

Pengaruh Dinamika Atmosfer Terhadap Kejadian Banjir di Kabupaten Aceh Selatan (Studi Kasus 24 Oktober 2023)

Safri Emanuel Manullang¹, Yahya Darmawan^{2*}, Widodo Widodo³, Nuzula Elfa Rahma⁴, Dan Rizky Franchitika⁵

¹ Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Banten, Indonesia

² Program Studi Klimatologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Banten, Indonesia

³ Program Studi Instrumentasi MKG, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Banten, Indonesia

⁴ Program Studi Pengelolaan Lingkungan, Jurusan Lingkungan dan Kehutanan, Politeknik Pertanian Negeri Samarinda, Kalimantan, Indonesia

⁵ Program Studi Diploma 3 Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Medan, Medan, Indonesia

*E-mail: yahya.darmawan@bmkg.go.id

Received: 20 01 2025 / Accepted: 22 10 2025 / Published online: 21 01 2026

ABSTRAK

Telah terjadi Banjir di Kabupaten Aceh Selatan yang didahului adanya hujan ekstrim selama tiga hari berturut-turut sejak tanggal 22–24 Oktober 2023. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kondisi atmosfer yang menyebabkan hujan lebat tersebut. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data suhu permukaan laut, data kelembapan spesifik, angin komponen u dan v , kecepatan vertikal pada lapisan 500 hPa, 700 hPa, 850 hPa, dan 925 hPa, data satelit Himawari-9 band 3, 5, 7, 8, 10, 13, dan 15. Teknik analisis deskriptif dengan pendekatan spasial dilakukan setelah pengolahan data yang mencakup parameter suhu permukaan laut, *streamline*, angin orografis, kecepatan vertikal, divergensi, dan *Low Level Moisture Transport* (LLMT). Pemantauan sebaran awan dilakukan berdasarkan data Himawari dengan metode *Red Green Blue* (RGB) *Day Convective Storms* dan *24 Hour Microphysics*, serta *Cloud Convective Overlay* (CCO). Hasil penelitian menunjukkan suhu permukaan laut meningkat antara 28,5°C hingga 30°C yang menambah suplai uap air, *streamline* menunjukkan arah angin timuran pada lapisan bawah. Angin orografis, kecepatan vertikal, dan konvergensi menunjukkan terjadinya *updraft* dan daerah konvergen karena Pegunungan Leuser. Indeks Stabilitas atmosfer dengan nilai K Indeks 36°C, LI Indeks -2,8°C, TT Indeks 44,3°C, SSI -0,5°C, SWEAT 327, CAPE 740 J/kg, CIN 43 J/kg, dan suhu puncak awan -66°C menginterpretasikan terjadinya aktivitas konvektif yang mengakibatkan presipitasi. Penelitian dapat digunakan pemahaman terhadap dinamika atmosfer dan dasar dalam mendukung sistem peringatan dini untuk mitigasi banjir akibat hujan ekstrem terutama wilayah yang memiliki letak geografi yang berada diantara laut dan pegunungan.

Kata Kunci: Presipitasi, Orografis, GrADS, SATAID

ABSTRACT

Flooding has occurred in South Aceh Regency which was preceded by extreme rain for three consecutive days from October 22, 2023 to October 24, 2023. This study aims to analyze the atmospheric conditions that cause these heavy rains to trigger flooding events in South Aceh Regency. The data used in this study are sea surface temperature data, specific humidity data, u and v component winds, vertical velocity in the 500 hPa, 700 hPa, 850 hPa, and 925 hPa layers,

Himawari-9 satellite data bands 3, 5, 7, 8, 10, 13, and 15. Descriptive analysis techniques with a spatial approach were carried out after data processing which included sea surface temperature parameters, streamlines. Orographic winds, vertical velocity, divergence, and Low Level Moisture Transport (LLMT). Monitoring of cloud distribution was carried out based on Himawari data with the Red Green Blue (RGB) Day Convective Storms and 24 Hour Microphysics methods, as well as Cloud Convective Overlay (CCO). The results showed that the sea surface temperature increased between 28,2°C to 29,7°C thus increasing the supply of water vapor from the Indian Ocean to the study site, streamline showed the direction of the east wind in the lower layer, orographic wind, vertical speed, and convergence showed the updraft and convergence area caused by the Leuser Mountains. Atmospheric Stability Index with K Index value 36°C, LI Index -2.8°C, TT Index 44.3°C, SSI -0.5°C, SWEAT 327, CAPE 740 J/kg, CIN 43 J/kg, and Cloud top temperature -66°C interpreted the occurrence of convective activity that resulted in precipitation.

Keywords: *Precipitation, Orographic, GrADS, SATAID*

PENDAHULUAN

Berdasarkan laporan Badan Penanggulangan Bencana Aceh, banjir terjadi di Desa Ladang Kasik Putih, Kecamatan Samadua dan Desa Lawe Cimanok, Kecamatan Kluet Timur. (Kemenkes RI, 2023) Ketinggian air mencapai 30-50 cm dan warga yang terdampak berjumlah 25 kepala keluarga dari 54 jiwa. Secara geografis, Kabupaten Aceh Selatan berada di kawasan pegunungan bukit barisan dan terletak di pantai barat Sumatra yang langsung berbatasan dengan Samudra Hindia. Efek gangguan cuaca skala meso dan lokal sangat dominan terhadap dinamika dan perubahan kondisi atmosfer yang relatif cepat, terutama di wilayah tropis seperti Indonesia (Kristianto et al., 2018). Dinamika atmosfer sangat dipengaruhi oleh kondisi topografi pada daerah dataran tinggi, berbukit, dan pegunungan.

Kondensasi pada hujan orografis terjadi akibat udara yang terangkat secara paksa melalui proses adiabatik, bukan karena pemanasan (Fadila & Soetamto, 2017). Faktor lainnya yaitu suhu permukaan yang disebabkan oleh pemanasan dari radiasi matahari sehingga meningkatkan uap air (Rosalina et al., 2023). Distribusi curah hujan orografis tidak hanya dipengaruhi oleh ketinggian atau bentuk topografi lokal, tetapi juga

sangat sensitif terhadap dinamika atmosfer skala regional, seperti perubahan posisi *Subtropical Ridge* dan indeks iklim lainnya (Sarmadi et al., 2019). Pergerakan massa udara yang dinamis di kawasan Samudra Hindia memiliki dampak yang sangat besar terhadap kondisi cuaca di wilayah Aceh Selatan karena laut berperan lebih dominan dibandingkan dengan daratan dalam proses terjadinya hujan. Saat hujan konvektif berlangsung, terjadi penurunan tekanan dan peningkatan suhu, massa udara cenderung bergerak dari area dengan tekanan tinggi ke area tekanan rendah (Munandar & Sumiati, 2017). Penurunan suhu permukaan laut akan mengurangi proses konveksi karena penguapan yang terjadi menjadi lebih sedikit (Habibie & Nuraini, 2014). Sedangkan, peningkatan suhu permukaan laut membuat intensitas penguapan juga meningkat, yang memperkuat konveksi (Rochmady, 2015).

Menurut (Endarwin, 2010) dalam penelitiannya tentang deteksi potensi gerak vertikal di atas wilayah kota Bandung yang menyimpulkan bahwa gerakan angin vertikal di daerah tersebut lebih dipengaruhi oleh faktor orografi. Selain itu, perbedaan elevasi yang tinggi pada topografi Bandung juga mempengaruhi kecenderungan gerak angin vertikal tersebut. Kajian ini juga

didukung oleh penelitian (Trisnakusumawati et al., 2022) di Sulawesi Selatan, disimpulkan bahwa pola hujan konvektif lokal terbentuk akibat pengaruh angin darat-laut serta topografi pegunungan. Penelitian juga dilakukan oleh (Ismail & Richard, 2020) untuk wilayah Makassar, menguatkan pernyataan sebelumnya, yang menyimpulkan bahwa faktor dinamis sirkulasi angin darat-laut, pengaruh orografis, dan adanya daerah konvergensi yang menyebabkan terbentuknya awan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Sulistiyono et al., 2024) untuk melihat pertumbuhan dan pergerakan awan pada saat hujan lebat di Jombang, dengan metode RGB 24-Hour Microphysics, Airmass, dan Day Convective Storm menyimpulkan hasil dari produk yang menampilkan awan menghasilkan visualisasi dengan baik tetapi memerlukan interval solusi waktu yang lebih pendek. Penelitian yang dilakukan oleh (Maulidianto et al., 2024) menggunakan metode CCO dan RGB Cloud Phase Distincion memperkuat pernyataan sebelumnya, untuk mengamati kondisi atmosfer saat kejadian hujan es di Timor Tengah Selatan yang menyimpulkan hujan es terjadi disebabkan adanya awan cumulonimbus yang mengandung es.

