using Himawari-8 satellite image data processed with SATAID software. The analysis is conducted by measuring cloud top temperature, interpreting red, green, and blue (RGB) images, analyzing wind patterns using streamlines, and calculating atmospheric parameters (CAPE, LI, and K index) to understand atmospheric dynamics. Low-Level Moisture Transport (LLMT) analysis was also performed to describe the distribution of atmospheric moisture in the low layer (500-1000 hPa). The results showed a very low cumulonimbus cloud top temperature ( $-74.2^{\circ}\text{C}$ ) with CAPE values reaching 628 J/kg and K-index  $34^{\circ}\text{C}$ , indicating significant convective energy and high atmospheric instability. LLMT analysis shows strong moisture transport from Makassar Strait towards Balikpapan, while wind patterns in the 925-500 hPa layer support intense moisture convergence. The interaction between high humidity, convergent wind patterns, and atmospheric instability is the main factor supporting heavy rainfall events in Balikpapan.

**Keywords:** Heavy rain, satellite image, Himawari-8, SATAID, Balikpapan

## I. PENDAHULUAN

Kota Balikpapan, yang terletak di Provinsi Kalimantan Timur, merupakan wilayah yang rentan terhadap berbagai peristiwa cuaca ekstrem dan bencana alam. Banjir diidentifikasi sebagai ancaman utama bagi ketahanan Balikpapan, khususnya di wilayah timur Balikpapan karena kedekatannya dengan Selat Makassar dan Daerah Aliran Sungai Manggar [1][2]. Hujan lebat yang terjadi di Kota Balikpapan pada 09 Agustus 2022 telah menyebabkan dampak signifikan seperti banjir dan tanah longsor, khususnya di beberapa kecamatan dengan tingkat risiko tinggi akibat kondisi atmosfer yang sangat labil. Menurut BMKG, hujan lebat didefinisikan sebagai hujan dengan intensitas minimal 50 mm dalam dua puluh empat jam atau mencapai 20mm/jam[3]. Kondisi atmosfer yang sangat tidak stabil sering kali dikaitkan dengan fenomena ini, yang dapat dipengaruhi oleh banyak faktor lokal dan regional. Karena

kondisi atmosfer yang lembap, suhu permukaan laut yang hangat, dan dinamika angin yang kompleks, pola hujan lebat ini menjadi karakteristik umum di wilayah tropis, terutama di Indonesia. Dalam konteks ini, analisis berbasis citra satelit menjadi metode penting untuk memahami fenomena cuaca ekstrem, termasuk hujan lebat karena dapat memberikan gambaran spasial dan temporal yang lebih terperinci mengenai dinamika atmosfer serta evolusi awan konvektif. Teknik ini semakin relevan dalam mendukung mitigasi bencana hidrometeorologi, yang sering dipengaruhi oleh kombinasi faktor lokal dan global seperti kelembaban tinggi, perlambatan angin, dan aktivitas konveksi atmosfer.

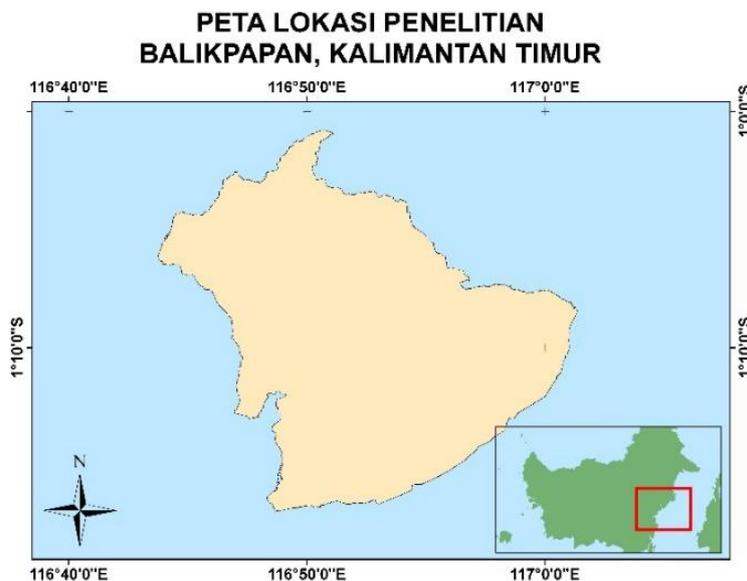
Dengan kemajuan dalam teknologi penginderaan jauh, yang mencakup penggunaan citra satelit seperti Himawari-9, deteksi dini dan analisis kejadian cuaca ekstrem telah menjadi mungkin. Himawari-8/9 adalah satelit meteorologi geostasioner modern yang diluncurkan dan dioperasikan oleh Badan Meteorologi Jepang (JMA) sejak tahun 2015. Satelit ini dirancang untuk menyediakan data meteorologi yang beresolusi tinggi, mendukung pengamatan cuaca di wilayah Asia-Pasifik dan memainkan peran penting dalam memantau dinamika atmosfer, termasuk awan, suhu permukaan, dan kelembapan udara, dengan frekuensi pengamatan yang tinggi dan cakupan wilayah yang luas [4]. Seperti yang ditunjukkan oleh suhu puncak awan cumulonimbus yang rendah selama hujan lebat di Balikpapan, produk data inframerah (IR) dan cahaya suhu dapat membantu mengidentifikasi aktivitas konvektif yang signifikan. Selain itu, telah terbukti bahwa analisis kelembaban relatif pada berbagai lapisan atmosfer dan penggunaan indeks stabilitas atmosfer seperti K-index dapat membantu memprediksi curah hujan yang sangat tinggi di daerah tropis.

