



Kajian Meteorologis dari Fenomena Hujan Ekstrim terhadap Kejadian Banjir di Kota Ambon

(Meteorological Study of Extreme Rainfall Phenomena and its Impact on Occurrence of Flooding in The City of Ambon)

Eunike L. Makaruku¹, Silwanus M. Talakua^{2*}, & Pieter J. Kunu²

¹ Program Studi Pengolahan lahan, Pascasarjana Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena, Kampus Poka, Ambon, 97233, Indonesia

Informasi Artikel:

Submission : 10 Juni 2024
Revised : 26 April 2025
Accepted : 16 Mei 2025
Published : 20 Mei 2025

*Penulis Korespondensi:

Silwanus M. Talakua
Program Studi Pengolahan lahan Pascasarjana,
Universitas Pattimura, Jl. Ir. M. Putuhena,
Kampus Poka, Ambon 97233, Indonesia
e-mail: nustalakua3165@gmail.com
Telp: +6281114786681

Makila 19 (1) 2025: 206-223

DOI: <https://doi.org/10.30598/makila.v19i1.13711>



This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the [Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/)

Copyright © 2025 Author(s): Eunike L. Makaruku, Silwanus M. Talakua, & Pieter J. Kunu
Journal homepage:
<https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/makila>
Journal e-mail: makilajournal@gmail.com

Research Article · [Open Access](#)

ABSTRACT

This study investigates the meteorological factors contributing to extreme rainfall events and their relationship with flood occurrences in Ambon City. Based on a comprehensive global analysis of several atmospheric parameters, the results reveal: (1) a closed circulation pattern (streamline) over the Karimata Strait and Cenderawasih Bay, leading to the convergence and deceleration of easterly winds; (2) high atmospheric humidity ranging from 80% to 100%, coupled with warm sea surface temperatures (26–30°C), which significantly increase water vapor availability for cloud formation and development; and (3) a Southern Oscillation Index (SOI) of +10.39 and a Niño Index of -0.8, indicating the presence of a weak La Niña phenomenon that contributes to increased rainfall across Ambon City and the Maluku region. These atmospheric conditions collectively elevate the potential for hydrometeorological disasters, including severe flooding (BMKG, 2024). Ambon City, located within the Maluku Islands, exhibits a distinct local rainfall pattern that contrasts with Indonesia's monsoonal climate, with its peak rainy season occurring from June to August, coinciding with the national dry season. This study aims to analyze the physical atmospheric conditions during extreme rainfall events and their influence on flood occurrences in Ambon City. Utilizing a descriptive-analytic approach, the research focuses on real field events to explore the underlying mechanisms driving these phenomena. The findings demonstrate a significant correlation between extreme rainfall and flood events, with atmospheric indices confirming conditions that favor intense convective activity, prolonged heavy rainfall, and subsequent flooding.

KEYWORDS: *Extreme Rainfall, Floods, Hydrometeorology*

INTISARI

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi fisis atmosfer yang memicu terjadinya hujan ekstrem serta keterkaitannya dengan bencana banjir di Kota Ambon. Berdasarkan hasil analisis global terhadap beberapa parameter cuaca, diperoleh temuan sebagai berikut: (1) Pola pergerakan angin (streamline) menunjukkan adanya sirkulasi tertutup di wilayah Selat Karimata dan Teluk Cenderawasih, yang menyebabkan pergerakan angin timuran mengalami perapatan (perlambatan); (2) Kelembapan udara berkisar antara 80% hingga 100% dengan suhu muka laut yang hangat (26–30°C), yang memberikan suplai uap air signifikan untuk proses pembentukan dan pertumbuhan awan hujan; (3) Nilai Southern Oscillation Index (SOI) sebesar +10,39 dan Indeks Nino sebesar -0,8 menunjukkan adanya fenomena La Niña lemah yang turut berkontribusi terhadap peningkatan curah hujan di Kota Ambon dan wilayah Maluku. Kondisi atmosfer tersebut secara kolektif meningkatkan potensi terjadinya bencana hidrometeorologi di wilayah tersebut (BMKG, 2024). Kota Ambon, sebagai bagian dari Kepulauan Maluku, memiliki karakteristik pola hujan lokal yang berlawanan dengan pola monsun Indonesia. Periode musim hujan di wilayah ini terjadi bersamaan dengan musim kemarau di sebagian besar wilayah Indonesia, dengan puncak curah hujan berlangsung pada bulan Juni, Juli, dan Agustus. Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif-analitik, dengan menekankan pada analisis fenomena cuaca ekstrem yang terjadi di lapangan sebagai bahan kajian untuk memahami penyebab dan mekanisme terjadinya peristiwa tersebut. Hasil analisis menunjukkan adanya korelasi yang signifikan antara kejadian hujan ekstrem dan peristiwa banjir. Nilai-nilai indeks atmosfer yang dianalisis mendukung terjadinya proses konvektivitas di atmosfer, yang berkontribusi pada pembentukan hujan ekstrem dengan durasi yang panjang dan berdampak langsung pada meningkatnya risiko bencana banjir di wilayah tersebut.

KATA KUNCI: Banjir, Hidrometeorologi, Hujan Ekstrem

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara beriklim tropis yang memiliki karakteristik cuaca dinamis dan rentan terhadap perubahan ekstrem, baik dalam aspek suhu, kelembapan, maupun arah angin. Kondisi atmosfer yang fluktuatif ini meningkatkan potensi terjadinya berbagai bencana hidrometeorologi, salah satunya adalah banjir. Fenomena banjir menjadi ancaman serius, khususnya di kawasan pesisir dan wilayah dengan topografi yang kompleks seperti Kota Ambon. Banjir tidak hanya menimbulkan kerusakan lingkungan, tetapi juga berdampak pada keselamatan jiwa, kerusakan infrastruktur, serta penurunan kualitas hidup masyarakat di wilayah terdampak.

Berdasarkan hasil analisis global terhadap sejumlah parameter cuaca, terdapat beberapa faktor atmosfer yang berperan signifikan dalam memicu terjadinya hujan ekstrem. Pertama, pola pergerakan angin (*streamline*) menunjukkan adanya sirkulasi tertutup di wilayah Selat Karimata dan Teluk Cenderawasih yang menyebabkan pergerakan angin timuran mengalami perapatan (perlambatan), sehingga meningkatkan peluang terjadinya pembentukan awan hujan. Kedua, tingginya kelembapan udara yang berkisar antara 80% hingga 100%, serta suhu muka laut yang hangat (26–30°C), memberikan suplai uap air yang signifikan bagi proses pembentukan dan pertumbuhan awan konvektif. Ketiga, nilai *Southern Oscillation Index* (SOI) sebesar +10,39 dan Indeks Nino sebesar -0,8 menunjukkan keberadaan fenomena La Niña lemah yang turut berkontribusi terhadap peningkatan curah hujan di Kota Ambon dan wilayah Maluku. Kondisi atmosfer tersebut secara bersamaan memperbesar potensi terjadinya bencana hidrometeorologi di kawasan ini (BMKG, 2024). Hasil penelitian Talakua *et al.*, (2024) bahwa erosivitas bulanan, maka erosivitas tertinggi pada bulan Juni dan Juli sebesar 252,49 dan 233,36, karena memiliki curah hujan bulanan rata-rata tertinggi 325,93 dan 307,58 mm menghasilkan kemampuan potensial hujan untuk menyebabkan degradasi tanah akibat erosi sangat tinggi pada bulan-bulan tersebut, sehingga sangat berpotensi untuk terjadinya bahaya erosi, banjir dan longsor di DAS Wai Tala.

Selain faktor meteorologis, aktivitas antropogenik juga menjadi kontributor signifikan dalam memperparah risiko banjir. Praktik-praktik yang merusak lingkungan seperti penggundulan hutan, eksploitasi sumber daya hutan secara berlebihan, serta pembuangan limbah domestik ke sungai, telah menyebabkan berkurangnya daya tampung dan aliran sungai, mempercepat proses pendangkalan, dan meningkatkan risiko banjir (Sebastian, 2008; Susmarkanto, 2002). Kerusakan daerah tangkapan air dan terbatasnya area resapan air semakin memperparah kondisi ini, sehingga saat hujan ekstrem terjadi, lingkungan tidak mampu lagi menahan dan mengalirkan limpasan air secara optimal.