Penelitian sebelumnya umumnya membahas hujan ekstrem di wilayah dataran rendah atau perkotaan, seperti di Bandung, Sulawesi Selatan, dan lainnya. Sedangkan kajian tentang di kawasan pesisir dan pegunungan seperti Aceh Selatan masih terbatas. Penelitian ini mengisi kekosongan tersebut dengan metode analisis untuk menjelaskan hujan lebat pemicu banjir di wilayah tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah memahami dinamika atmosfer yang menyebabkan banjir melalui analisis pergerakan vertikal dan rata-rata suhu permukaan laut untuk melihat pertumbuhan dan pergerakan awan hujan

menggunakan metode RGB dan CCO di Kabupaten Aceh Selatan.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Lokasi Penelitian

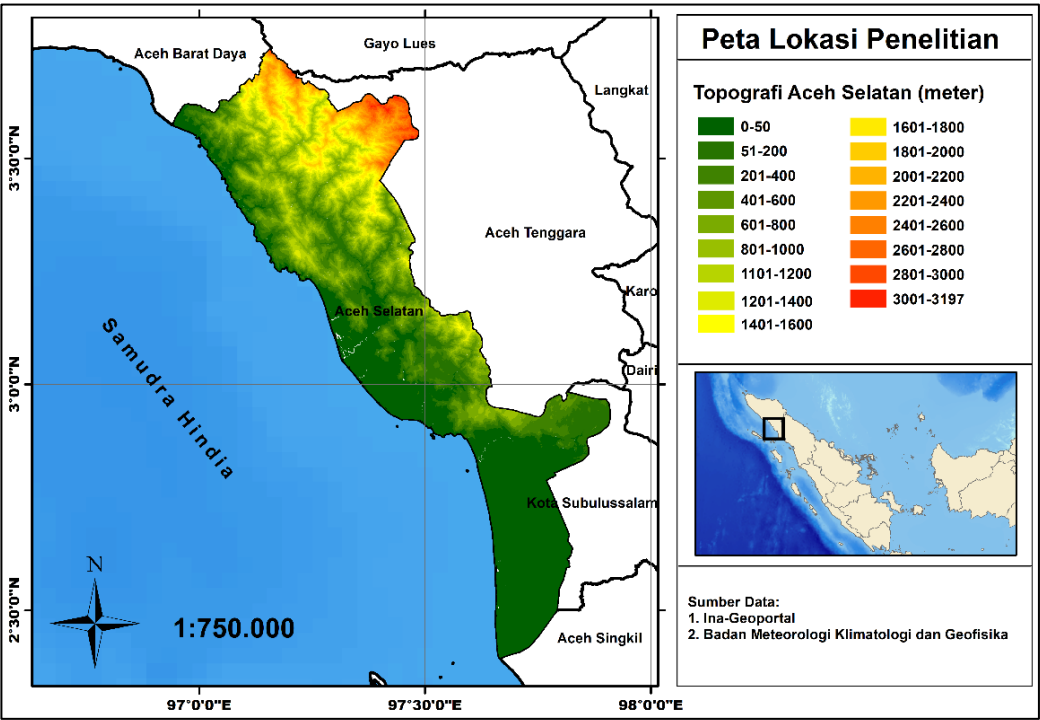
Penelitian ini dilakukan pada 24 Oktober 2023 di Kabupaten Aceh Selatan dan sekitarnya. Wilayah ini secara geografis berada di zona peralihan antara topografi pegunungan dan pesisir barat Sumatera, menjadikannya rentan terhadap pengaruh dinamika atmosfer yang kompleks, serta masih minim kajian ilmiah terkait dinamika atmosfer penyebab hujan ekstrem di wilayah tersebut. Kabupaten Aceh Selatan secara astronomis terletak pada $02^{\circ} 23' 24'' - 03^{\circ} 44' 24''$ LU dan $96^{\circ} 57' 36'' - 97^{\circ} 56' 24''$ BT dengan ketinggian wilayah rata-rata sebesar 25 meter di atas permukaan laut (PKP Aceh Selatan, 2022). Lokasi penelitian disajikan pada Gambar 1.

Data Penelitian

1. Data reanalisis dari *ERA-5 hourly data on single levels from 1940 to present* untuk parameter suhu permukaan laut. Data reanalisis ini memiliki kualitas yang sangat baik dengan resolusi spasial terkecil $0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$ dan menyediakan data yang panjang sejak 1940 dan mudah di akses (Hersbach, 2020).
2. Data reanalisis dari *ERA-5 hourly data on pressure levels from 1940 to present* yang meliputi data kelembapan spesifik, angin komponen u dan v , kecepatan vertikal pada lapisan 500 hPa, 700 hPa, 850 hPa, dan 925 hPa. Data ini digunakan untuk memetakan *streamline*, angin orografis, kecepatan vertikal, divergensi, dan *Low Level Moisture Transport* (LLMT).
3. Data dari citra satelit Himawari-9 yang dikelola oleh *Japan Meteorological Agency* (JMA) dengan menggunakan band 8 (WV), 13 (IR),

dan 15 (I2) untuk mengidentifikasi pertumbuhan dan persebaran awan. Satelit ini memiliki kemampuan yang dilengkapi sensor *Advanced Himawari Imager* (AHI), yang memiliki resolusi temporal, spektral dan spasial dengan 16 kanal yang terdiri dari 3 kanal *visible*, 3 kanal *near infrared* dan 10 kanal inframerah (Kushardono, 2012). Sensor AHI disajikan pada Tabel 1.

Data curah hujan per jam dari 22 hingga 24 Oktober 2023 menggunakan data satelit *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information using Artificial Neural Networks* (PERSIANN) dari (*Center for Hydrometeorology and Remote Sensing*) CHRS. Data curah hujan digunakan untuk memvalidasi seberapa besar akumulasi curah hujan pada wilayah sehingga menyebabkan banjir pada lokasi penelitian (Rahman, 2020).



Gambar 1: Peta topografi lokasi penelitian berdasarkan ketinggian (meter)

Tabel 1. Sensor *Advance Himawari Imager* (AHI) yang digunakan

Band	Nama Saluran	Resolusi Spasial (km)	Kegunaan
3	VS	0,5	Awan rendah, kabut
5	N2	2	Fase awan
7	I4	2	Awan rendah, kabut, kebakaran
8	WV	2	Kelembapan tingkat menengah dan atas
10	W3	2	Kelembapan tingkat menengah dan atas
13	IR	2	Citra awan, informasi puncak awan
15	I2	2	Citra awan, suhu permukaan laut

Sumber : Japan Meteorological Agency (JMA), 2013; BMKG, 2020

Metode Penelitian

Metode penelitian dalam kajian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu:

1. Pengolahan data reanalisis ERA-5 dilakukan dengan aplikasi *Grid Analysis and Display System* (GrADS) melalui pengolahan dan *script* untuk memvisualisasikan parameter-parameter meteorologi yang meliputi suhu permukaan laut, *streamline*, angin orografis, kecepatan vertikal, divergensi, dan LLMT.
2. Pengolahan data satelit Himawari-9 dari band 8 (WV), 13 (IR), dan 15 (I2) metode *Cloud Convective Overlay* (CCO) dilakukan dengan aplikasi GrADS untuk mengidentifikasi pertumbuhan awan kumulonimbus waktu sebelum, saat, dan sesudah peristiwa hujan lebat pada kajian ini.
3. Pengolahan data satelit Himawari-9 dilakukan dengan aplikasi *Satellite Animation and Interactive Diagnosis* (SATAID) metode *Red Green Blue* (RGB) *24-Hour Microphysics* dan *Day Convective Storms* untuk mengidentifikasi secara visual persebaran dan pergerakan awan. Pengaturan metode RGB seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. *Setting Image* metode *Red Green Blue* (RGB) pada SATAID

Metode	R	G	B
<i>Day Convective Storms</i>	S4 (W3-WV)	S2 (I4-IR)-	S7(N2-VS)-
<i>24 Hour Microphysics</i>	S1 (IR-I2)	S5 (IR-MI)-	IR-

Sumber : *Japan Meteorological Agency* (JMA), 2018

Indeks stabilitas yang digunakan antara lain *K-Index* (KI), *Lifted Index* (LI), *Total Total Index* (TT), *Showalter Stability Index* (SSI), *Severe Weather Threat* (SWEAT), dan *Convective Available Potential Energy* (CAPE), *Convective Inhibition* (CIN). Kriteria Indeks stabilitas atmosfer disajikan pada Tabel 3.