*Satellite Animation and Interactive Diagnosis* (SATAID) memungkinkan pemeriksaan mendalam atas interaksi parameter atmosfer di berbagai skala spasial [5]. Penelitian sebelumnya telah dilakukan dengan memanfaatkan data satelit Himawari-8 yang diolah dengan perangkat lunak SATAID untuk memeriksa formasi awan dan kondisi atmosfer menggunakan berbagai metode, termasuk Prediksi Cuaca Numerik (NWP) dan Hamparan Konvektif Awan atau *Cloud Convective Overlays* (CCO) untuk menilai indeks ketidakstabilan atmosfer dan suhu puncak awan [6], [7], [8]. Analisis tersebut mengungkapkan adanya awan konvektif dengan suhu puncak awan yang sangat rendah, yang menunjukkan pertumbuhan awan yang signifikan selama kejadian hujan lebat. Faktor-faktor yang berkontribusi terhadap kejadian cuaca ekstrem ini meliputi Zona Konvergensi Intertropis (ITCZ), suhu permukaan laut yang hangat, kelembaban atmosfer yang tinggi, dan kondisi udara bagian atas yang tidak stabil [9]. Demikian pula, Diniyati dkk. [10] menyelidiki kejadian hujan lebat di Sidoarjo pada 28 Mei 2020, yang mengidentifikasi keberadaan awan kumulonimbus dan kondisi atmosfer yang tidak stabil yang berkontribusi terhadap banjir. Studi-studi ini menunjukkan efektivitas analisis citra satelit dalam mengidentifikasi pola yang menunjukkan awan-awan penghasil hujan lebat. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kejadian hujan lebat di Kota Balikpapan pada 09 Agustus 2022 menggunakan data citra satelit dari Himawari-8 yang diolah melalui aplikasi Sataid. Selain itu, analisis pola angin menggunakan *streamline* dan distribusi kelembapan juga dilakukan untuk menggambarkan transportasi kelembapan di lapisan atmosfer rendah. Pendekatan ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap pemahaman pola hujan ekstrem dan implementasi kebijakan mitigasi yang lebih efektif.

## II. METODE PENELITIAN

### 2.1. Lokasi Penelitian

Penelitian terhadap hujan lebat di Balikpapan pada tanggal 9 Agustus 2024, yang terletak di Provinsi Kalimantan Timur, Indonesia. Balikpapan terletak pada koordinat 116°40' BT - 117°00' BT dan 1°00' LS - 1°10' LS. Kota ini berada di pantai timur Pulau Kalimantan, yang ditunjukkan pada gambar 1. Lokasi dan kejadian hujan lebat diperoleh melalui media massa dan data satelit Himawari-9 digunakan untuk memahami pola atmosfer yang menyebabkan fenomena cuaca ekstrem.



**Gambar 1 Peta lokasi penelitian**

## 2.2. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. Data citra satelit Himawari-8/9 diunduh melalui FileZilla dari server milik STMKG (Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika) dengan format .z, dan .nc lalu data diolah menggunakan SATAID dan GrADS
2. Data Reanalisis ERA5 European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF), meliputi data angin zonal (u), angin meridional (v), dan kelembapan spesifik (q) pada lapisan tekanan 1000–500 hPa diunduh dalam format NetCDF. Resolusi data adalah  $0,25^\circ \times 0,25^\circ$  dengan interval waktu 1 jam.

## 2.3. Pengolahan Data

Satelit Himawari-8/9 memiliki resolusi temporal yaitu setaip 10 menit dan resolusi spasial 0,5 atau 1 km untuk pita tampak (*visible bands*) dan inframerah dekat (*near-infrared*) dan 2 km untuk pita inframerah (*infrared bands*) [11]. Penelitian ini menggunakan metode analisis suhu puncak awan untuk memahami dinamika atmosfer sebelum, selama, dan setelah (siklus hidup awan kovektif) kejadian hujan lebat. Kanal inframerah (IR) Band 13 digunakan untuk mengukur suhu puncak awan (*Brightness Temperature - BRIT*), yang menjadi indikator aktivitas konvektif. Metode RGB juga digunakan pada penelitian ini yaitu metode 24-Hour Microphysics dan Airmass untuk mengidentifikasi awan konvektif dan analisis massa udara. Interpretasi warna untuk metode RGB 24-Hour Microphysics adalah warna merah gelap menunjukkan awan tebal dengan kristal es (seperti Cb), awan air tebal tampak berwarna coklat, dan warna hitam pekat menunjukkan Awan Ci tipis, karena kontribusi rendah dari semua sinar warna. Lalu interpretasi RGB Airmass adalah warna hijau yang menunjukkan massa udara hangat dan warna ungu menunjukkan massa udara dingin. Tabel 1 dan tabel 2 menunjukkan komponen band dan spesifikasi kedua metode RGB tersebut[12].

**Tabel 1 Spesifikasi RGB 24-Hour Microphysics**

Warna	Band AHI	Panjang gelombang pusat ( $\mu\text{m}$ )
Merah	B13-B15	10,4-12,4
Hijau	B11-B13/B11-B14	8,6-10,4/8,6-11,2
Biru	B13(terbalik)	10,4

**Tabel 2** Spesifikasi RGB Airmass

Warna	Band AHI	Panjang gelombang pusat ( $\mu\text{m}$ )
Merah	B10-B08	7,3-6,2
Hijau	B13-B12	10,4-9,6
Biru	B08	6,2

Selain itu juga digunakan beberapa parameter atmosfer dari model NWP (*Numerical Weather Prediction*) seperti vortisitas, angin (kecepatan dan arah), kelembapan, serta suhu udara dianalisis untuk memahami kondisi atmosfer. Potensi ketidakstabilan atmosfer dan peluang pembentukan konveksi intensif diukur dalam analisis stabilitas atmosfer dengan menggunakan indeks CAPE, LI, dan K-Indeks. Berikut adalah persamaan dari ketiga indeks:

$$CAPE = \int_{LFC}^{EL} g \frac{T_{parcel} - T_{environment}}{T_{environment}} dz \quad (1)$$