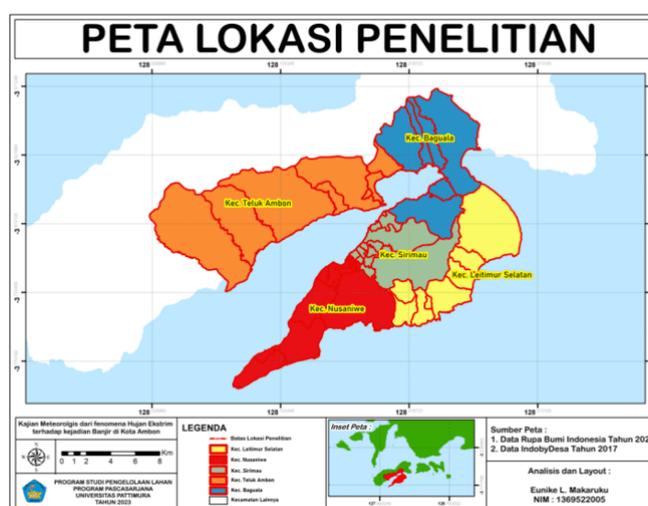
Dalam perspektif meteorologi, fenomena banjir di Kota Ambon perlu dikaji melalui pendekatan multi-skala atmosfer, yakni skala global, regional (sinoptik), dan lokal (mesoskal). Cuaca merupakan hasil interaksi kompleks antara proses fisik, dinamis, kimiawi, dan biologis yang berlangsung di atmosfer bumi (Winarso, 2011). Dinamika atmosfer yang dipengaruhi oleh interaksi antara daratan, lautan, dan atmosfer memiliki peran penting dalam distribusi energi secara global melalui sirkulasi udara. Proses sirkulasi atmosfer berskala global tersebut berdampak langsung terhadap pembentukan pola cuaca di tingkat regional hingga lokal, termasuk di wilayah Kota Ambon (Winarso, 2009). Secara khusus, sejumlah parameter meteorologi seperti curah hujan ekstrem, arah dan kecepatan angin, kelembapan udara, fenomena *Madden-Julian Oscillation* (MJO), nilai SOI, dan data pengamatan udara atas (*rawinsonde*), memiliki pengaruh besar dalam memicu terjadinya hujan ekstrem yang berlangsung dalam durasi panjang dan berpotensi menimbulkan bencana banjir (Winarso, 2011). Oleh karena itu, pemahaman yang komprehensif mengenai kondisi

fisis atmosfer dan keterkaitannya dengan peristiwa banjir sangat diperlukan dalam mendukung upaya mitigasi serta pengelolaan risiko bencana secara efektif di Kota Ambon.

METODE PENELITIAN

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Kota Ambon, dengan pengumpulan data meteorologis yang terfokus di Stasiun Meteorologi Pattimura sebagai lokasi representatif. Stasiun ini terletak pada koordinat 03°42' Lintang Selatan dan 128°05' Bujur Timur, dengan elevasi 10 meter di atas permukaan laut. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada ketersediaan data meteorologis yang lengkap dan representatif untuk mendukung analisis kondisi atmosfer terkait kejadian hujan ekstrem dan bencana banjir di wilayah Kota Ambon (Gambar 1).



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian Kota Ambon

Alat dan Bahan Penelitian

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat lunak dan data pendukung. Perangkat lunak yang digunakan meliputi Microsoft Excel 2010 untuk pengolahan data statistik, RAOB (*Rawinsonde Observation Program*) versi 5.7 untuk analisis data udara atas, serta SATAID (*Satellite Animation and Interactive Diagnosis*) untuk pengolahan citra satelit cuaca. Bahan pendukung penelitian meliputi data meteorologi dan klimatologi, data kejadian banjir, serta alat tulis dan dokumen relevan lainnya sebagai penunjang proses dokumentasi dan analisis data.

Tahapan Penelitian

Peralatan dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari perangkat lunak dan data pendukung. Perangkat lunak yang digunakan meliputi Microsoft Excel 2010 untuk pengolahan data statistik, RAOB (*Rawinsonde Observation Program*) versi 5.7 untuk analisis data udara atas, serta SATAID (*Satellite Animation and Interactive Diagnosis*) untuk pengolahan citra satelit cuaca. Bahan pendukung penelitian meliputi data meteorologi dan klimatologi, data kejadian banjir, serta

alat tulis dan dokumen relevan lainnya sebagai penunjang proses dokumentasi dan analisis data.

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus yang difokuskan pada kejadian cuaca ekstrem yang menyebabkan banjir di Kota Ambon selama periode 2013 hingga 2022. Kasus yang dikaji secara khusus adalah kejadian hujan ekstrem dengan curah hujan tertinggi yang terjadi pada tanggal 29–30 Juli 2013, yang mengakibatkan bencana banjir besar dan menimbulkan korban jiwa serta kerusakan infrastruktur (BPBD Kota Ambon, 2013).

Tahapan pelaksanaan penelitian meliputi tiga tahap utama, yaitu tahap persiapan, tahap pengumpulan data lapangan, dan tahap pengolahan serta analisis data. Pada tahap persiapan, dilakukan konsultasi intensif dengan dosen pembimbing untuk merumuskan metodologi dan instrumen penelitian yang tepat. Selain itu, dilakukan pengumpulan informasi mengenai kondisi umum lokasi penelitian, penghimpunan data meteorologi terkait kejadian hujan ekstrem, serta pengumpulan data kejadian banjir dari BPBD Kota Ambon sebagai dasar analisis.

Tahap pengumpulan data lapangan mencakup pengumpulan berbagai jenis data meteorologi yang relevan, di antaranya data curah hujan harian selama periode 2013–2022 yang diperoleh dari Stasiun Meteorologi Pattimura Ambon, data pengamatan udara atas (rawinsonde), data arah dan kecepatan angin, serta data kelembapan udara pada lapisan 850 mb dan 700 mb yang diperoleh dari BMKG. Data citra satelit cuaca dikumpulkan melalui Subbidang Pengelolaan Citra Satelit BMKG, sedangkan data terkait pergerakan fase Madden-Julian Oscillation (MJO) dan Southern Oscillation Index (SOI) diperoleh dari Australian Government (2023). Selain itu, data kejadian banjir, jumlah korban jiwa, serta kerusakan rumah dan fasilitas umum dikumpulkan dari BPBD Kota Ambon untuk memperkuat analisis dampak bencana.

Analisis Data

Tahap pengolahan dan analisis data dilakukan secara sistematis untuk memperoleh gambaran yang komprehensif mengenai hubungan antara kondisi atmosfer dan kejadian banjir. Data curah hujan diolah menggunakan Microsoft Excel 2010 untuk menentukan kejadian curah hujan ekstrem serta menganalisis frekuensi terjadinya curah hujan maksimum. Data udara atas dianalisis menggunakan perangkat lunak RAOB 5.7 untuk menghitung nilai Convective Available Potential Energy (CAPE), yang berfungsi sebagai indikator potensi terjadinya konvektivitas atmosfer dan pembentukan awan konvektif penyebab hujan ekstrem.