Jenis Penelitian

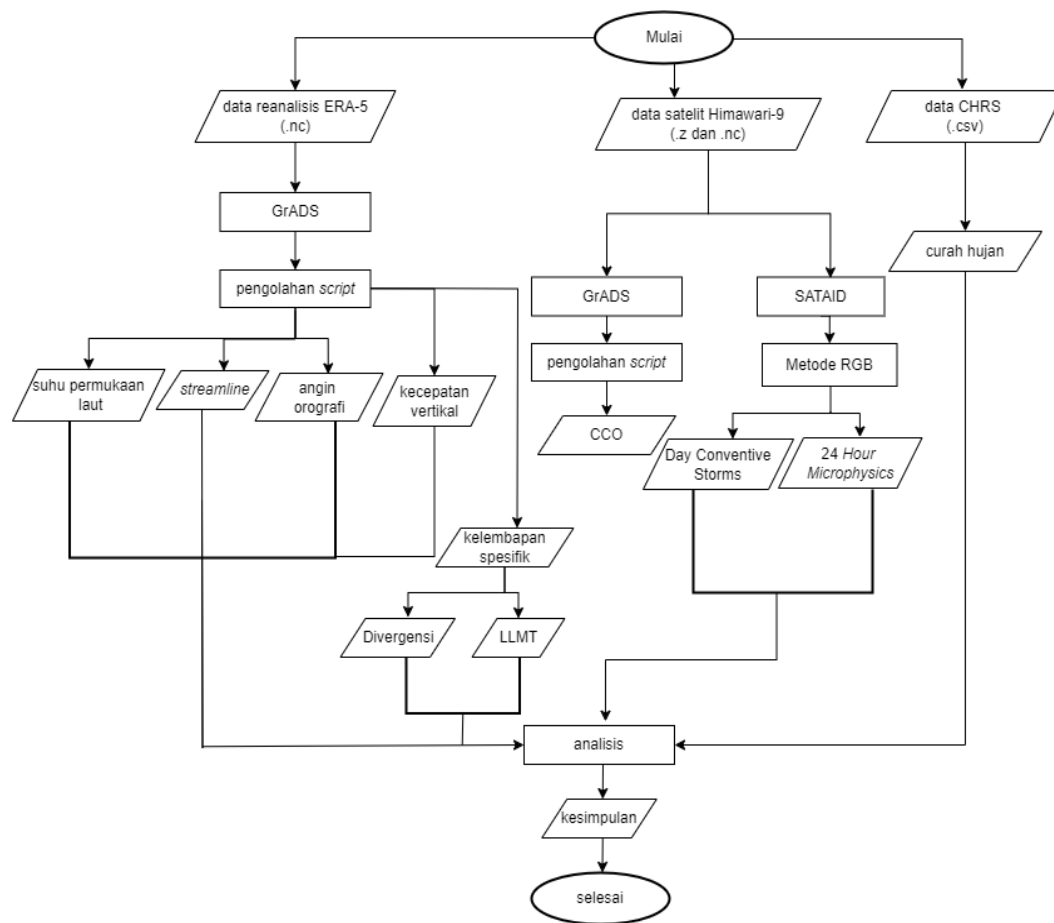
Analisis deskriptif kualitatif dan analisis spasial digunakan sebagai metode dalam penelitian ini. Analisis deskriptif

kualitatif digunakan untuk indentifikasi dan interpretasi semua parameter terhadap peristiwa yang terjadi (Syahrizal & Jailani, 2023). Analisis spasial digunakan untuk interpretasi citra satelit Himawari-9, hasil pengolahan dengan SATAID dan GrADS pada sebelum, saat, dan sesudah peristiwa hujan lebat terjadi. Interpretasi visual dari *output* dilakukan dengan pengolahan dan penyesuaian *script*. Diagram alir pada penelitian ini disajikan pada Gambar 2.

Tabel 3. Kriteria Indeks Stabilitas Atmosfer

Indeks	Lemah	Sedang	Kuat
<i>K Indeks</i>	<29	29-37	>37
<i>LI Indeks</i>	>-2	-2 s/d -6	<-6
<i>TT Indeks</i>	<42	42-46	>46
SSI	>4	4 s/d -4	<-4
SWEAT	<135	135-239	>239
CAPE	<1000	1000-2500	>2500

Sumber : Wirjohamidjojo dan Swarinoto, 2014



Gambar 2: Diagram Alir Penelitian

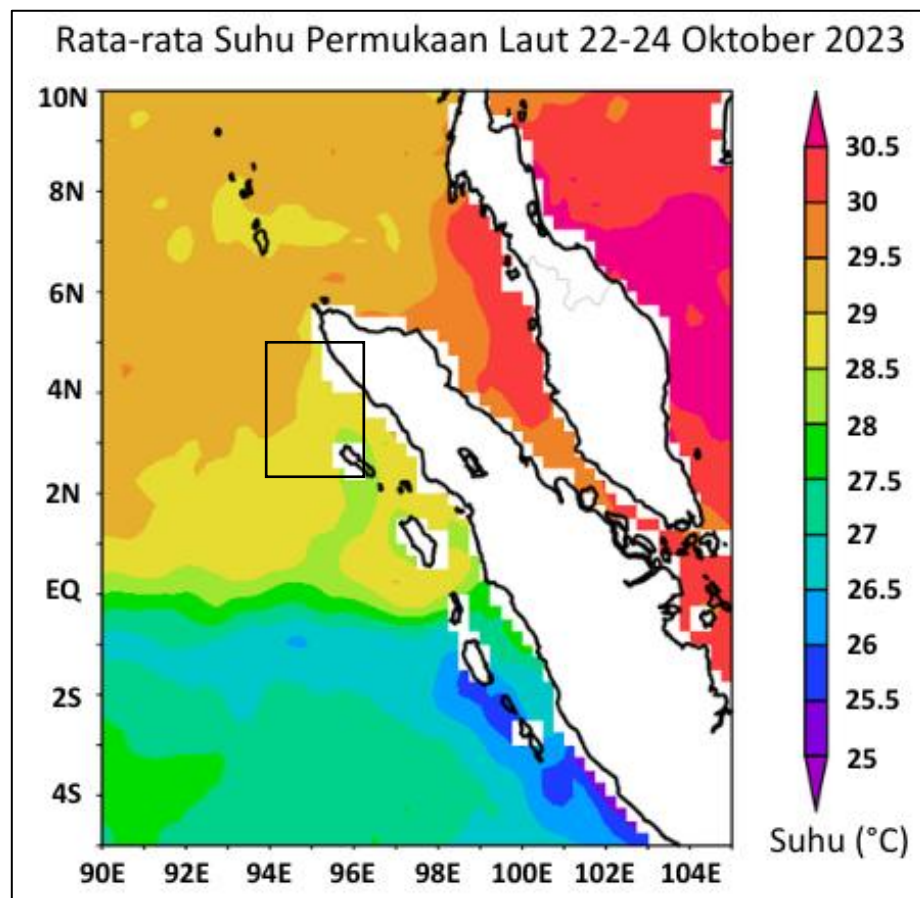
HASIL DAN PEMBAHASAN

Suhu Permukaan Laut

Gambar 3 merupakan peta distribusi rata-rata suhu permukaan laut (SPL) pada pesisir barat Sumatra tanggal 22 hingga 24 Oktober 2023. Peta ini menunjukkan gradien suhu yang cukup signifikan, dengan suhu permukaan laut berkisar antara 25°C hingga lebih dari 30,5°C. Area yang lebih hangat (warna oranye hingga merah) terletak di sepanjang pesisir timur Samudra Hindia, sedangkan wilayah yang lebih dingin (warna biru) terletak di bagian barat.

SPL yang berada di sekitaran Aceh Selatan bervariasi antara 28,5°C hingga 30°C. Hal ini menyebabkan kandungan

uap air yang lebih banyak di atmosfer dan mendukung terjadinya pertumbuhan awan konvektif pada wilayah kajian. Suhu permukaan laut yang hangat, dapat mendukung penguapan yang lebih intensif sehingga meningkatkan kandungan uap air di atmosfer (Utami et al., 2023). Hal ini berpotensi memicu pertumbuhan awan konvektif dan presipitasi yang tinggi di wilayah tersebut, terutama di daerah dengan suhu tinggi dekat pantai. Sebaliknya, wilayah dengan SST lebih rendah cenderung memiliki penguapan yang lebih rendah, sehingga mendukung kondisi atmosfer yang lebih stabil.