Dengan :

EL: Equilibrium Level (level di mana parcel berhenti naik)

LFC: Equilibrium Level (level di mana parcel berhenti naik)

$T_{parcel}$ : Suhu parcel udara

$T_{environment}$ : Suhu parcel lingkungan

$$LI = T_{environment} - T_{parcel} \quad (2)$$

$$K = (T_{850} - T_{500}) + Td_{850} - (T_{700} - Td_{700}) \quad (3)$$

Aplikasi *Open GrADS (The Grid Analysis and Display System)* digunakan mengolah data dan menghasilkan visualisasi atau peta. Dalam pembuatan peta *streamline* menggunakan data reanalisis ERA5 dari European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Variabel yang digunakan adalah komponen angin zonal ( $u$ ) dan komponen angin meridional ( $v$ ) pada lapisan tekanan 500 hPa, 700 hPa, 850 hPa, dan 925 hPa dengan resolusi  $0.25^\circ \times 0.25^\circ$ . Peta *streamline* nantinya akan digunakan untuk menentukan pola konvergensi dan divergensi yang mendukung hujan lebat. Selanjutnya peta *Low level moisture transport (LLMT)* menggunakan kelembapan spesifik ( $q$ ) dan komponen angin ( $u, v$ ) pada lapisan tekanan 1000 hPa-500hPa. Moisture transport dihitung dengan persamaan [13], [14]:

$$\vec{Q} = \frac{1}{g} \int_{Pb}^{Ptop} q \vec{V} dp \quad (4)$$

Dengan

$Q$  : Transpor kelembaban (kg/m/s)

$q$  : specific humidity (gr/kg)

$V$  : vector angin horizontal

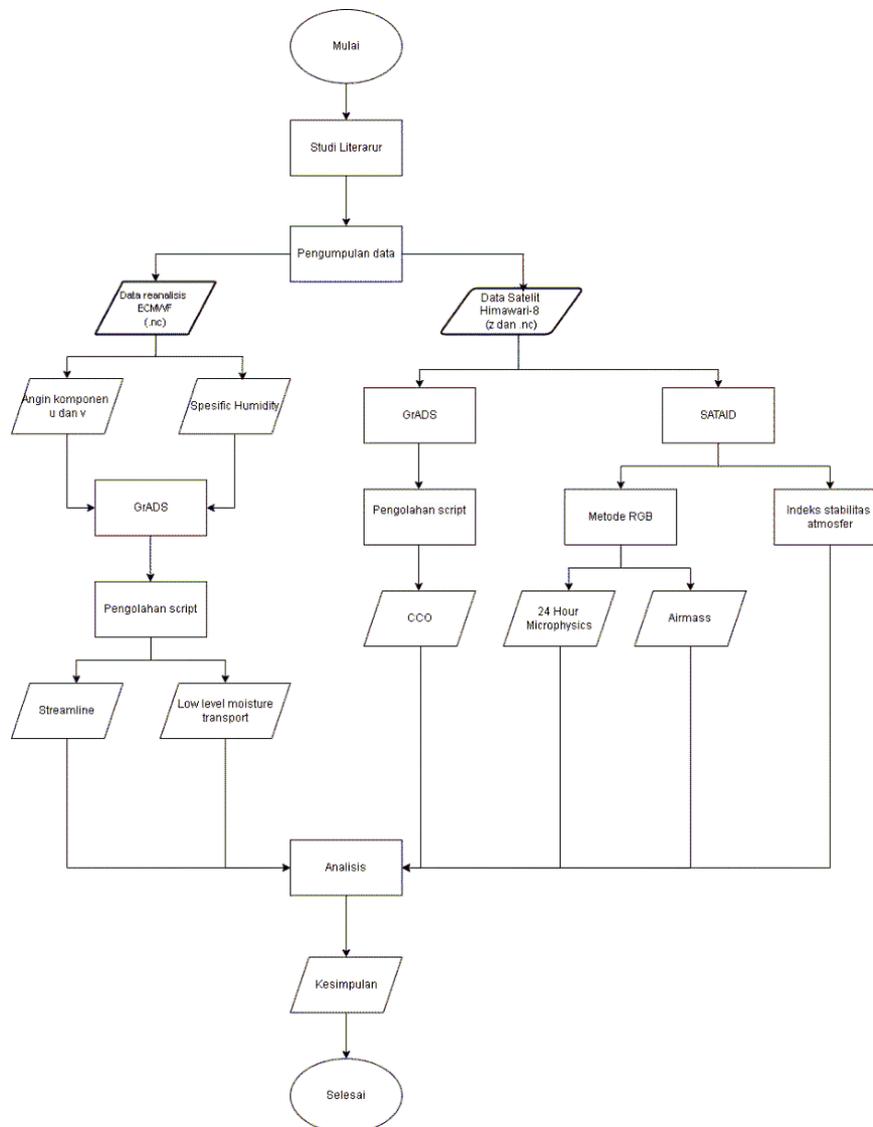
$g$  : percepatan gravitasi (m/s)

$P$  : Tekanan batas bawah (1000 hPa) dan atas (500 hPa)

Metode CCO (*Cloud Convective Overlays*) digunakan untuk mengidentifikasi awan cumulonimbus dengan memanfaatkan tiga band yaitu band 13 (IR1), band 15 (IR2), dan band 8 (IR3). Metode Cloud Convective Overlays (CCO) menggunakan dua algoritma utama: Split Windows (SW) dan Dual Channel Difference (DCD) untuk mengidentifikasi awan konvektif menggunakan data satelit. Algoritma SW menghitung perbedaan suhu kecerahan antara dua saluran inframerah (IR1-IR2), sedangkan algoritma DCD menghitung perbedaan antara saluran inframerah dan saluran uap air (IR1-WV) [15], [16]. Dan sebaran awan konvektif divisualisasikan menggunakan GrADS.