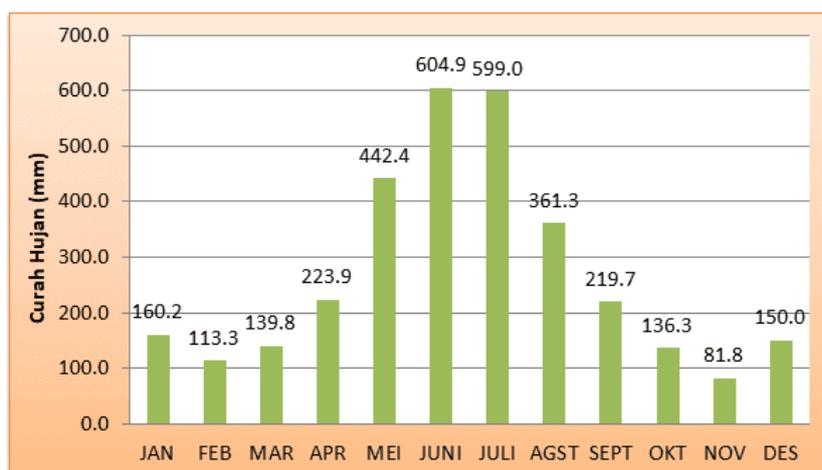
Analisis pola angin dilakukan untuk mengidentifikasi karakteristik pergerakan angin saat kejadian hujan ekstrem, sementara data kelembapan udara dianalisis guna menilai kondisi massa udara di wilayah Kota Ambon. Analisis citra satelit menggunakan perangkat lunak SATAID dimaksudkan untuk memantau pertumbuhan awan serta menentukan suhu puncak awan konvektif, yang kemudian disajikan dalam bentuk grafik dan peta spasial untuk dianalisis secara deskriptif. Selanjutnya, dilakukan analisis terhadap fenomena MJO dan SOI guna mengetahui pengaruh dinamika atmosfer global terhadap intensitas hujan ekstrem yang terjadi. Data kejadian banjir diolah dan dianalisis untuk mengkaji keterkaitannya dengan fenomena meteorologis tersebut. Akhirnya,

dilakukan analisis korelasi dan regresi untuk mengidentifikasi hubungan antara parameter-parameter meteorologi dengan kejadian banjir, serta menganalisis pengaruh faktor-faktor penyebab hujan ekstrem terhadap intensitas dan dampak bencana banjir di Kota Ambon.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Curah Hujan

Berdasarkan hasil analisis yang disajikan pada Gambar 2, pola distribusi rata-rata curah hujan bulanan di Kota Ambon selama periode 1992 hingga 2022 menunjukkan adanya kecenderungan pola musiman yang cukup kuat. Curah hujan tertinggi tercatat pada pertengahan tahun, khususnya pada bulan Juni dan Juli, masing-masing sebesar 604,9 mm dan 599,0 mm. Puncak curah hujan juga terjadi pada bulan Mei (442,4 mm) dan Agustus (361,3 mm). Sebaliknya, curah hujan terendah terjadi pada awal dan akhir tahun, seperti bulan November (81,8 mm), Februari (113,3 mm), Maret (139,8 mm), dan Oktober (136,3 mm).



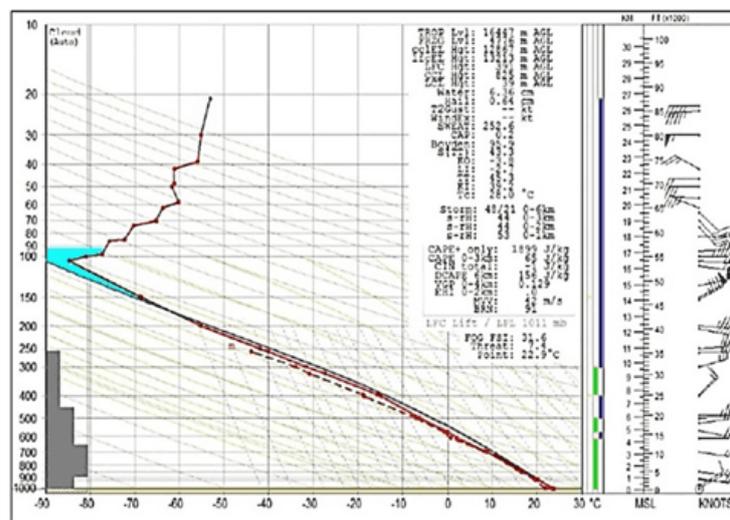
Gambar 2. Grafik Rata-Rata Bulanan Curah Hujan di Kota Ambon periode tahun 1992 - 2022

Kota Ambon memiliki karakteristik pola hujan lokal yang berbeda dengan pola monsun pada umumnya di wilayah Indonesia, di mana puncak musim hujan terjadi pada periode Mei hingga Agustus, bertepatan dengan musim kemarau di sebagian besar wilayah nasional. Pola ini dipengaruhi oleh letak geografis Kota Ambon yang berada di wilayah kepulauan dan sangat dipengaruhi oleh dinamika laut-atmosfer. Tingginya variasi curah hujan bulanan di wilayah ini secara langsung meningkatkan potensi terjadinya bencana hidrometeorologi, khususnya banjir, seperti yang terjadi pada 29-30 Juli 2013, yang menimbulkan banjir besar, korban jiwa, dan kerusakan infrastruktur. Analisis terhadap kejadian tersebut menunjukkan bahwa faktor-faktor meteorologis seperti tingginya nilai Convective Available Potential Energy (CAPE), pola sirkulasi angin tertutup (streamline), kelembapan udara tinggi pada lapisan 850 mb dan 700 mb, serta fase aktif Madden-Julian Oscillation (MJO), menjadi pemicu utama terbentuknya awan konvektif yang menghasilkan hujan lebat dengan durasi panjang. Di tingkat global, fenomena La Niña lemah yang

ditunjukkan oleh nilai SOI positif (+10,39) dan Indeks Nino negatif (-0,8) turut memperbesar potensi curah hujan tinggi di wilayah Maluku. Sinergi antara kondisi atmosfer lokal, regional, dan global tersebut menciptakan situasi yang sangat kondusif untuk terjadinya hujan ekstrem yang berujung pada bencana banjir. Oleh karena itu, pemantauan dan analisis parameter atmosfer secara terintegrasi menjadi sangat penting dalam mendukung upaya mitigasi risiko dan peringatan dini terhadap bencana hidrometeorologi di wilayah rawan seperti Kota Ambon.

Analisis Udara Atas

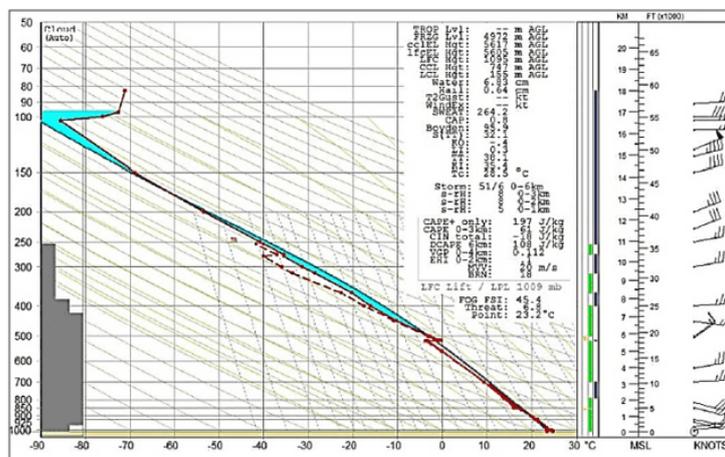
Hasil pengolahan data pengamatan udara atas (**Gambar 3, Gambar 4, Gambar 5**). Hasil analisis data pengamatan udara atas pada tanggal 29 Juli 2013 pukul 00.00 UTC, kondisi atmosfer di wilayah Kota Ambon menunjukkan tingkat labilitas yang tinggi dan sangat mendukung terjadinya proses konveksi kuat yang berpotensi menghasilkan hujan ekstrem. Nilai *Convective Available Potential Energy* (CAPE) sebesar 945 J/kg mencerminkan ketersediaan energi konvektif yang cukup besar untuk memicu pertumbuhan awan cumulonimbus dengan intensitas hujan lebat dan durasi yang panjang, sementara nilai *Convective Inhibition* (CIN) yang rendah sebesar -35 J/kg menunjukkan tidak adanya hambatan signifikan dalam proses pengangkatan massa udara lembap. Profil suhu dan kelembapan atmosfer pada lapisan 850 mb hingga 500 mb menunjukkan kelembapan relatif yang tinggi dan lapisan udara yang labil, mendukung pembentukan awan hujan secara masif (**Gambar 3**).