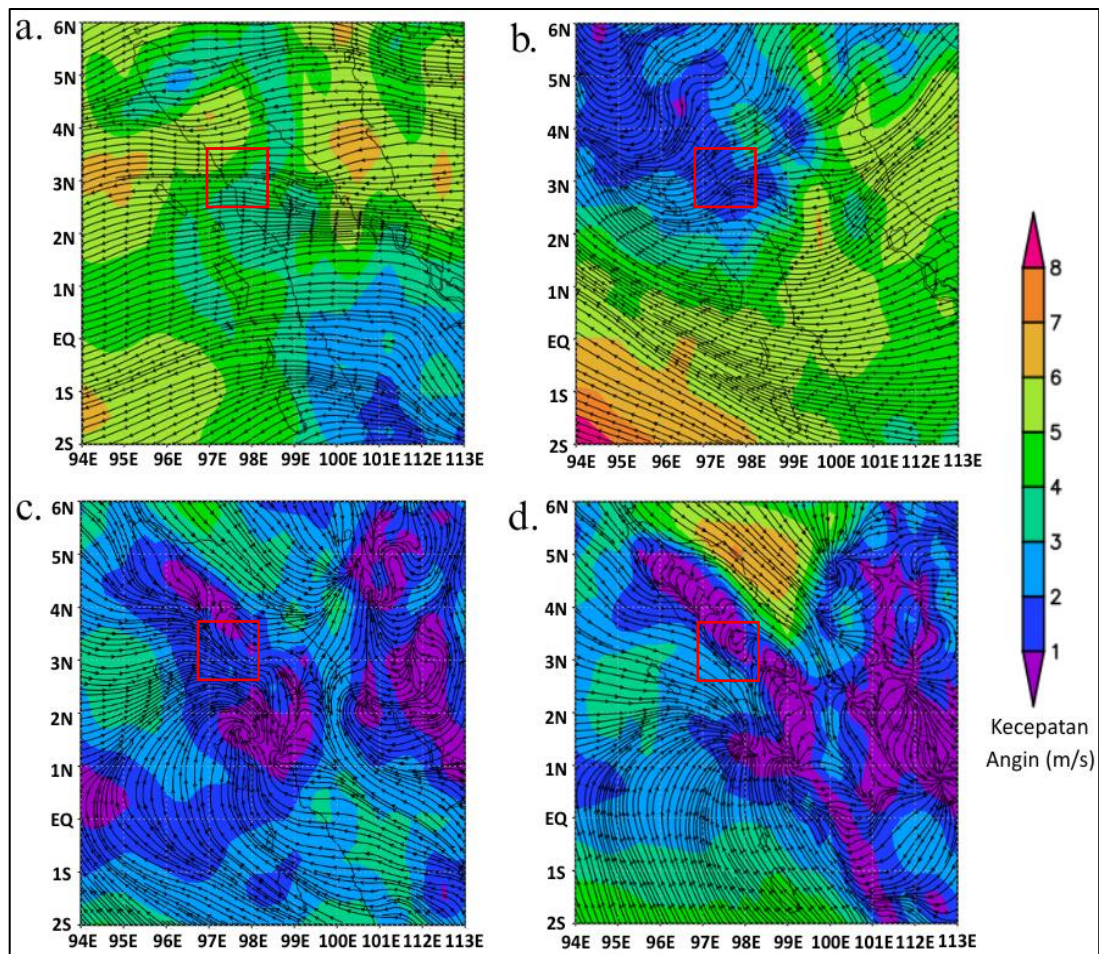
Gambar 3. Rata-Rata Suhu Permukaan Laut (°C) Tanggal 22 Hingga 24 Oktober 2023. Area Kotak Adalah Perairan Barat Sumatra.

Streamline

Gambar 4 merepresentasikan arah dan kecepatan angin pada setiap lapisan. Pada lapisan 500 hPa, pola angin menunjukkan pergerakan aliran angin menuju barat yang relatif merata 4 m/s hingga 6 m/s. Pola ini menunjukkan dinamika atmosfer yang lebih tenang dan jarang terjadi aktivitas konvektif yang intens di lapisan ini. Pada lapisan 700 hPa arah anginnya ke barat, pola angin mulai menunjukkan gangguan atmosfer, dengan aliran angin yang lebih terorganisir dan adanya pusaran kecil. Hal ini menunjukkan adanya area konvergensi yang dapat mendukung pembentukan awan dan hujan. Pada lapisan 850 hPa dan 925 hPa arah anginnya menuju timur, pola *streamline* semakin menunjukkan

ketidakstabilan dinamika lokal. Adanya pusat tekanan rendah yang ditandai oleh pola angin melingkar dapat memicu konvergensi kuat dan pembentukan awan-awan konvektif tebal (Ariyanti et al., 2019). Hal ini mendukung peningkatan curah hujan, terutama di wilayah dekat pusat tekanan rendah.

Interaksi angin di berbagai lapisan ini menunjukkan adanya potensi cuaca buruk, seperti hujan lebat dan badai lokal, terutama di area dengan pusaran dan kecepatan angin tinggi pada lapisan bawah. Dampaknya dapat diperkuat oleh suhu permukaan laut yang hangat, yang telah diidentifikasi sebelumnya sebagai sumber energi untuk proses konvektif.

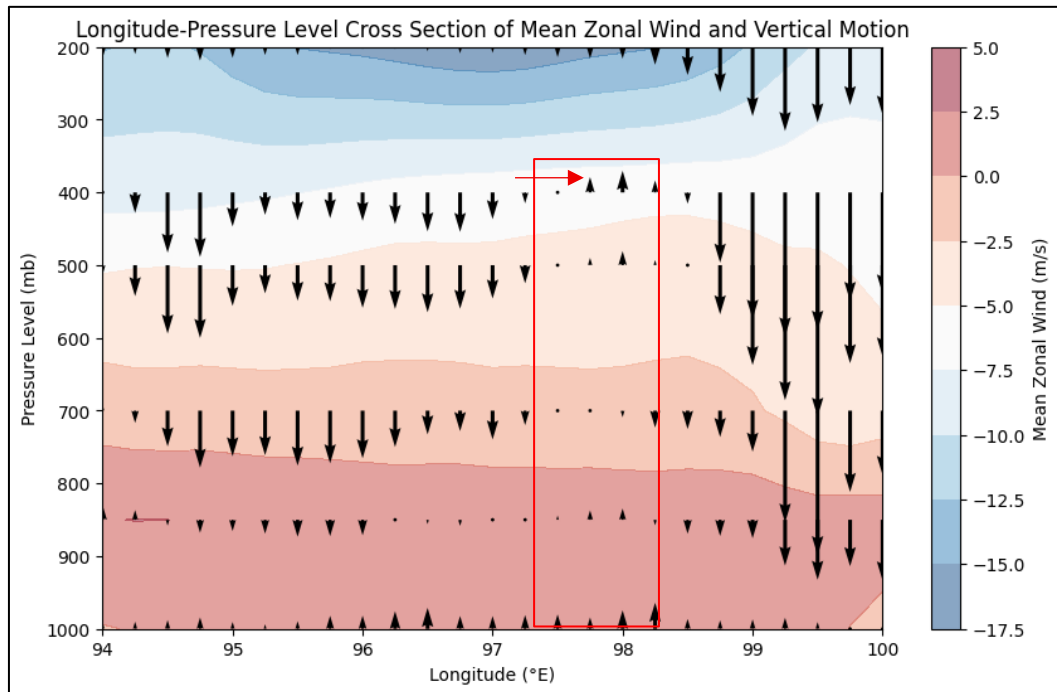


Gambar 4. Streamline 24 Oktober 2023 pada lapisan a. 500 hPa, b. 700 hPa, c. 850 hPa, dan d. 925 hPa. Indikator warna mewakili kecepatan (m/s).

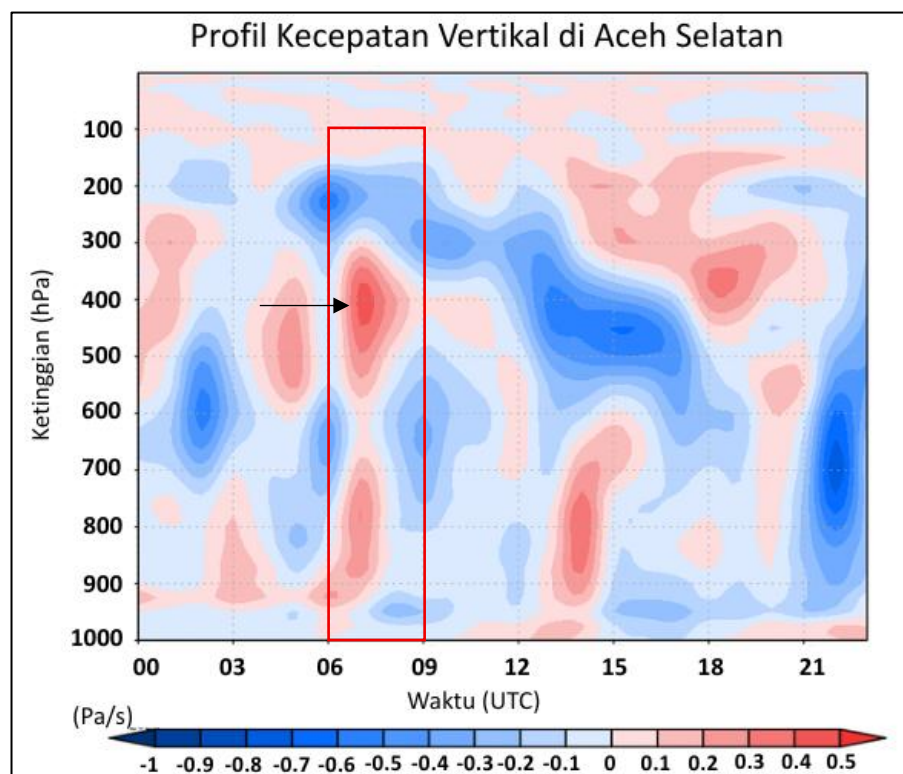
Angin Orografis

Pada Gambar 5 Pewarnaan menunjukkan kecepatan angin zonal rata-rata (komponen timur-barat). Warna merah (nilai positif) merepresentasikan angin barat, sedangkan biru (nilai negatif) merepresentasikan angin timur. Pada lokasi yang diberi tanda, warnanya didominasi oleh angin timur yang kuat di dekat permukaan (1000–700 hPa) dan bertransisi menjadi angin barat yang lebih lemah di lapisan atas (di atas 500 hPa). Angin timuran membawa uap air dari Samudra Hindia menuju wilayah Aceh Selatan sehingga meningkatkan kelembapan untuk terjadinya pertumbuhan awan dan hujan.