**2.4. Diagram Alir Penelitian**

Metode penelitian ini digambarkan pada diagram alir pada gambar 2 berikut:



**Gambar 2** Diagram Alir Penelitian

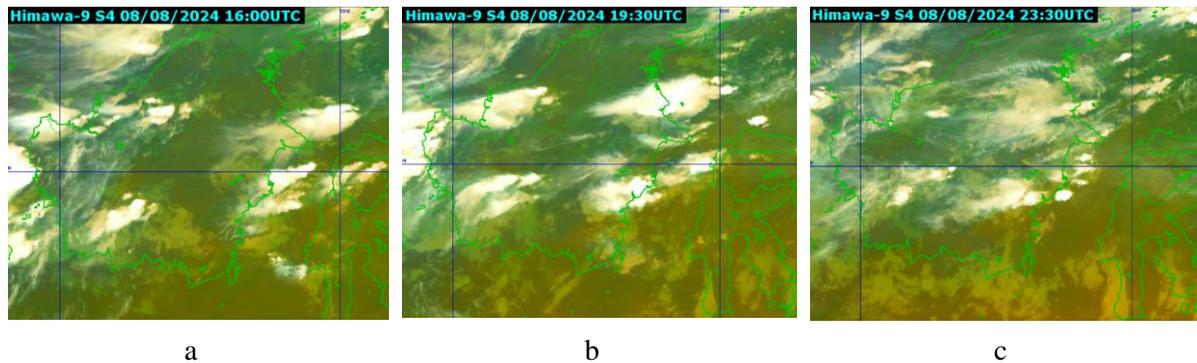
**III. HASIL DAN PEMBAHASAN**

**3.1. Suhu Puncak Awan**

Time series suhu puncak awan yang ditampilkan pada Gambar 3 memberikan gambaran rinci mengenai variasi suhu pada puncak awan selama kejadian hujan lebat di Balikpapan pada 8 Agustus 2024 (UTC). Grafik ini menunjukkan fluktuasi suhu seiring waktu, mencerminkan aktivitas konvektif yang dinamis selama kejadian tersebut.



besar, menandakan fase awal hujan lebat. Suhu puncak awan yang sangat rendah konsisten dengan fase perkembangan awan konvektif. Pukul 19.30 UTC warna merah tua terus terlihat dominan, dengan kemungkinan area yang lebih luas dibandingkan pukul 16.00, menunjukkan awan cumulonimbus telah mencapai fase matang, menghasilkan curah hujan maksimum. Pukul 23.30 UTC warna merah mulai berkurang atau menyusut, dengan munculnya warna biru/hijau di beberapa area, artinya sistem awan mulai melemah dan memasuki fase peluruhan. Hujan lebat kemungkinan berkurang intensitasnya, dengan awan rendah atau menengah yang tersisa.

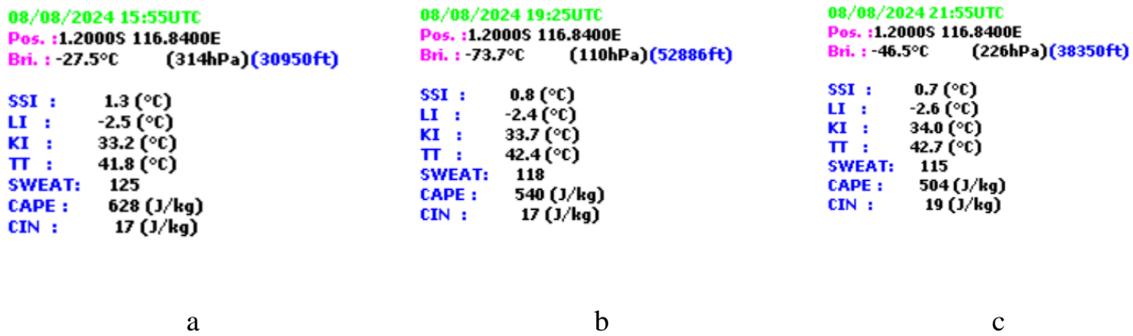


**Gambar 5** Citra RGB Airmass yang menunjukkan perkembangan awan konvektif pada tiga waktu berbeda: a). 16:00 UTC; b). 19:30 UTC; c). 23:30 UTC

Citra RGB Airmass pada gambar 5 dapat digunakan untuk mengidentifikasi pergerakan massa udara. Pada pukul 16.00 UTC citra menunjukkan dominasi warna hijau tua di wilayah sekitar Balikpapan dengan beberapa area kecil berwarna putih. Aktivitas konvektif mulai terjadi dengan adanya kelembapan tinggi pada level rendah yang mendukung pembentukan awan cumulonimbus. Warna hijau tua mengindikasikan massa udara yang kaya kelembapan, sementara warna putih menandakan awal perkembangan awan konvektif. Warna hijau tebal mengindikasikan kelembapan yang signifikan di level rendah, yang menjadi sumber energi untuk proses pembentukan awan cumulonimbus. Pukul 19.30 UTC citra menunjukkan dominasi warna putih cerah di wilayah Balikpapan, dengan area hijau yang tetap terlihat di sekitarnya, menunjukkan sistem awan cumulonimbus telah mencapai fase matang dengan puncak awan yang tinggi dan dingin. Warna putih cerah menunjukkan suhu puncak awan yang sangat rendah, konsisten dengan hujan lebat. Warna hijau yang tetap ada menandakan keberlanjutan suplai kelembapan dari level rendah, memperkuat konveksi. Lalu pada pukul 23.30 UTC terlihat dominasi warna putih yang mulai berkurang dan bergeser, dengan warna cokelat mulai muncul di sekitar Balikpapan yang artinya sistem awan mulai melemah seiring masuknya udara kering dari level atas atmosfer, ditunjukkan oleh warna cokelat. Proses pelemahan ini menunjukkan akhir dari fase hujan lebat, dengan konveksi yang semakin berkurang akibat minimnya suplai kelembapan.