Gambar 3. Kurva sounding 29 Juli 2013 jam 00.00 UTC

Pola angin vertikal juga memperlihatkan adanya *wind shear* yang signifikan, yang memperkuat pertumbuhan vertikal awan konvektif dan meningkatkan potensi badai lokal. Selain itu, nilai *Level of Free Convection* (LFC) yang rendah pada 1011 mb menunjukkan bahwa proses konveksi bebas dapat terjadi pada ketinggian yang relatif dekat dengan permukaan laut, mempercepat proses pembentukan awan hujan. Kondisi atmosfer ini semakin diperkuat oleh tingginya kelembapan udara, aktivitas *Madden-Julian Oscillation* (MJO), serta keberadaan fenomena

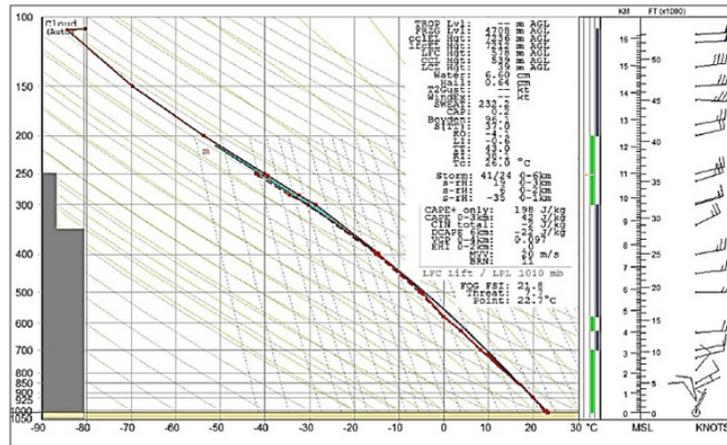
La Niña lemah, yang secara sinergis meningkatkan potensi terjadinya bencana hidrometeorologi berupa hujan ekstrem dan banjir besar di Kota Ambon.



Gambar 4. Kurva sounding 29 Juli 2013 jam 12.00 UTC

Berdasarkan hasil pengamatan udara atas pada tanggal 29 Juli 2013 pukul 12.00 UTC (Gambar 4), kondisi atmosfer di wilayah Kota Ambon tetap menunjukkan potensi tinggi untuk terjadinya konveksi kuat dan pembentukan awan konvektif berskala besar, yang ditandai dengan nilai Convective Available Potential Energy (CAPE) sebesar 943 J/kg dan Convective Inhibition (CIN) yang sangat rendah sebesar -13 J/kg. Kondisi ini menunjukkan bahwa ketersediaan energi konvektif di atmosfer masih cukup besar untuk mendukung pertumbuhan awan cumulonimbus secara intensif, sementara hambatan terhadap proses pengangkatan massa udara sangat minimal. Profil kelembapan udara yang tinggi, terutama pada lapisan 850 mb hingga 700 mb, semakin memperkuat proses kondensasi dan pembentukan awan hujan dengan intensitas tinggi.

Analisis parameter angin menunjukkan adanya peningkatan kecepatan dan perubahan arah angin di lapisan atmosfer atas, yang mendukung terbentuknya wind shear dan memperkuat perkembangan vertikal awan konvektif, sehingga meningkatkan potensi terjadinya badai lokal dan hujan lebat dalam durasi yang berkepanjangan. Selain itu, nilai Level of Free Convection (LFC) yang rendah pada tekanan 1009 mb menandakan bahwa proses konveksi bebas dapat terjadi sejak lapisan dekat permukaan laut, mempercepat proses pembentukan awan hujan. Secara umum, kondisi atmosfer yang labil, tingginya ketersediaan energi konvektif, kelembapan yang melimpah, dan dinamika angin yang mendukung memperkuat temuan bahwa potensi terjadinya hujan ekstrem dan risiko bencana hidrometeorologi, khususnya banjir, masih sangat tinggi di Kota Ambon pada siang hingga sore hari tersebut, sehingga diperlukan sistem peringatan dini yang efektif berbasis pemantauan atmosfer secara komprehensif.



Gambar 5. Kurva sounding 30 Juli 2013 jam 12.00 UTC

Berdasarkan hasil analisis data pengamatan udara atas pada tanggal 30 Juli 2013 pukul 12.00 UTC (**Gambar 5**), kondisi atmosfer di wilayah Kota Ambon menunjukkan kecenderungan menuju stabilitas setelah terjadinya hujan ekstrem pada hari sebelumnya. Nilai Convective Available Potential Energy (CAPE) tercatat sebesar 412 J/kg, mengalami penurunan signifikan dibandingkan dengan hari sebelumnya, yang mengindikasikan berkurangnya potensi pembentukan awan konvektif dengan intensitas hujan tinggi. Meskipun nilai Convective Inhibition (CIN) tetap rendah sebesar -15 J/kg, kelembapan udara yang menurun pada lapisan 850 mb hingga 700 mb serta berkurangnya dukungan wind shear di lapisan atmosfer atas menunjukkan bahwa aktivitas konvektif berlangsung dengan intensitas yang lebih rendah. Nilai Level of Free Convection (LFC) yang tercatat pada 1010 mb masih memungkinkan terjadinya proses konveksi, namun tanpa didukung oleh kelembapan yang memadai dan energi konvektif yang besar, potensi terjadinya hujan ekstrem relatif kecil. Kondisi ini menandai fase transisi menuju stabilitas atmosfer, di mana peluang terjadinya hujan hanya bersifat ringan hingga sedang, dan risiko bencana hidrometeorologi akibat curah hujan ekstrem cenderung menurun. Temuan ini menjadi penting dalam mendukung kebijakan mitigasi risiko dan penguatan sistem peringatan dini di wilayah rawan bencana seperti Kota Ambon.

Tabel 1. Nilai Convective Available Potential Energi (CAPE)

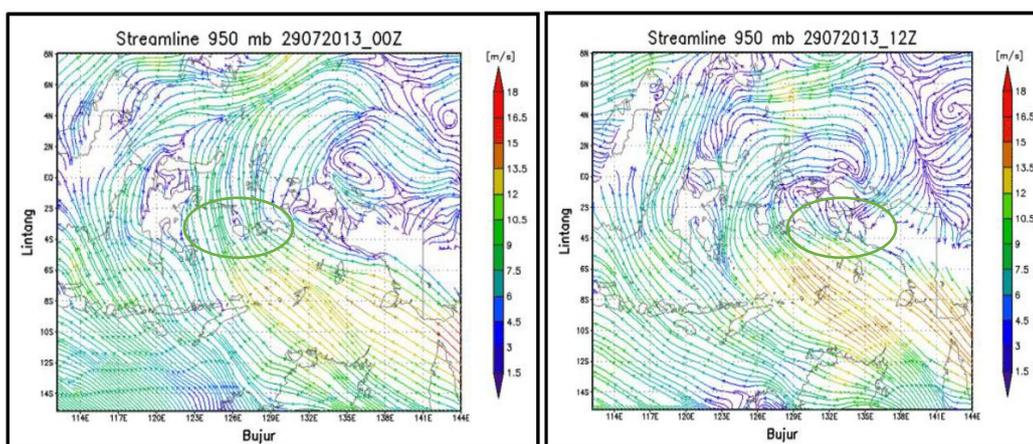
| Tanggal | Waktu (WIT) | Cape (J/Kg) | Keterangan |
|---------|-------------|-------------|---------------------|
| 29 | 09.00 | 1899 | Konvektifitas Kuat |
| 29 | 21.00 | 197 | Konvektifitas Lemah |
| 30 | 09.00 | 198 | Konvektifitas Lemah |

Berdasarkan hasil analisis nilai Convective Available Potential Energy (CAPE) pada **Tabel 1**, diketahui bahwa puncak aktivitas konvektif di wilayah Kota Ambon terjadi pada tanggal 29 Juli 2013 pukul 09.00 WIT dengan nilai CAPE mencapai 1899 J/kg, yang menunjukkan kondisi atmosfer sangat labil dan mendukung pembentukan awan konvektif berskala besar, seperti cumulonimbus, yang berpotensi menghasilkan hujan lebat dan berdurasi panjang. Nilai CAPE di atas 1000 J/kg merupakan indikator penting terjadinya cuaca ekstrem dan badai lokal (Kelana, 2011). Selanjutnya,

nilai CAPE menurun drastis menjadi 197 J/kg pada pukul 21.00 WIT dan tetap rendah sebesar 198 J/kg pada tanggal 30 Juli 2013 pukul 09.00 WIT, menunjukkan kecenderungan atmosfer yang semakin stabil dan menurunnya potensi kejadian hujan lebat serta bencana hidrometeorologi. Penurunan nilai CAPE ini juga menandakan telah terjadi pelepasan energi konvektif secara masif saat puncak kejadian hujan ekstrem, yang menjadi indikator penting dalam pengembangan sistem peringatan dini untuk memantau transisi kondisi atmosfer dari fase labil menuju stabil, serta dalam upaya mitigasi risiko bencana di wilayah rawan seperti Kota Ambon.