Tanda panah merepresentasikan gerakan vertikal, dengan panah yang menghadap ke bawah adalah *downdraft*, dan panah yang menghadap ke atas adalah *updraft*. Pada lokasi kajian, terdapat gerakan ke atas pada tiap lapisan atmosfer, hal ini menandakan terjadinya konvergen yang mendukung kondisi untuk pembentukan awan dan presipitasi. Terjadinya konvergen ini dipengaruhi oleh kondisi geografis lokal, adanya Pegunungan Leuser, yang memperkuat gerakan ke atas dari udara lembap, yang semakin meningkatkan potensi terjadinya hujan lebat.



Gambar 5. Kecepatan angin zonal rata-rata 24 Oktober 2023. Sumbu x menunjukkan longitude, sumbu y menunjukkan lapisan (hPa), tanda panah menunjukkan gerakan vertikal, area kotak merupakan Pegunungan Leuser



Gambar 6. Kecepatan vertikal (Pa/s) 24 Oktober 2023. Sumbu x menunjukkan menunjukkan waktu (UTC), sumbu y menunjukkan lapisan (hPa), area kotak merah merupakan waktu terjadinya hujan

Kecepatan Vertikal

Pada Gambar 6, pukul 06.00–09.00 UTC yang merupakan waktu fase tumbuh hingga meluruhnya awan konvektif, profil vertikal kecepatan udara di Aceh Selatan menunjukkan pola konveksi yang signifikan. Pukul 06.00–07.00 UTC terlihat dominasi warna merah yang menunjukkan terjadinya *updraft* pada lapisan 300–900 hPa, yang mengindikasikan aliran udara naik ke atmosfer atas. Hal ini menunjukkan adanya aktivitas konveksi kuat sehingga mendukung pembentukan awan konvektif hingga hujan lebat.

Pukul 08.00–09.00 UTC terlihat dominasi warna biru yang menunjukkan terjadinya *downdraft* di lapisan 500–1000 hPa, yang mengindikasikan adanya presipitasi atau subsiden. Proses ini mencerminkan dinamika awan konveksi seperti cumulonimbus, di mana udara naik di inti awan dan turun di area sekitarnya. Pola ini mengindikasikan adanya aktivitas cuaca konvektif yang kuat, seperti hujan lebat atau badai lokal (Prasetyo et al., 2022).

Divergensi

Area kotak pada Gambar 7 menunjukkan lokasi penelitian. Divergensi positif mengindikasikan aliran udara yang menyebar keluar pada suatu wilayah, sedangkan divergensi negatif atau konvergensi mengindikasikan aliran udara yang berkumpul ke suatu wilayah. Pada 22 Oktober 2023 terlihat pola konvergen di Aceh Selatan yang ditandai dengan kotak berwarna merah, di sekitarnya terdapat pola divergen lemah yang berada di daerah Pegunungan Leuser. Konvergensi ini biasanya memicu aliran *updraft*, yang mendukung pembentukan awan dan potensi hujan. Sementara itu, di beberapa wilayah laut lepas terdapat divergensi positif, yang sering kali berkaitan dengan aliran subsiden atau *downdraft* (Prasetyo et al., 2022).

Pada 23 Oktober 2023, area divergen semakin meluas dan intensif yang mengindikasikan terjadinya aliran *downdraft* pada waktu tersebut. Hal ini menunjukkan adanya dinamika atmosfer yang aktif dengan akumulasi massa udara di wilayah tersebut, yang dapat memperkuat aktivitas konveksi dan meningkatkan peluang terjadinya hujan lebat.

Pada 24 Oktober 2023, terdapat pola konvergen lemah dan divergen yang kuat pada wilayah kajian. Pergeseran ini menandakan aliran udara yang awalnya berkumpul mulai menyebar dan membuat aliran *downdraft*, kemungkinan akibat pelepasan energi laten dari awan konvektif yang sebelumnya terbentuk.

Pola divergen dan konvergen yang ditampilkan pada Gambar 7 menunjukkan dinamika atmosfer yang kuat, dengan konvergensi udara yang berkontribusi pada pembentukan awan konvektif dan hujan, sedangkan divergensi mengindikasikan aliran udara turun atau presipitasi yang bersifat stabil.

Low Level Moisture Transport

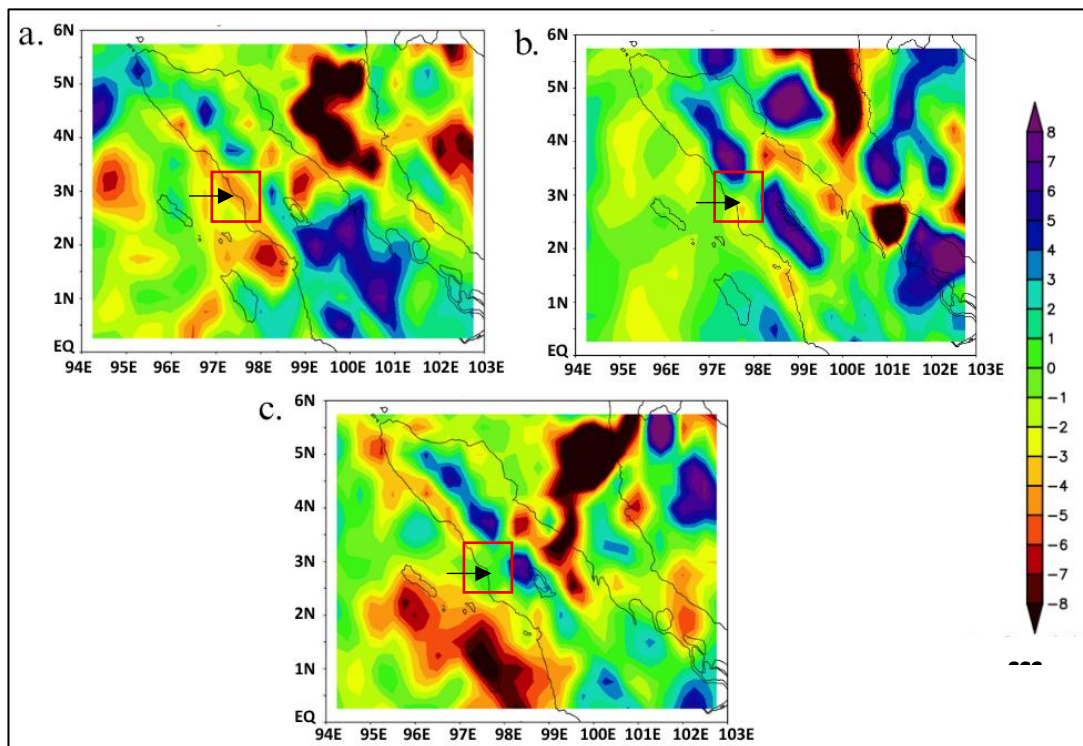
Peta LLMT pada Gambar 8 merepresentasikan pengangkutan uap air di atmosfer dalam menentukan potensi pembentukan awan dan hujan. Pada 22 hingga 24 Oktober 2023, transport di perairan sekitar Aceh Selatan menunjukkan intensitas yang sedang hingga tinggi. Kondisi ini menunjukkan adanya sedikit pengangkutan kelembapan dari laut menuju daratan, yang dapat mendukung aktivitas konveksi dan pembentukan awan di wilayah ini.

Pada 22 Oktober 2023, intensitas LLMT hingga melebihi $280 \text{ kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$. Hal ini mengindikasikan adanya pasokan uap air yang lebih banyak ke wilayah tersebut, yang dapat memperkuat proses konvektif di atmosfer. Aliran kelembapan ini kemudian dibawa oleh angin lapisan

bawah yang membawa uap air dari Samudra Hindia.