### 3.3. Indeks Stabilitas

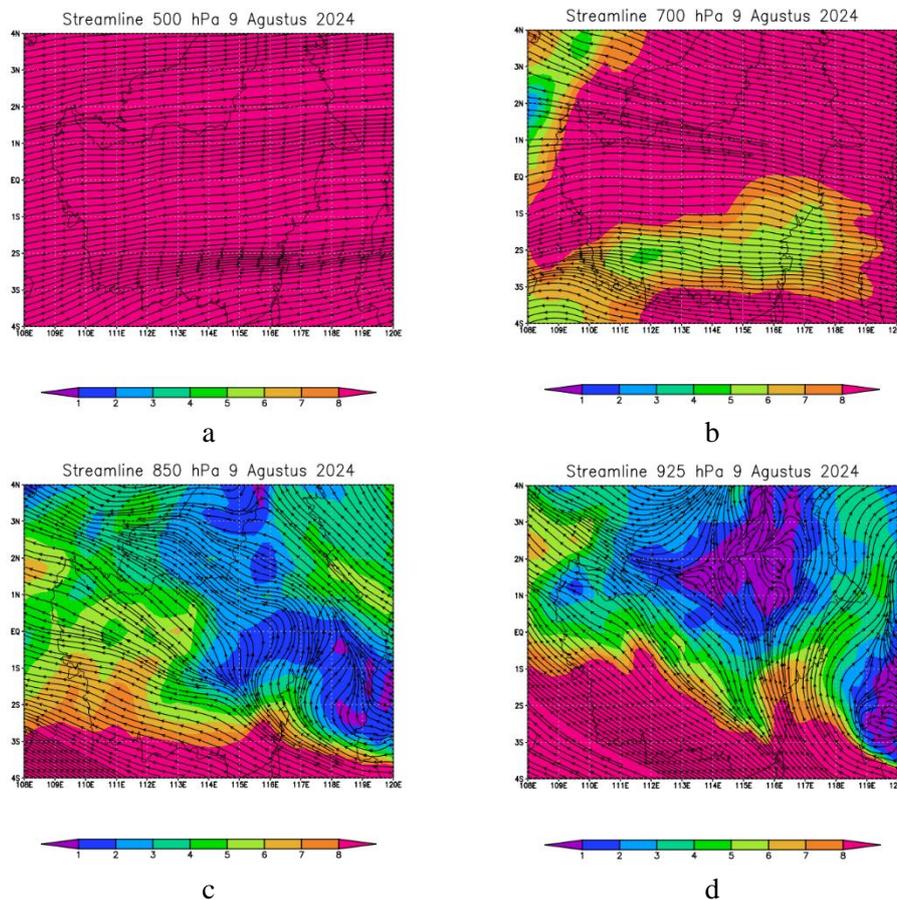
Indeks stabilitas atmosfer digunakan untuk mengevaluasi potensi ketidakstabilan atmosfer yang dapat memicu pembentukan awan konvektif dan hujan lebat. Gambar 6 menunjukkan parameter indeks stabilitas atmosfer pada tiga fase berbeda selama kejadian hujan lebat di Balikpapan. Pada fase pembentukan ini, nilai CAPE yang tinggi (628 J/kg) menunjukkan potensi konveksi yang kuat, dan LI negatif (-2.5°C) mengindikasikan ketidakstabilan atmosfer yang signifikan. K-Indeks juga tinggi (33.2°C), menunjukkan kemungkinan besar terjadinya badai petir. Pada fase matang, nilai CAPE menurun sedikit menjadi 540 J/kg, namun tetap menunjukkan potensi konveksi yang signifikan. LI tetap negatif (-2.4°C), menunjukkan ketidakstabilan atmosfer yang terus berlanjut. K-Indeks meningkat menjadi 33.7°C, menunjukkan kemungkinan badai petir yang kuat. Pada fase peluruhan, CAPE terus menurun menjadi 504 J/kg, namun tetap menunjukkan energi untuk konveksi. LI tetap negatif (-2.6°C), menunjukkan ketidakstabilan atmosfer yang signifikan. K-Indeks mencapai puncak pada 34.0°C, mengindikasikan potensi badai petir yang masih tinggi.