Analisis Arah dan Kecepatan Angin

Berdasarkan hasil pengamatan sinoptik yang ditampilkan pada **Gambar 6**, pola streamline pada tanggal 29 Juli 2013 pukul 00.00 UTC dan 12.00 UTC menunjukkan adanya pola belokan angin (*shear line*) yang cukup signifikan di wilayah Maluku tengah, termasuk Pulau Ambon, yang berperan penting dalam proses pembentukan dan pertumbuhan awan-awan konvektif. Arah angin dominan dari tenggara hingga timur dengan kecepatan berkisar antara 5 hingga 12 knot, mendukung pergerakan massa udara lembap menuju wilayah tersebut.



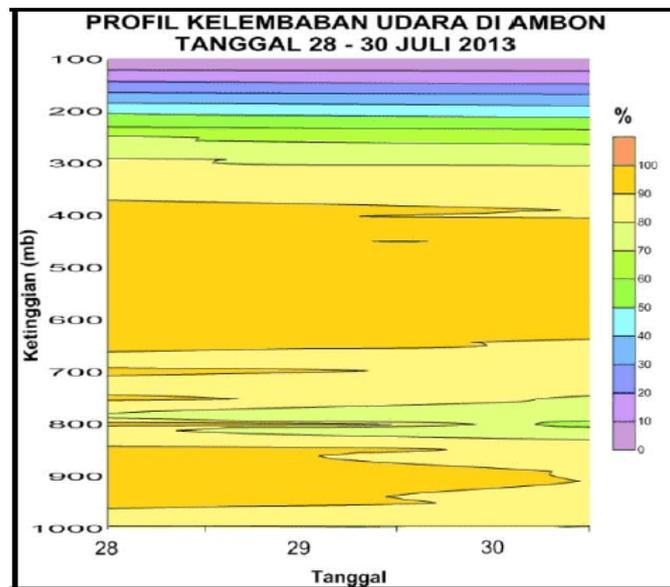
Gambar 6. Peta Streamline 29 Juli 2013 Jam 00.00 UTC & 12.00 UTC

Keberadaan pusaran angin (*eddy*) di timur laut Pulau Seram juga berkontribusi terhadap peningkatan ketidakstabilan atmosfer dan memperkuat proses konvektif yang berdampak pada peningkatan potensi cuaca buruk di wilayah Pulau Ambon dan sekitarnya. Selain itu, hasil analisis angin lapisan atas menunjukkan adanya perlambatan massa udara (*confluence*) di wilayah Maluku, khususnya di sekitar Pulau Ambon, Pulau Buru, dan Pulau Seram, yang berperan dalam meningkatkan akumulasi uap air dan memperbesar peluang terjadinya hujan lebat. Sirkulasi tekanan rendah di wilayah Filipina turut memperkuat fenomena konvergensi di kawasan Maluku, sehingga mendukung kondisi atmosfer yang sangat labil dan memicu terjadinya hujan ekstrem serta potensi bencana hidrometeorologi pada periode tersebut.

Analisis Kelembaban Udara

Pada **Gambar 7**, profil kelembaban hasil analisis data udara atas pengamatan tanggal 28 – 30 Juli 2013, kelembaban udara lapisan atas yang teramati melalui data analisis model pada lapisan

850 mb dan 700 mb, menunjukkan wilayah Maluku memiliki nilai kelembaban 95% - 100%. Hal ini menunjukkan kondisi atmosfer lapisan atas cenderung basah, dan mengindikasikan adanya massa udara yang terkonsentrasi dan mendukung pertumbuhan awan hujan di wilayah Maluku khususnya Pulau Ambon dan sekitarnya.



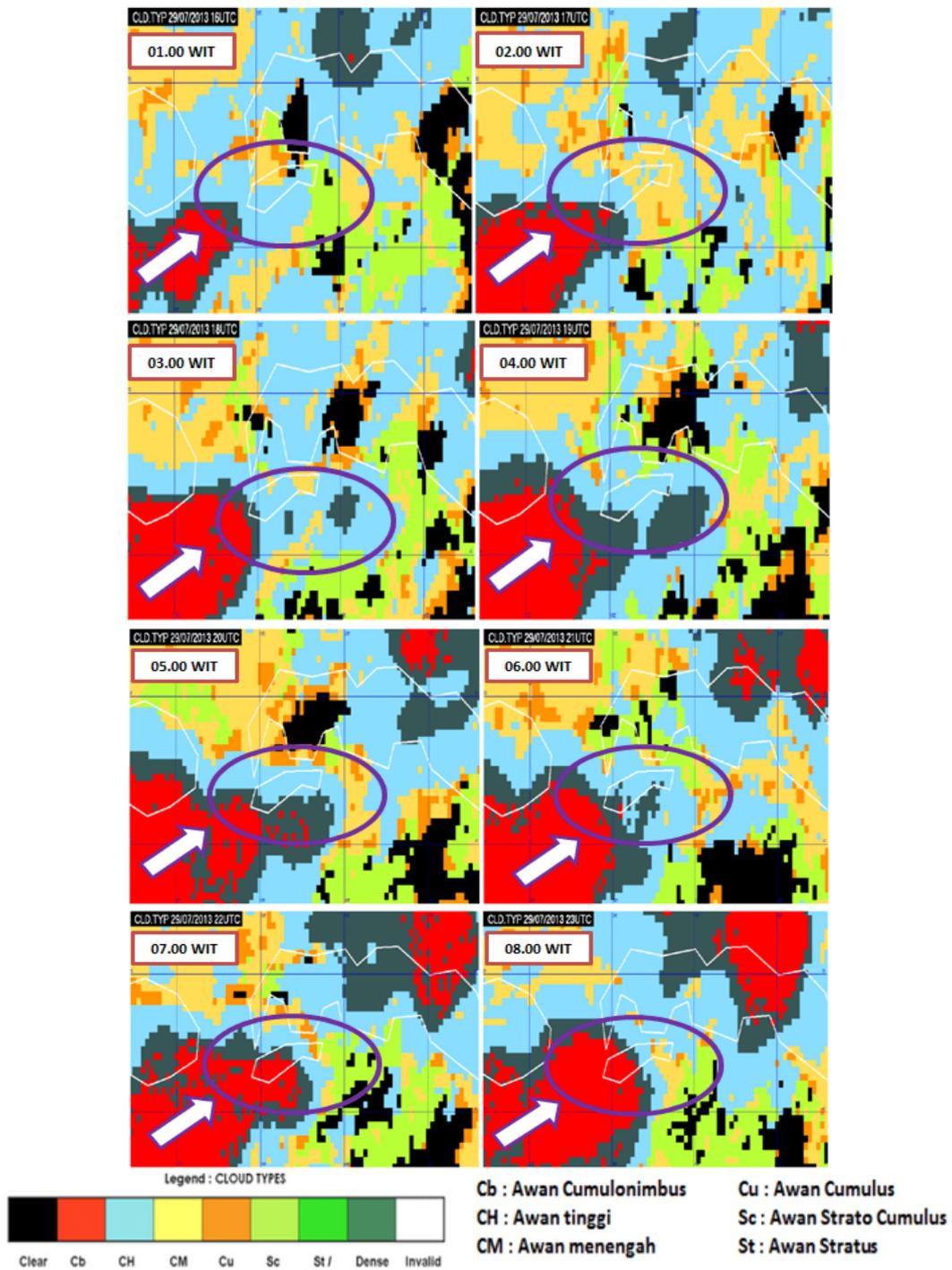
Gambar 7. Profil Kelembaban Udara di Ambon

Kondisi ini berhubungan dengan ketersediaan uap air yang banyak di atmosfer dan kenaikan parcel udara yang tidak stabil dimana densitas parcel lebih rendah sehingga memicu kenaikan massa udara yang membawa uap air. Ketinggian massa udara yang membawa uap air ini berkaitan dengan pembentukan awan-awan konvektif seperti cumulonimbus yang menjulang tinggi sehingga berpeluang menyebabkan hujan dengan intensitas yang tinggi secara tiba-tiba (BMKG, 2010).