Pada 23 Oktober intensitas LLMT mulai berkurang secara bertahap. Penurunan ini dapat menunjukkan bahwa sebagian besar uap air telah diangkat ke lapisan atmosfer yang lebih tinggi akibat proses konveksi sebelumnya, atau bahwa pengangkutan kelembapan dari sumbernya mulai melemah.

Pada 24 Oktober intensitasnya kemudian meningkat menjadi $320 \text{ kgm}^{-1}\text{s}^{-1}$ dan semakin mendekati daratan Aceh Selatan. Intensitas transport kelembapan yang tinggi di lapisan bawah berperan penting dalam meningkatkan peluang terjadinya hujan atau badai konvektif karena banyaknya uap air yang dibawa oleh angin menuju ke daratan, terutama di daerah dengan pola konvergen.

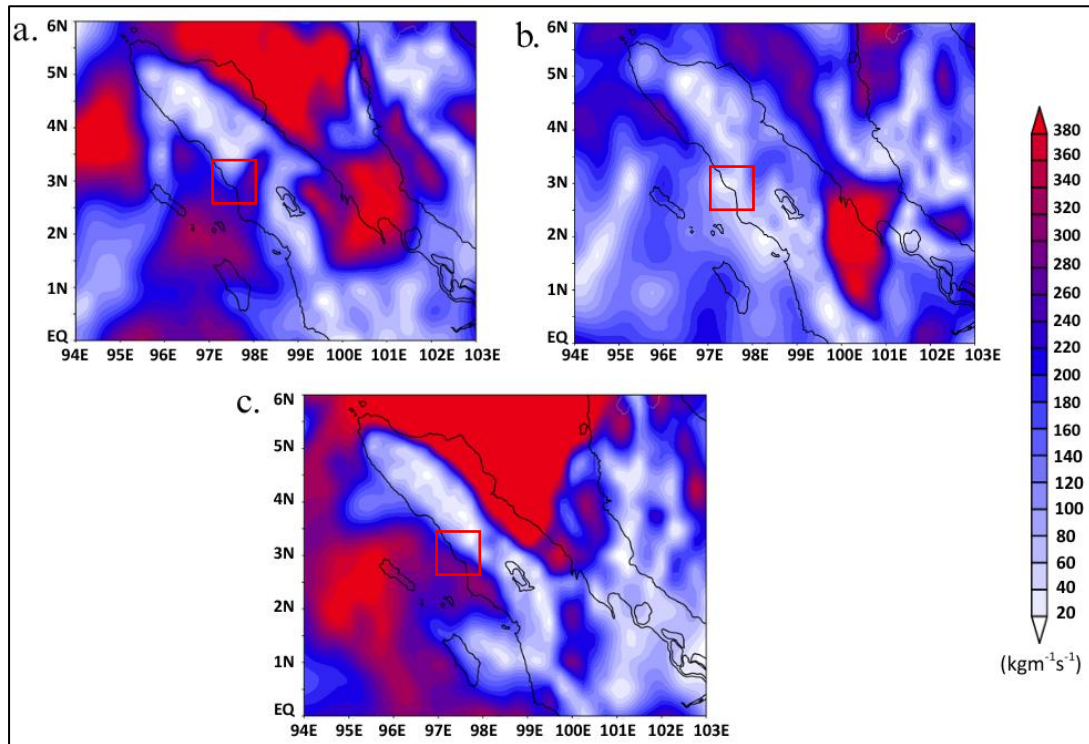


Gambar 7. Peta Divergensi (s^{-1}) *daily*. a. 22 Oktober 2023, b. 23 Oktober 2023, dan c. 24 Oktober 2023. Tanda panah menunjukkan lokasi penelitian.

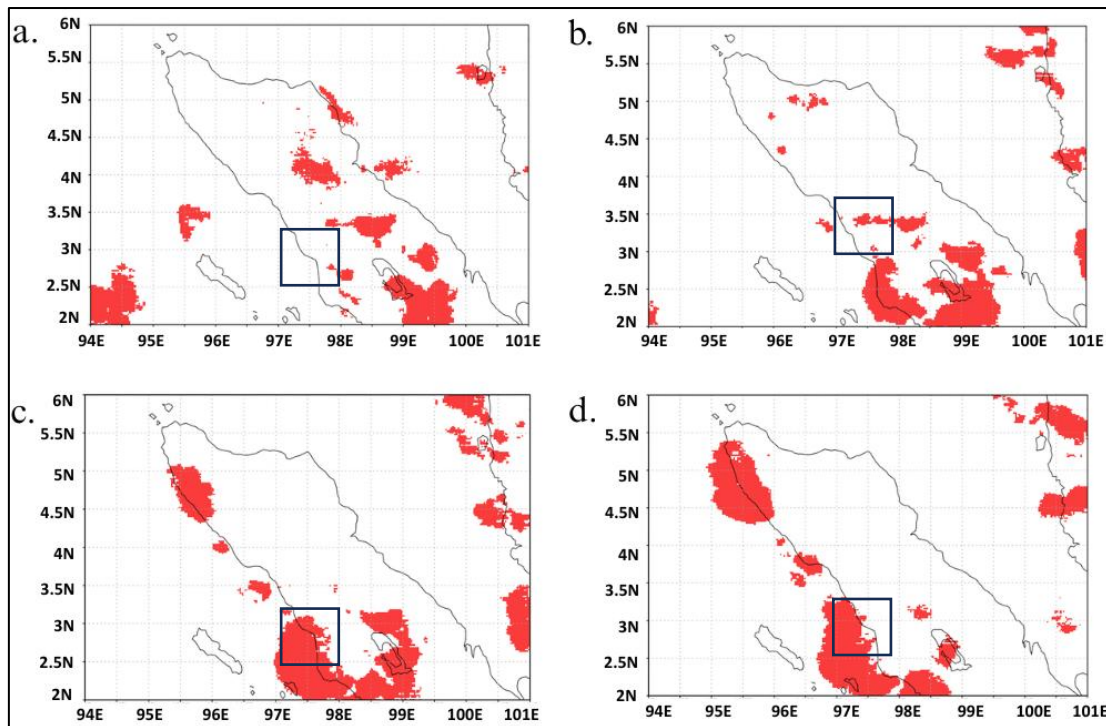
Cloud Convective Overlay

Pada Gambar 9 pukul 06.00 UTC, sebaran awan CB mulai terlihat berkembang di wilayah kajian, menandakan fase awal aktivitas konvektif. Selanjutnya, pada pukul 07.00–08.00 UTC, area cakupan awan CB tampak semakin meluas dan mencapai fase puncak, menunjukkan peningkatan proses

konveksi akibat pemanasan permukaan yang mendorong naiknya udara hangat dan lembap. Hal ini menandakan kondisi atmosfer yang sangat tidak stabil. Pada pukul 08.00 hingga 09.00 UTC, awan CB sebarannya muluruh dan mulai meluruh pada yang mengindikasikan hujan konvektif mulai mereda.



Gambar 8. Peta *Low Level Moisture Transport* (kgm⁻¹s⁻¹) *daily*. a. 22 Oktober 2023, b. 23 Oktober 2023, dan c. 24 Oktober 2023.



Gambar 9. *Cloud Convective Overlay* 24 Oktober 2023 pukul 06.00–09.00 UTC. Warna merah merupakan sebaran awan cumulonimbus. a. 06.00 UTC, b. 07.00 UTC, c. 08.00 UTC, dan d. 09.00 UT.

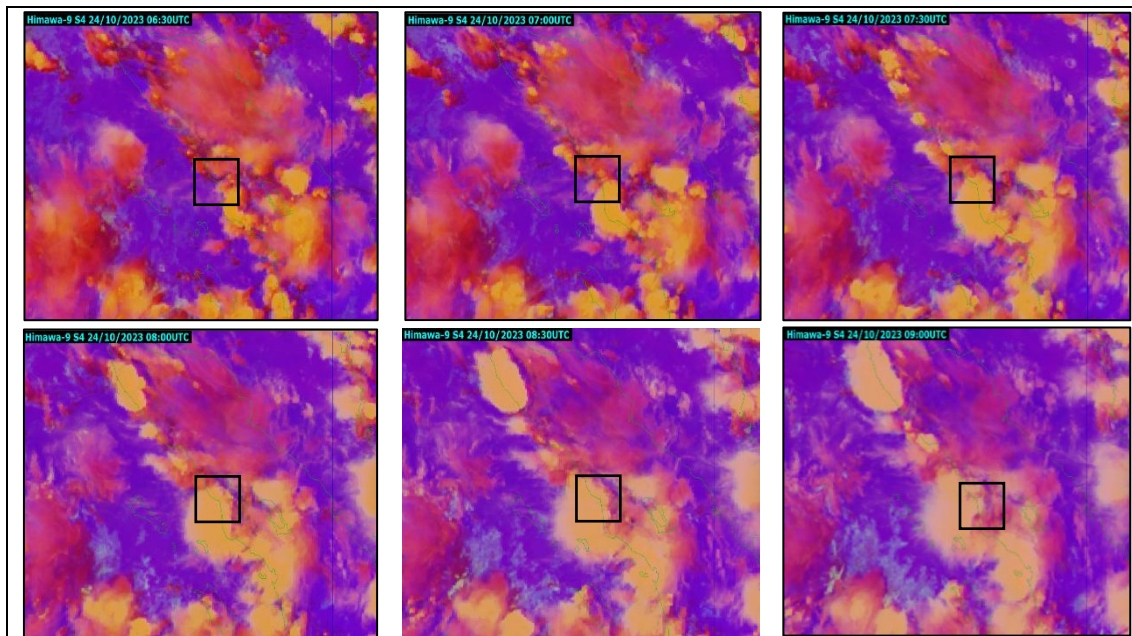
RGB Day Convective Storms

Gambar 10 menggunakan metode RGB *Day Convective Storm* yang menunjukkan evolusi sebaran awan konvektif di wilayah yang diberi kotak hitam dan sekitarnya. Warna dalam citra ini menunjukkan jenis awan berdasarkan suhu puncaknya. Pada pukul 06.30 UTC, pada wilayah kajian menunjukkan adanya awan konvektif dengan warna ungu dominan, menandakan puncak awan yang relatif dingin dan bertumbuh.