**Gambar 6** Stabilitas atmosfer saat: a) fase pembentukan, b) fase matang, c) fase peluruhan

### 3.4. Pergerakan Angin dan Distribusi Kelembapan Atmosfer

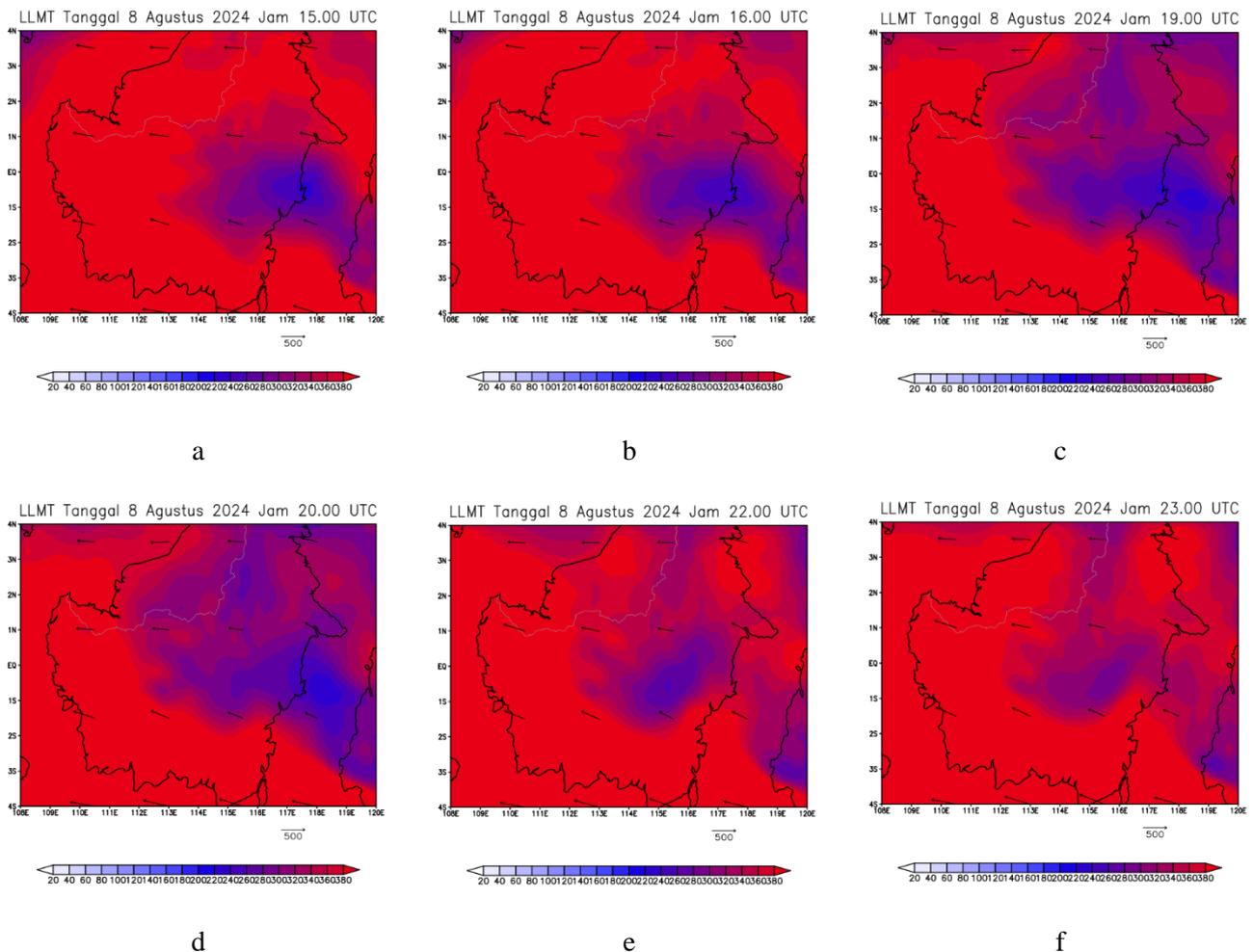
Pengamatan pola *streamline* di berbagai level tekanan memberikan informasi mengenai dinamika atmosfer yang berperan dalam kejadian hujan lebat, seperti yang dapat dilihat pada gambar 7.



**Gambar 7** Peta *Streamline* a) pada lapisan 500 hPa, b) pada lapisan 700 hPa, c) pada lapisan 850 hPa, d) pada lapisan 925 hPa

Pola angin di lapisan atas atmosfer (500 hPa) menunjukkan aliran angin yang relatif lurus dan stabil, tidak ada pola divergensi atau konvergensi yang signifikan, yang artinya kecepatan angin di wilayah ini cenderung konstan dan tidak menunjukkan adanya gangguan besar. Sehingga dapat diketahui bahwa lapisan ini tidak secara langsung terlibat dalam pengangkutan uap air yang signifikan selama kejadian hujan lebat. Lalu pada lapisan 700 hPa, warna hijau hingga kuning pada peta mencerminkan peningkatan kelembapan spesifik. Hal ini menunjukkan adanya pengangkatan udara

lembap dari Selat Makassar menuju daratan Balikpapan. Lapisan ini menjadi salah satu lapisan penting dalam mendukung aktivitas konveksi yang kuat, dengan angin membawa uap air ke area kejadian hujan. Pola angin pada 850 hPa menunjukkan dinamika yang lebih kompleks dengan pola angin yang lebih berliku-liku. Aliran angin dari Selat Makassar membawa kelembapan tinggi, yang ditunjukkan oleh warna hijau hingga biru. Area konvergensi di lapisan ini mendukung pengangkatan kelembapan ke lapisan atmosfer yang lebih tinggi yang memicu pembentukan awan cumulonimbus. Selanjutnya pada lapisan 925 hPa terlihat pola angin yang sangat konvergen di wilayah sekitar Balikpapan. Terlihat angin di lapisan rendah membawa uap air dari Laut Jawa dan Selat Makassar ke wilayah daratan, terutama Balikpapan. Warna biru hingga ungu menunjukkan konsentrasi kelembapan tinggi yang terkonsentrasi di sekitar wilayah tersebut. Konvergensi ini menjadi salah satu pemicu utama hujan lebat, karena aliran angin yang membawa kelembapan bertemu dan naik, membentuk awan hujan.