Analisis Citra Satelit

Berdasarkan hasil analisis citra satelit Himawari-8 yang diolah menggunakan perangkat lunak SATAID pada tanggal 29 hingga 30 Juli 2013 (**Gambar 8**), teridentifikasi pertumbuhan awan konvektif yang signifikan di wilayah Pulau Ambon, ditandai dengan dominasi area berwarna merah yang merepresentasikan awan jenis cumulonimbus dengan suhu puncak awan berkisar antara -78°C hingga -40°C . Suhu puncak awan yang sangat rendah ini mengindikasikan adanya puncak awan yang menjulang tinggi, yang merupakan ciri khas dari awan cumulonimbus yang berpotensi besar menimbulkan hujan ekstrem. Proses pembentukan awan konvektif mulai aktif sejak dini hari tanggal 29 Juli 2013 pada rentang waktu 16.00 UTC hingga puncaknya terjadi pada 22.00 hingga 23.00 UTC, di mana hampir seluruh wilayah Pulau Ambon tertutup oleh awan cumulonimbus. Keberadaan awan ini secara spasial memperkuat indikasi terjadinya hujan dengan intensitas tinggi dan durasi yang cukup panjang. Setelah mencapai puncaknya, pertumbuhan awan cumulonimbus mulai menurun pada pukul 00.00 UTC tanggal 30 Juli 2013, seiring dengan berkurangnya energi konvektif di atmosfer. Pola pertumbuhan dan pergeseran awan ini menjadi bukti visual yang mendukung hasil analisis dinamika atmosfer, bahwa kejadian hujan ekstrem dan potensi bencana

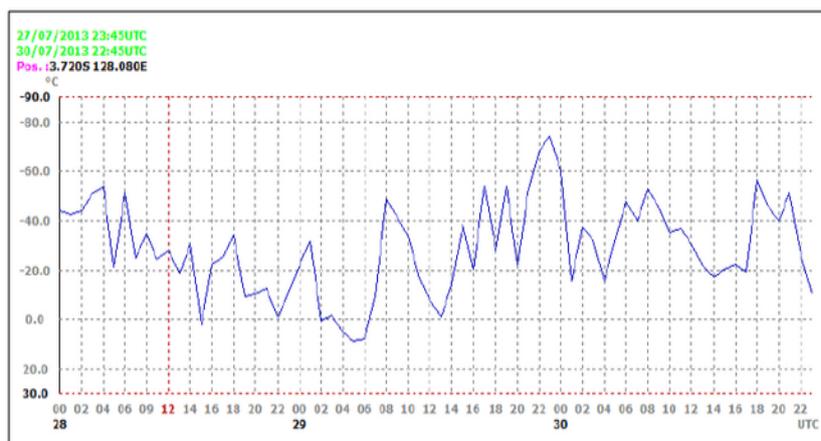
hidrometeorologi di wilayah Pulau Ambon pada periode tersebut sangat dipengaruhi oleh aktivitas awan cumulonimbus yang intensif.



Gambar 8. Klasifikasi Jenis Awan

Berdasarkan Gambar 9, yang menyajikan profil suhu puncak awan di wilayah Pulau Ambon, terlihat dengan jelas bahwa proses pembentukan awan konvektif intensif telah berlangsung beberapa jam sebelum puncak kejadian hujan ekstrem. Penurunan suhu puncak awan yang signifikan terjadi pada tanggal 30 Juli 2013 pukul 23.00 UTC, di mana suhu puncak awan tercatat mencapai di bawah -80°C . Nilai suhu puncak awan yang sangat rendah ini mengindikasikan adanya

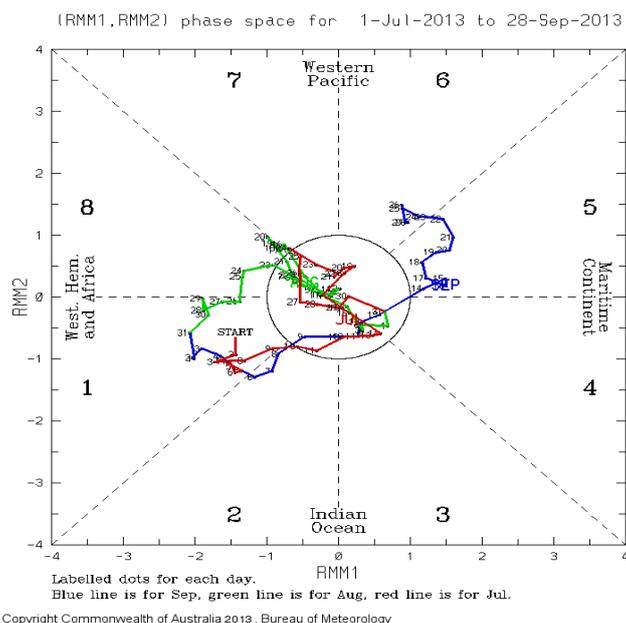
pertumbuhan awan cumulonimbus yang menjulang tinggi ke lapisan atas atmosfer, yang merupakan ciri khas awan pembawa hujan lebat dan badai petir. Puncak kejadian hujan ekstrem yang tercatat pada pukul 07.00 WIT bertepatan dengan periode suhu puncak awan terendah, memperkuat korelasi antara suhu puncak awan yang rendah dengan terjadinya hujan intensitas tinggi. Meskipun setelah kejadian tersebut suhu puncak awan menunjukkan kecenderungan naik, pola penurunan suhu kembali teramati, yang menandakan masih berlangsungnya proses pertumbuhan awan konvektif di wilayah Pulau Ambon. Kondisi ini menjadi bukti penting bahwa suhu puncak awan merupakan indikator yang efektif dalam mendeteksi potensi kejadian hujan ekstrem dan bencana hidrometeorologi.



Gambar 9. Profil Suhu Puncak Awan

Analisis Madden Julian Oscillation (MJO)

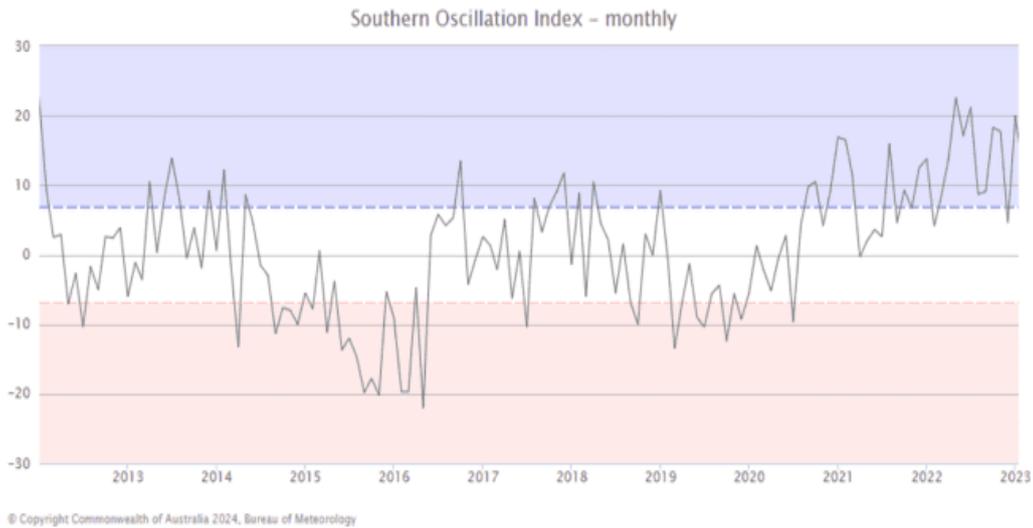
Berdasarkan Gambar 10, hasil analisis fase Madden Julian Oscillation (MJO) menunjukkan bahwa selama periode kejadian hujan ekstrem di Pulau Ambon, aktivitas MJO terpantau berada pada kuadran 4 yang berlokasi di wilayah Samudera Hindia. Fase ini berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan aktivitas konvektif di wilayah Indonesia bagian timur, termasuk Pulau Ambon, yang berdampak langsung pada intensitas curah hujan yang tinggi. Kehadiran MJO di wilayah ini juga berkorelasi dengan peningkatan suhu muka laut yang memicu proses penguapan intensif, menghasilkan uap air dalam jumlah besar yang kemudian naik secara vertikal ke atmosfer dan membentuk awan-awan konvektif, terutama jenis cumulonimbus yang berpotensi menimbulkan hujan lebat. Fenomena MJO ini memiliki siklus berulang sekitar 30 hingga 60 hari, sehingga dalam periode tersebut, wilayah yang dilaluinya, seperti Pulau Ambon, cenderung mengalami peningkatan frekuensi dan intensitas hujan (Efendy, 2001). Kondisi ini semakin memperkuat hasil analisis sebelumnya bahwa kombinasi faktor lokal, regional, dan global, termasuk pengaruh MJO, berperan penting dalam memicu terjadinya bencana hidrometeorologi berupa hujan ekstrem dan banjir besar di wilayah tersebut.