Pada pukul 07.00–08.00 UTC, awan tampak semakin tebal dan menyebar, dengan percampuran warna ungu dan kuning yang lebih intens, mengindikasikan

pertumbuhan konveksi yang aktif dan menghasilkan presipitasi. Pada pukul 08.30 hingga 09.00 UTC, distribusi awan masih cukup luas, meskipun terdapat indikasi pengurangan intensitas di beberapa bagian yang menunjukkan mulai menurunnya tingkat presipitasi.

Awan konvektif seperti ini sering dikaitkan dengan aktivitas cuaca signifikan seperti badai petir, hujan lebat, dan potensi angin kencang. Adanya warna ungu pekat menunjukkan bahwa awan telah mencapai ketinggian tropopause, yang biasanya diiringi oleh arus udara vertikal yang kuat.

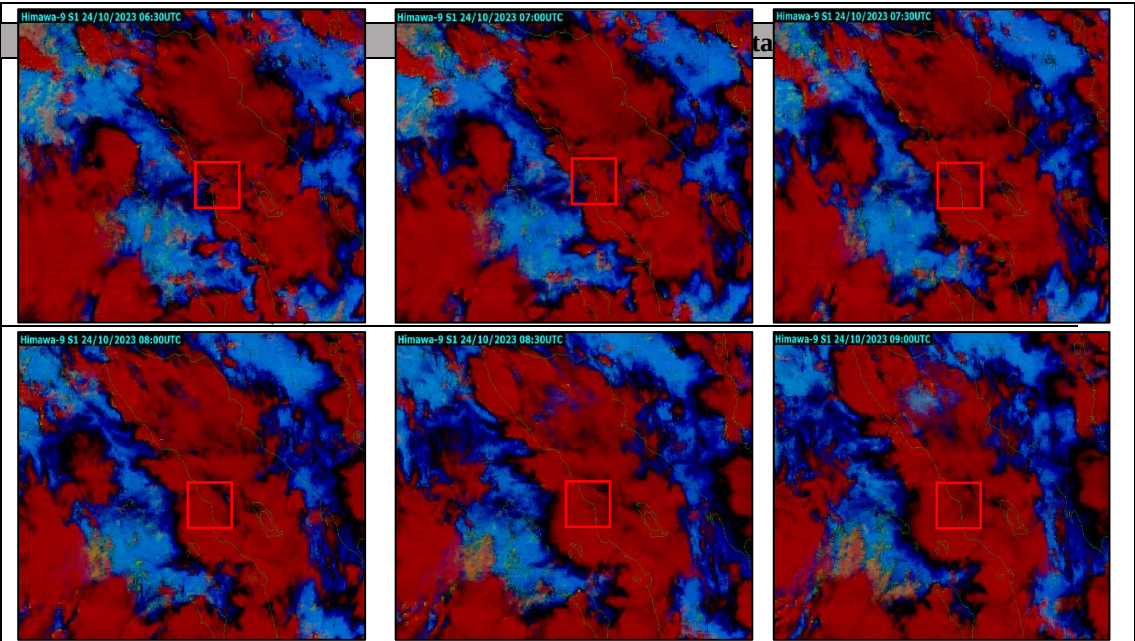


Gambar 10. Metode RGB *Day Convective* 24 Oktober 2023 pukul 06.30–09.00 UTC (setiap 30 menit dari kiri atas ke kanan bawah).

RGB 24 Hour Microphysics

Gambar 11 menggunakan metode RGB *24 Hour Microphysics*. Pada pukul 06.30 UTC, pada wilayah kajian yang ditandai dengan kotak merah menunjukkan adanya pertumbuhan awal awan tinggi ditunjukkan oleh warna merah. Pada pukul 07.00–07.30 UTC, cakupan awan semakin meluas dan menyebar menuju barat, mengindikasikan akan terjadinya aktivitas konvektif.

Puncak cakupan awan terlihat pada pukul 08.00 UTC dengan dominasi warna merah yang lebih luas, menandakan puncak awan yang tinggi dan suhu yang sangat dingin. Pada pukul 08.30 hingga 09.00 UTC, meskipun warna merah masih terlihat, sebarannya mulai menyusut di beberapa area, menandakan potensi peluruhan sistem konveksi di wilayah tersebut.



Gambar 11. Metode RGB 24 Hour Microphysics 24 Oktober 2023 pukul 06.30–09.00 UTC (setiap 30 menit dari kiri atas ke kanan bawah).pukul 06.30–09.00 UTC

Indeks Stabilitas dan Curah Hujan

Untuk mengetahui potensi konveksi dan kestabilan atmosfer selama proses pertumbuhan awan, dilakukan analisis terhadap indeks stabilitas atmosfer. Tabel 4 menyajikan nilai-nilai indeks tersebut pada masing-masing fase perkembangan awan, yaitu fase tumbuh, matang, dan meluruh.

Berdasarkan data tersebut, indeks stabilitas menunjukkan nilai *K-Index* yang berada pada kisaran 35,5–36,2°C menunjukkan potensi hujan lebat, karena

nilai ini merepresentasikan kelembapan yang cukup besar di lapisan tengah atmosfer. *Lifted Index* (LI) bernilai -2,9 hingga -2,4°C mengindikasikan udara yang sangat tidak stabil, di mana parcel udara cenderung naik dengan cepat. *TT-Index* yang tinggi berkisar antara 43,8–44,4°C mendukung adanya potensi badai petir yang intens, sementara nilai *SSI* -0,5 hingga -0,2°C menunjukkan kondisi atmosfer yang mendekati ambang batas ketidakstabilan

Tabel 4. Indeks Stabilitas Atmosfer

Indeks Stabilitas	Fase Tumbuh	Fase Matang	Fase Meluruh
K Indeks (°C)	36,2	36	35,5
LI Indeks (°C)	-2,9	-2,8	-2,4
TT Indeks (°C)	44,4	44,3	43,8
SSI (°C)	-0,5	-0,5	-0,2
SWEAT	337	327	316
CAPE (J/kg)	775	740	621

Indeks Stabilitas	Fase Tumbuh	Fase Matang	Fase Meluruh
CIN (J/kg)	36	34	31
Suhu Puncak Awan (°C)	-54,2	-66	-62,8

Tabel 5. Curah Hujan Tanggal 22-24 Oktober 2023

Waktu (UTC)	Curah Hujan (mm)		
	22	23	24
00.00	0	0	0
01.00	0	0	0
02.00	0	0	0
03.00	0	0	0
04.00	0	0	0
05.00	4	0	1
06.00	5	0	6
07.00	2	6	8
08.00	2	3	11
09.00	1	4	0
10.00	1	2	0
11.00	0	0	0
12.00	0	9	0
13.00	0	11	0
14.00	0	4	0
15.00	0	0	0
16.00	0	0	0
17.00	0	0	0
18.00	0	0	0
19.00	0	0	0
20.00	0	0	0
21.00	0	0	0
22.00	0	0	0
23.00	0	0	0
24.00	0	0	0
Total	15	39	26

Sumber : CHRS Data Portal

Indeks SWEAT 337 hingga 316, semakin menegaskan potensi terjadinya badai petir, terutama pada fase tumbuh dan matang. CAPE yang menurun dari 775 J/kg pada fase tumbuh menjadi 621 J/kg saat fase meluruh menunjukkan bahwa energi potensial untuk mendukung konveksi mulai berkurang seiring waktu. Nilai CIN yang rendah (31–36 J/kg) menunjukkan bahwa hambatan untuk pembentukan konveksi sangat kecil,

sehingga udara lebih mudah naik. Suhu puncak awan yang sangat dingin -54,2 hingga -66°C.