**Gambar 8** Peta *Low level moisture transport* (LLMT) dari pukul 15:00 UTC sampai 23:00 UTC, a). 15:00 UTC; b). 16:00 UTC; c). 19:00 UTC; d). 20:00 UTC; e). 22:00 UTC; f). 23:00 UTC

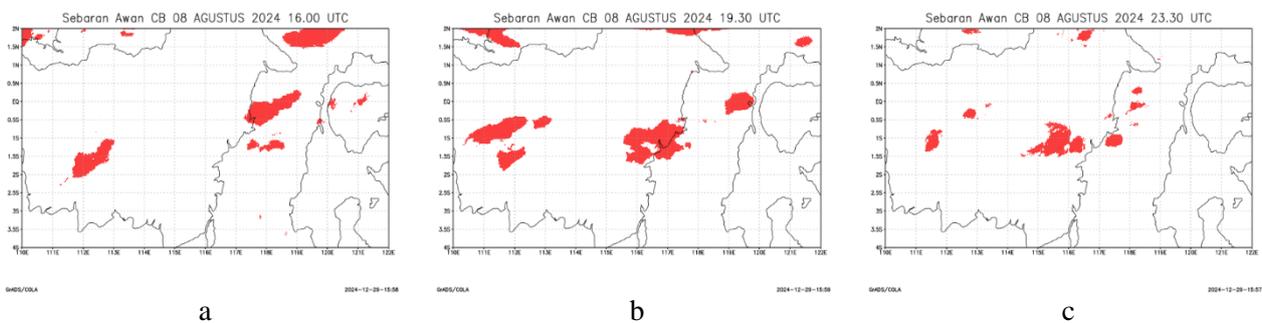
Gambar 8 menunjukkan pola transportasi kelembapan dari pukul 15:00 hingga 23:00 UTC. Analisis LLMT bertujuan untuk menggambarkan pola distribusi kelembapan di lapisan bawah atmosfer selama fase kejadian hujan lebat. Pada pukul 15:00 UTC terlihat magnitudo LLMT relatif rendah ditunjukkan oleh warna biru hingga ungu, dengan kelembapan terkonsentrasi di Selat Makassar dan mulai masuk ke wilayah Balikpapan dengan arah transportasi menunjukkan kelembapan bergerak dari laut menuju darat. Ini dapat diindikasikan sebagai awal dari proses transportasi kelembapan yang mempersiapkan atmosfer untuk pembentukan awan konvektif. Dari sini kelembapan atmosfer meningkat secara bertahap hingga 20:00 UTC, dengan konvergensi kelembapan mencapai puncaknya pada pukul 19:00–20:00 UTC, yang mendukung curah hujan maksimum. Setelah pukul 20:00 UTC,

kelembapan menyebar lebih luas, menandakan pelemahan sistem konvektif, pada pukul 22:00 UTC magnitudo LLMT sedikit menurun dibandingkan pukul 20:00 UTC, dan pada pukul 23:00 UTC magnitudo LLMT mencapai puncaknya kembali, tetapi pola transportasi kelembapan lebih menyebar ke seluruh wilayah, dapat dindikasi bahwa pada saat ini mulai tahap peluruhan hujan, dengan kelembapan yang masih berada di atmosfer namun pola konvergensi melemah.

Walaupun pada area Balikpapan cenderung memiliki transportasi kelembapan rendah dibandingkan sekitarnya, namun, arah angin menunjukkan bahwa ada aliran kelembapan yang terus-menerus menuju wilayah ini, contohnya dari Selat Makassar. Kombinasi transportasi kelembapan ini dengan faktor lokal seperti ketidakstabilan atmosfer dan konvergensi angin dapat mendukung aktivitas konvektif yang berujung pada hujan lebat.

### 3.5. Sebaran awan cumulonimbus (cb)

Sebaran awan cumulonimbus (CB) di sekitar Balikpapan dianalisis untuk memahami perkembangan sistem konvektif selama kejadian hujan lebat pada 8 Agustus 2024. Gambar 9 menunjukkan sebaran awan CB yang dihasilkan menggunakan metode *Cloud Convective Overlays* (CCO) pada tiga waktu berbeda.



**Gambar 9** Sebaran awan cumulonimbus di sekitar Balikpapan yang menunjukkan perkembangan awan konvektif pada tiga waktu berbeda: a). 16:00 UTC; b). 19:30 UTC; c). 23:30 UTC

Gambar 9 menunjukkan evolusi temporal dari distribusi awan cumulonimbus di wilayah tersebut. Pada pukul 16:00 UTC, awan cumulonimbus yang ditunjukkan dengan warna merah mulai terbentuk dan tersebar. Pada pukul 19:30 UTC, distribusi awan cumulonimbus tampak lebih luas di wilayah Balikpapan dan lebih intensif dibandingkan waktu sebelumnya, hal ini menunjukkan peningkatan aktivitas konvektif. Pada pukul 23:30 UTC, terlihat bahwa area berwarna merah masih menunjukkan kehadiran awan cumulonimbus, namun distribusinya tampak lebih terfragmentasi dibandingkan waktu sebelumnya. Ini bisa mengindikasikan fase peluruhan dari aktivitas cuaca buruk.

## IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa kejadian hujan lebat yang terjadi di Kota Balikpapan pada 9 Agustus 2024 dapat dianalisis secara efektif menggunakan citra satelit Himawari-8 yang diolah dengan perangkat lunak SATAID. Suhu puncak awan cumulonimbus yang sangat rendah, mencapai  $-74,2^{\circ}\text{C}$ , menunjukkan adanya aktivitas konvektif yang sangat intens selama kejadian tersebut. Hasil analisis citra RGB 24-Hour Microphysics dan Airmass mengungkap perkembangan awan cumulonimbus yang signifikan, mulai dari fase pembentukan hingga peluruhan, yang mendukung terjadinya hujan lebat. Analisis parameter atmosfer, termasuk *Convective Available Potential Energy* (CAPE), *Lifted Index* (LI), dan K-Index, menunjukkan ketidakstabilan atmosfer yang tinggi. Nilai CAPE mencapai  $628 \text{ J/kg}$ , LI yang bernilai negatif, dan K-Index sebesar  $34^{\circ}\text{C}$  menegaskan adanya energi konveksi yang cukup besar untuk mendukung pembentukan awan konvektif.