Gambar 10. fase Madden Julian Oscillation (MJO) (Sumber : Australian Government, 2023)

Analisis Southern Oscillation Index (SOI)

Berdasarkan Gambar 11, yang menunjukkan fluktuasi nilai Southern Oscillation Index (SOI) periode Januari 2013 hingga Desember 2022, terlihat bahwa fenomena El Niño dan La Niña memberikan pengaruh yang signifikan terhadap kondisi cuaca di wilayah Indonesia, termasuk Pulau Ambon. Fenomena El Niño tercatat terjadi pada tahun 2014, 2015, dan 2019, ditandai dengan nilai SOI yang berada di kisaran -10 hingga -5 selama minimal enam bulan berturut-turut, yang berimplikasi pada berkurangnya curah hujan di wilayah Indonesia. Sebaliknya, fenomena La Niña terjadi lebih sering, yakni pada tahun 2013, 2016, 2017, 2018, 2020, 2021, dan 2022, ditandai dengan nilai SOI yang stabil di kisaran +5 hingga +10, yang mendorong peningkatan curah hujan di berbagai wilayah. Khusus pada periode kejadian banjir di Kota Ambon pada tanggal 30 Juli 2013, nilai SOI tercatat positif sebesar +8,1, mengindikasikan aktivitas La Niña lemah yang berperan dalam meningkatkan suplai uap air dari Samudra Pasifik Timur ke wilayah Samudra Pasifik Barat. Kondisi ini berdampak pada perlambatan massa udara di atas wilayah Maluku, yang memicu peningkatan pengangkatan massa udara dan mendukung pembentukan awan-awan konvektif. Fenomena ini secara langsung berkontribusi terhadap terjadinya hujan ekstrem yang menyebabkan bencana banjir di Pulau Ambon, mempertegas pentingnya pengamatan nilai SOI sebagai indikator global dalam prediksi iklim dan mitigasi risiko bencana hidrometeorologi di wilayah rawan..



Gambar 11. Grafik Fluktuasi nilai SOI periode Januari 2013-Desember 2022
 (Sumber : Australian Government, 2023)

Analisis Kondisi Fisis Atmosfer Terhadap Curah Hujan Ekstrem

Berdasarkan hasil analisis korelasi yang disajikan pada **Tabel 2**, diperoleh gambaran bahwa kondisi fisis atmosfer memiliki hubungan yang beragam terhadap curah hujan ekstrem, ditunjukkan oleh adanya nilai korelasi positif maupun negatif. Korelasi paling signifikan ditemukan antara nilai CAPE dan curah hujan dengan koefisien sebesar +0.812 (p-value 0.000), menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai CAPE, yang merepresentasikan energi konvektif di atmosfer, maka potensi terjadinya hujan ekstrem juga semakin besar.

Tabel 2. Korelasi Kondisi Fisis Atmosfer Terhadap Hujan Ekstrem

| | | CAPE | SOI | Suhu Udara | Curah Hujan |
|-------------|--------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-------------|
| CAPE | Pearson Correlation P-Value | 1.0 | | | |
| SOI | Pearson Correlation P-Value | +0.445 0.043 | 1.0 | | |
| Suhu Udara | Pearson Correlation P-Value | -0.140 0.545 | -0.241 0.292 | 1.0 | |
| Curah Hujan | Pearson Correlation P-Value | +0.812 0.000 | +0.192 0.404 | -0.086 0.710 | 1.0 |

Hubungan positif juga terlihat antara SOI dan CAPE (+0.445; p-value 0.043), yang mengindikasikan bahwa saat indeks SOI menunjukkan nilai positif (fase La Niña), aktivitas konvektif di atmosfer cenderung meningkat, mendukung terbentuknya awan-awan konvektif yang berpotensi menghasilkan curah hujan tinggi. Sebaliknya, suhu udara menunjukkan korelasi negatif dengan CAPE (-0.140), SOI (-0.241), dan curah hujan (-0.086), yang menandakan bahwa saat curah hujan dan aktivitas konvektif tinggi, suhu udara cenderung menurun akibat pendinginan atmosfer oleh proses presipitasi. Hubungan positif antara SOI dan curah hujan (+0.192) meskipun tidak signifikan secara statistik (p-value 0.404), tetap menunjukkan kecenderungan bahwa pada kondisi La Niña, curah hujan di wilayah Pulau Ambon cenderung meningkat. Secara keseluruhan, analisis

ini memperkuat pemahaman bahwa curah hujan ekstrem di wilayah tersebut sangat dipengaruhi oleh interaksi antara dinamika global seperti SOI, kondisi termodinamika lokal yang tercermin dari nilai CAPE, serta suhu udara sebagai faktor pengendali dalam proses pembentukan awan dan presipitasi. Temuan ini menjadi landasan penting dalam perumusan strategi mitigasi risiko bencana hidrometeorologi dan penguatan sistem peringatan dini berbasis indikator atmosfer yang terukur secara ilmiah.

Analisis Dampak Kejadian Hujan Ekstrem Dengan Fenomena Banjir

Berdasarkan hasil analisis yang disajikan dalam **Tabel 3**, diperoleh bukti bahwa curah hujan ekstrem memiliki hubungan positif yang signifikan terhadap berbagai dampak bencana banjir di Kota Ambon. Nilai koefisien regresi menunjukkan bahwa peningkatan curah hujan ekstrem berdampak langsung pada peningkatan jumlah korban meninggal ($\beta = +0.0154$; $R^2 = 17.2\%$), korban terluka ($\beta_1 = +0.0374$; $R^2 = 15.6\%$), rumah rusak ($\beta_1 = +0.208$; $R^2 = 25.8\%$), rumah terendam ($\beta_1 = +0.984$; $R^2 = 9.0\%$), serta kerusakan fasilitas umum ($\beta_1 = +0.00273$; $R^2 = 15.6\%$). Hubungan positif ini menegaskan bahwa semakin tinggi intensitas curah hujan ekstrem, maka risiko terjadinya korban jiwa, kerusakan infrastruktur, dan dampak sosial-ekonomi lainnya juga semakin besar. Meskipun nilai koefisien determinasi (R^2) pada beberapa variabel masih tergolong moderat, namun pola ini secara jelas menunjukkan bahwa curah hujan ekstrem merupakan faktor determinan utama dalam memicu bencana banjir dan memperbesar skala dampaknya. Temuan ini menjadi dasar penting bagi perumusan strategi mitigasi bencana yang lebih adaptif, terutama dalam memperkuat sistem peringatan dini dan penguatan kapasitas ketahanan infrastruktur di wilayah rawan banjir seperti Kota Ambon.

Tabel 3. Analisis Hubungan Curah Hujan Ekstrem Terhadap Kejadian Banjir

| No | Pengaruh | Persamaan Regresi | Koefisien Regresi | Koefisien Determinasi |
|----|------------------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|
| 1 | CH Ekstrem dengan Korban Meninggal | - 1.77 + 0.0154 | +0.0154 | 17.2% |
| 3 | CH Ekstrem dengan Korban Terluka | - 4.39 + 0.0374 | +0.0374 | 15.6% |
| 4 | CH Ekstrem dengan Rumah Rusak | - 17.2 + 0.208 | +0.208 | 25.8% |
| 5 | CH Ekstrem dengan Rumah Terendam | 6 + 0.984 | + 0.984 | 9.0% |
| 6 | CH Ekstrem dengan Fasum Rusak | - 0.324 + 0.00273 | +0.00273 | 15.6% |

Meskipun nilai koefisien determinasi (R^2) pada beberapa variabel masih tergolong moderat, namun pola ini secara jelas menunjukkan bahwa curah hujan ekstrem merupakan faktor determinan utama dalam memicu bencana banjir dan memperbesar skala dampaknya.