Pada Tabel 5, akumulasi curah hujan yang tercatat dari tanggal 22 hingga 26 menunjukkan intensitas sebesar 80 mm. Kejadian ini termasuk dalam kategori hujan lebat (BMKG, 2021). Berdasarkan hasil analisis terhadap indeks stabilitas atmosfer, curah hujan, serta parameter meteorologis lainnya, diperoleh gambaran

bahwa kondisi atmosfer selama periode kejadian menunjukkan ketidakstabilan yang signifikan, diiringi oleh curah hujan tinggi dan dukungan aktivitas konvektif yang kuat. Selain itu, keberadaan angin yang mengalir dari laut menuju daratan dengan topografi pegunungan di wilayah penelitian mengindikasikan adanya pengaruh angin orografis, yang turut memperkuat proses pembentukan awan dan peningkatan intensitas hujan. Kombinasi antara ketidakstabilan atmosfer dan efek orografis ini secara meteorologis menjelaskan terjadinya hujan deras yang berpotensi menyebabkan banjir di wilayah tersebut.

KESIMPULAN

Berdasarkan pengolahan data pada penelitian ini, dinamika atmosfer yang kompleks sangat memengaruhi curah hujan intensif di Kabupaten Aceh Selatan, yang berpotensi menyebabkan banjir. Suhu permukaan laut yang hangat mendukung penguapan intensif dan peningkatan kandungan uap air di atmosfer, yang bisa memperkuat aktivitas konveksi. Pola *streamline* di berbagai lapisan atmosfer menunjukkan massa udara membawa uap air ke daratan. Selain itu, *transport* kelembapan pada lapisan bawah atmosfer meningkat hingga selama puncak aktivitas konveksi, menunjukkan

adanya pasokan uap air yang signifikan dari Samudra Hindia. Pegunungan Leuser sebagai penghalang yang menjadi faktor orografis menyebabkan naiknya massa udara yang dapat dilihat dari pola konvergen angin di lapisan bawah, kecepatan vertikal yang *updraft* kemudian *downdraft*.

Penggunaan metode RGB dalam analisis awan konvektif dengan metode *Day Convective Storm* dan *24-Hour Microphysics*, memberikan gambaran yang jelas tentang distribusi dan evolusi awan selama periode kejadian hujan. Namun, metode ini memiliki beberapa kekurangan dalam aplikasi di SATAID, seperti resolusi spasial yang terbatas, kesulitan dalam membedakan antara awan konvektif dan non-konvektif karena hanya menggunakan data suhu puncak awan, serta data satelit yang dapat dipengaruhi oleh gangguan atmosfer, seperti keberadaan uap air yang berlebih atau tutupan awan tinggi lainnya. Berdasarkan penelitian ini, kajian lebih lanjut yang dapat dilakukan dengan pengembangan model numerik cuaca untuk memprediksi intensitas dan distribusi hujan secara lebih akurat. Penelitian lebih mendalam tentang pengaruh topografi lokal, seperti pegunungan dalam memperkuat aliran konvektif melalui efek pengangkatan orografis.

DAFTAR PUSTAKA

- Kementerian Kesehatan RI. (2023, Oktober 24). Banjir di Aceh Selatan, Aceh – 24/10/2023. *Pusat Krisis Kesehatan*.
<https://penanggulangankrisis.kemkes.go.id/Banjir-di-ACEH-SELATAN-ACEH--24-10-2023-52>
- Kristianto, A., Saragih, I. J. A., Ryan, M., Wulan Wandarana, Hensatiti Niken Pratiwi, Adelina Lumban Gaol, Khafid Pratama, & Ejha Larasati Siadari. (2018). Pemanfaatan Data

- Pengamatan Cuaca Berbasis Data Penginderaan Jauh dan Model Cuaca Numerik untuk Prakiraan Cuaca dalam Mengurangi Risiko Bencana Hidrometeorologi. *Jurnal Geografi, Edukasi dan Lingkungan*, 2(2), 87–96.
<https://doi.org/10.29405/jgel.v2i2.1518>
- Fadila, R., Soetamto. (2017). Analisis Keterkaitan Hari Hujan Dan Hujan Lebat Berdasarkan Angin Zonal Lapisan 850 hPa. *Megasains*, 8, 43-49.

- Rosalina, D., Suleman, Y., Shaliha, A., & Ruzuqi, R. (2023). Sebaran Suhu Permukaan Laut Teluk Bone Pada Tahun 2021 Menggunakan Citra Satelit Terra Modis. *Jurnal Kelautan: Indonesian Journal of Marine Science and Technology*, 16(2), 110–116.
<https://doi.org/10.21107/jk.v16i2.18999>
- Sarmadi, F., Huang, Y., Siems, S. T., & Manton, M. J. (2020). Sensitivity of the orographic precipitation across the Australian Snowy Mountains to regional climate indices. *Journal of Southern Hemisphere Earth Systems Science*, 69(1), 196–204.
<https://doi.org/10.1071/ES19014>
- Munandar, Tb. Ai, Sumiati. (2017). Implementasi Linier Regresi untuk Prediksi Curah Hujan Bulanan. *Seminar Nasional Riset Terapan (SENASSET)* 2017.
- Habibie, Muhammad N., Tri Astuti Nuraini. (2014). Karakteristik dan tren Perubahan Suhu Permukaan Laut Di Indonesia Periode 1982-2009. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 15(1), 37-49.
- Rochmady. (2015). Analisis Parameter Oseanografi Melalui Pendekatan Sistem Informasi Manajemen Berbasis Web (Sebaran Suhu Permukaan Laut, Klorofil-a dan Tinggi Permukaan Laut). *Jurnal Ilmiah Agribisnis dan Perikanan (agrikan UMMU-Ternate)*, 8(1), 2-7.
- Trisnakusumawati, D. D., Sujiono, E. H., & Palloan, P. (2022). Pola Sebaran Konvektif Berdasarkan Indeks Konvektif dan Konvergensi Di Sulawesi Selatan. *Jurnal Fisika Unand*, 11(4), 515–522.
<https://doi.org/10.25077/jfu.11.4.515-522.2022>
- Ismail, P., Richard. (2020). Profil *Lifting Condensation Level (LCL)*, *Convective Condensation Level (CCL)*, dan Estimasi Tinggi Dasar Awan di Wilayah Makassar. *Buletin GAW Bariri*, 1(2), 58-66.
- Sulistiyo, W., Tuna, M. S., & Ramadhan, S. A. (2024). Pemanfaatan Data Satelit Himawari-8 dalam Analisis Kejadian Hujan Lebat di Jombang. *GEOGRAPHIA : Jurnal Pendidikan Dan Penelitian Geografi*, 5(1), 37–47.
<https://doi.org/10.53682/gjppg.v5i1.7705>
- Maulidianto, Tempo, N. F. R., & Yosafat Donni Haryanto. (2024). 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*, 11(1), 60–77.
<https://doi.org/10.24252/jft.v11i1.45152>
- Kushardono, Dony. (2012). Kajian Satelit Penginderaan Jauh Cuaca Generasi Baru Himawari 8 dan 9. *Jurnal Inderaja : Jurnal Penginderaan Jauh dan Pengolahan Data Citra Digital*, 3(5), 41-49.
- Rahman, Rahmat Nur. (2020). Validasi Performa Satelit Presipitasi *GSMaP* Dalam Mengestimasi Curah Hujan Di Jabodetabek. *Jurnal Widya Climago*, 2(2), 77-85.
- Syahrizal, H., M. Syahrani Jailani. (2023). Jenis-Jenis Penelitian Dalam Penelitian Kuantitatif dan Kualitatif. *QOSIM : Jurnal Pendidikan, Sosial & Humaniora*, 1(1), 13-23.
- Utami, Sri D., Mubarak, Elizal. (2023). Analisis Sebaran Suhu Permukaan Laut dan Kaitannya dengan Curah Hujan di Kepulauan Mentawai. *Dinamika Lingkungan Indonesia*, 10(1), 45-51.

- Ariyanti, Rahmatia D., F. Mega Sugihartati, W. Rethataranita, P. Agus Winarso. (2019). Uji Keakuratan Data GFS Menggunakan Model WRF-ARW Pada Siklon Tropis Flamboyan. *JlIF : Jurnal Ilmu dan Inovasi Fisika*, 3(2), 62-74.
- Prasetyo, S., Abdilah, S., Nugraheni, I. R., Sagita, N. (2022). Studi Awan Konvektif Penyebab Hujan Es Menggunakan Radar Cuaca Doppler Single Polarization di Bogor (23 September 2020). *Jurnal Aplikasi Meteorologi*, 1(1), 32-42.
- Pusat Informasi Perubahan Iklim. (2021). Peta Rata-Rata Curah Hujan dan Hari Hujan Periode 1991-2020 Indonesia. *BMKG*