Selain itu, penggunaan metode *Cloud Convective Overlays* (CCO) terbukti efektif dalam mengidentifikasi distribusi awan cumulonimbus selama kejadian hujan lebat ini. Metode ini memberikan visualisasi yang akurat tentang distribusi dan intensitas awan konvektif, yang merupakan faktor utama dalam kejadian cuaca ekstrem. Analisis pergerakan angin pada peta *streamline* dan distribusi kelembapan atmosfer menunjukkan bahwa hujan lebat di Balikpapan pada 9 Agustus 2024

dipicu oleh interaksi antara transportasi kelembapan yang kuat dari Selat Makassar, dinamika atmosfer yang mendukung, dan kondisi atmosfer yang sangat tidak stabil. Interaksi antara faktor-faktor tersebut menciptakan kondisi yang sangat mendukung untuk aktivitas konvektif yang intens, yang akhirnya menghasilkan hujan lebat di wilayah tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Ariyaningsih, B. Erik, and B. Sukmara, "Kriteria ketahanan kota berdasarkan jenis bencana prioritas di Kota Balikpapan," *Region : Jurnal Pembangunan Wilayah dan Perencanaan Partisipatif*, vol. 16, no. 1, p. 74, Jan. 2021, doi: 10.20961/region.v16i1.44149.
- [2] R. Sapoeetra, U. Mustofa, R. A. Pratomo, and A. Hidayat, "Arahan Mitigasi Bencana Banjir Pada Kecamatan Balikpapan Timur," *COMPACT: Spatial Development Journal*, vol. 3, no. 1, Jun. 2024, doi: 10.35718/compact.v3i1.1146.
- [3] "Perka BMKG Nomor 9 Tahun 2010".
- [4] K. BESSHO, "Status of Himawari-8/9 and Their Synergy with GCOM Series," in *IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium*, IEEE, Jul. 2019, pp. 4668–4671. doi: 10.1109/IGARSS.2019.8898847.
- [5] "SATAID Operation Manual," 2018.
- [6] A. S. Asmita, "Pemanfaatan SATAID Untuk Analisis Kondisi Atmosfer Saat Banjir di Kalukku Menggunakan Metode Numerical Weather Prediction," *Jurnal Fisika*, vol. 12, no. 2, pp. 65–75, Nov. 2022, doi: 10.15294/jf.v12i2.40136.
- [7] M. O. R. Hutagalung, "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 (JUPITER)*, vol. 3, no. 2, p. 33, Feb. 2022, doi: 10.31851/jupiter.v3i2.6995.
- [8] R. F. Ramdani, "Analisis Kejadian Hujan Lebat dan Banjir Kabupaten Pati Menggunakan Metode Cloud Convective Overlays dan Red Green Blue Convective Storms pada Satelit Himawari 8," *Jurnal Penelitian Sains*, vol. 23, no. 3, p. 150, Nov. 2021, doi: 10.56064/jps.v23i3.647.
- [9] P. M. Rony Kurniawan, "ANALISIS CUACA EKSTREM TERKAIT BENCANA HIDROMETEOROLOGI DI JAYAPURA (STUDI KASUS HUJAN LEBAT TANGGAL 22 FEBRUARI 2014)," *Jurnal Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*, vol. 5, no. 3, pp. 25–36, Apr. 2019, doi: 10.36754/jmkg.v5i3.72.
- [10] E. Diniyati, D. Q. Syofyan, and A. Mulya, "Pemanfaatan Satelit Himawari-8 dengan Metode NWP dan RGB untuk Menganalisis Kondisi Atmosfer Saat Banjir di Sidoarjo Tanggal 28 Mei 2020," *JPIG (Jurnal Pendidikan dan Ilmu Geografi)*, vol. 6, no. 1, pp. 1–14, Mar. 2021, doi: 10.21067/jpig.v6i1.5252.
- [11] K. BESSHO *et al.*, "An Introduction to Himawari-8/9&mdash; Japan&rsquo;s New-Generation Geostationary Meteorological Satellites," *Journal of the Meteorological Society of Japan. Ser. II*, vol. 94, no. 2, pp. 151–183, 2016, doi: 10.2151/jmsj.2016-009.
- [12] S. Akihiro, "Introduction to Himawari-8 RGB composite imagery," 2020.
- [13] W. Sanjaya and S. Amri, "Analisis Citra Satelit Himawari 8/9 Terkait Kejadian Hujan Es Di Wilayah Klaten Tanggal 21 Oktober 2021," *JFT: Jurnal Fisika dan Terapannya*, vol. 9, no. 2, pp. 111–119, Dec. 2022, doi: 10.24252/jft.v9i2.27037.
- [14] M. I. L  l  , L. M. Leslie, and P. J. Lamb, "Analysis of Low-Level Atmospheric Moisture Transport Associated with the West African Monsoon," *J Clim*, vol. 28, no. 11, pp. 4414–4430, Jun. 2015, doi: 10.1175/JCLI-D-14-00746.1.
- [15] R. F. Ramdani *et al.*, "Analisis kejadian hujan lebat dan banjir Kabupaten Pati menggunakan metode Cloud Convective Overlays dan Red Green Blue Convective Storms pada Satelit Himawari 8." [Online]. Available: <http://ejournal.mipa.unsri.ac.id/index.php/jps/index>
- [16] M. F. Dwitrisna and Y. D. Haryanto, "Analisis Sebaran Awan Konvektif Penyebab Banjir Di Kabupaten Nganjuk Menggunakan Metode Red Green Blue dan Cloud Convective Overlays," *KELUWIH: Jurnal Sains dan Teknologi*, vol. 3, no. 1, pp. 42–50, Feb. 2022, doi: 10.24123/saintek.v3i1.4543.