Hal ini juga didukung oleh Talakua *et al.*, (2023), bahwa terjadinya kerawanan bencana longsor dengan tingkat sedang –tinggi di Kota Ambon disebabkan oleh curah hujan tahunan yang tinggi (2500-3000 mm) disamping parameter topografi datar–curam, erodibilitas tanah agak peka –

kurang peka, formasi geologi berupa Bahan Aluvial, Bahan Vulkanik 1 dan Bahan Sedimen 1, tutupan lahan hutan, semak belukar dominan dan kebun campuran, serta permukiman. Begitu juga hasil kajian Marasabessy *et al.*, (2024) mengemukakan bahwa curah hujan bulan Juni dan Juli sebesar 402,90 mm dan 507,56 memiliki cadangan air yang cukup, tetapi juga mempengaruhi kondisi hidrologi DAS terutama degradasi lahan akibat erosi, longsor dan banjir cukup tinggi pada bulan-bulan tersebut. Temuan-temuan ini menjadi dasar penting bagi perumusan strategi mitigasi bencana yang lebih adaptif, terutama dalam memperkuat sistem peringatan dini dan penguatan kapasitas ketahanan infrastruktur di wilayah rawan banjir seperti Kota Ambon.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis, disimpulkan bahwa kondisi fisis atmosfer pada saat kejadian hujan ekstrem di Kota Ambon, khususnya saat bencana banjir tanggal 29 Juli 2013 dengan curah hujan sebesar 333,9 mm, didominasi oleh aktivitas konveksi kuat yang ditunjukkan oleh nilai CAPE sebesar 1899 J/kg, mengindikasikan atmosfer yang sangat labil dan mendukung pembentukan awan konvektif berskala besar. Pola streamline menunjukkan adanya belokan angin di wilayah Maluku Tengah dengan arah angin dominan dari Tenggara-Timur berkecepatan 5-12 knot, serta keberadaan pusaran angin (eddy) di timur laut Pulau Seram yang memperkuat potensi cuaca buruk di wilayah tersebut. Kelembapan udara lapisan atas pada level 850 mb hingga 700 mb mencapai 95%-100%, menunjukkan kondisi atmosfer yang basah dan mendukung pembentukan awan hujan secara intensif. Citra satelit Himawari-8 memperlihatkan suhu puncak awan yang sangat rendah, berkisar antara -78°C hingga -40°C , mengindikasikan keberadaan awan cumulonimbus yang berpotensi menghasilkan hujan ekstrem. Aktivitas MJO yang terpantau pada kuadran 4 di Samudera Hindia turut memperkuat pertumbuhan awan konvektif di wilayah Indonesia Timur, termasuk Ambon, yang berdampak pada peningkatan intensitas curah hujan. Nilai SOI positif sebesar +8,1 saat kejadian tersebut menandakan pengaruh La Niña lemah, yang memperbesar suplai uap air dari Samudra Pasifik Timur ke Barat, mendukung pengangkatan massa udara dan pembentukan awan-awan hujan. Hasil analisis korelasi menunjukkan hubungan positif yang signifikan antara curah hujan ekstrem dengan kejadian banjir, ditunjukkan oleh meningkatnya jumlah korban meninggal ($\beta_1 = +0.0154$), korban terluka ($\beta_1 = +0.0374$), rumah rusak ($\beta_1 = +0.208$), rumah terendam ($\beta_1 = +0.984$), dan kerusakan fasilitas umum ($\beta_1 = +0.00273$). Temuan ini mempertegas bahwa dinamika atmosfer, yang dipengaruhi oleh faktor lokal, regional, dan global, secara sinergis berperan dalam memicu terjadinya hujan ekstrem dan bencana banjir di Kota Ambon.

DAFTAR PUSTAKA

- Australian Government, 2023. Bureau of Meteorology. (<http://www.bom.gov.au/australia/charts/archive/index.shtml>).
- BMKG, 2010. Peraturan Kepala Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (KBMKG) Nomor KEP.009 tahun 2010 tentang Prosedur Standar Operasional Pelaksanaan Peringatan Dini. Pelaporan dan Diseminasi Informasi Cuaca Ekstrim. Halaman 3, Jakarta.
- BMKG, 2024. Siaran Pers Waspada Potensi Cuaca Buruk di Wilayah Maluku, Stasiun Meteorologi Pattimura Ambon tahun 2024.
- Djuric, 1994. "Weather Analysis". Prentice-Hall Inc., 304 pp.
- Effendy dan Sobri. "Urgensi Prediksi Cuaca Dan Iklim Di Bursa Komoditas Unggulan Pertanian". Makalah Falsafah Sains Program Pasca Sarjana/S3. Institut Pertanian Bogor, 2001.
- Kelana, E., 2011. "Fisika Atmosfer". Akademi Meteorologi dan Geofisika, Tangerang Selatan.
- Marasabessy Syamsudin, Silwanus M. Talakua A. Siregar Rafael M. Osok. Analisis Debit Rencana Untuk Perencanaan Bangunan Pengendali Banjir Di Das Wai Ruata Kabupaten Maluku Tengah. Jurnal Makila. Jurnal Penelitian Kehutanan Unibersitas Pattimura. Vol. 18 (2) 2024: 385-399 <https://ojs3.unpatti.ac.id/index.php/makila> e-ISSN : 2746 - 7155 p-ISSN : 1978 - 4996 ©2023 DOI: <https://doi.org/10.30598/makila.v18i2.14006>
- Risal, A. Sandy, dan M. Partha. "Strategi Adaptasi Petani di Kawasan Terdampak Banjir Kelurahan Lempake Kota Samarinda". Jurnal Geoedusains, Volume 3, Nomor 1, 2022.
- Sebastian, L., 2008. "Flood Prevention and Control Approach.
- Setyawan, T dan M. Saepudin, 2016. Analisis Karakteristik Kejadian Hujan Sangat Lebat di Stasiun.
- Soepangkat, 1994. Pengantar Meteorologi. Akademi Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.
- Suhardi, B., Saputra, H. dan Haswan, 2018. Pengaruh MJO terhadap kejadian Curah Hujan Ekstrem di Provinsi Jawa Barat (Sukabumi)". *Jurnal Geografi, Edukasi dan Lingkungan*. 2(2) : 65-77.
- Susmarkanto. "Pencemaran Lingkungan Perairan Sungai Salah Satu Faktor Penyebab Banjir Di Jakarta". Jurnal Teknologi Lingkungan. Vol.3, No. 1: 13-16, 2002.
- Talakua Silwanus Matheus, Rafael M. Osok, Cristina M. Talakua. 2024. Analysis Of Erosion Hazard Level and Land Rehabilitation Pattern with the RUSLE method based on GIS at Wai Tala Watershed in West Seram Regency Maluku Province. *Journal Of Degraded And Mining Lands Management* Volume 11, Number 2 (January 2024):5385-5403, doi:10.15243/jdmlm.2024.112.5385 ISSN: 2339-076X (p); 2502-2458 (e), www.jdmlm.ub.ac.id
- Talakua Silwanus Matheus, Rafael M. Osok. 2023. Data Base Geofisik Dan Desiminasi Peta Zonasi Rawan Bencana Berbasis Geospasial Pada Wilayah Pelayanan Klasis Gpm Kota Ambon. Klasis GPM Kota Ambon. e-mail : editorunpatti@gmail.com dan editorunpatti@mail.unpatti.ac.id. Hak Cipta © dilindungi Undang-Undang Hak Penerbitan pada : Pattimura University Press. *Cetakan Pertama* : 2023. ISBN : 978-623-8477-00-5
- Winarso, P., 2011. *Analisis Cuaca I (ME 1201)*. Akademi Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.
- Winarso, P., 2009. *Analisis Cuaca II (ME 5234/2)*. Akademi Meteorologi dan Geofisika, Jakarta.