

Analisis Transport Uap Air dan Dinamika Atmosfer saat Kejadian Hujan Ekstrem di Kota Tangerang (Studi Kasus: 28-29 Januari 2025)

Analysis of Integrated Vapor Transport and Atmospheric Dynamics During the Extreme Rainfall Event in Tangerang City (Case Study: January 28-29, 2025)

Muhammad Fathurrachman Alghazali^{1*}, Latifah Nurul Qomariyatuzzamzami¹, Yosafat Donni Haryanto¹, Avrionesti¹

¹Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tanah Tinggi, Kota Tangerang, Banten, Indonesia 15211

Email: *fathurrachman542@gmail.com; latifah.zamzami@stmkg.ac.id; yosafat.haryanto@stmkg.ac.id; avrionesti@stmkg.ac.id

Received: 17st July 2026; Revised: 15th August 2026; Accepted: 30th August 2026

Abstrak – Kejadian hujan ekstrem di Kota Tangerang pada 28 - 29 Januari 2025 menyebabkan banjir di beberapa wilayah dan gangguan aktivitas penerbangan di Bandara Internasional Soekarno-Hatta. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis transport uap air dan dinamika atmosfer yang berperan terhadap kejadian hujan ekstrem tersebut. Metode yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus. Data yang digunakan meliputi curah hujan per tiga jam dari Stasiun Meteorologi Soekarno-Hatta serta data reanalisis ERA5 ECMWF berupa komponen angin, kelembapan relatif, divergensi, vortisitas, vertical velocity, dan transport uap air pada lapisan 1000–300 mb. Selain itu, penelitian ini juga menggunakan data radiosonde Stasiun Meteorologi Soekarno-Hatta untuk menganalisis indeks stabilitas atmosfer, meliputi K-Index (KI), Lifted Index (LI), Showalter Index (SI), Total Totals Index (TT), CAPE, dan SWEAT. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi atmosfer saat kejadian ditandai oleh penguatan angin barat hingga barat laut pada lapisan 925 mb, kelembapan relatif tinggi mencapai 80–100% pada lapisan bawah hingga menengah, gerak naik udara yang cukup kuat, konvergensi lapisan bawah, serta pola vortisitas yang mendukung pertumbuhan awan konvektif. Indeks stabilitas atmosfer juga menunjukkan kondisi marginal tidak stabil yang mendukung potensi konveksi, terutama melalui nilai KI yang mengindikasikan peningkatan peluang hujan lebat. Transport uap air juga menunjukkan suplai kelembapan yang besar dan berkelanjutan dari wilayah perairan barat Jawa, Selat Sunda, dan Laut Jawa bagian barat menuju Kota Tangerang. Dengan demikian, kejadian hujan ekstrem tersebut dipengaruhi oleh kombinasi suplai uap air yang kuat dan kondisi dinamika atmosfer yang mendukung proses konveksi intens.

Kata kunci: Transport uap air; hujan ekstrem; dinamika atmosfer; ERA5 ECMWF; Kota Tangerang.

Abstract – The extreme rainfall event in Tangerang City on 28 - 29 January 2025 caused flooding in several areas and disrupted flight activities at Soekarno-Hatta International Airport. This study aimed to analyze integrated vapor transport and atmospheric dynamics associated with the extreme rainfall event. The method used was descriptive quantitative research with a case study approach. The data consisted of three-hourly rainfall data from Soekarno-Hatta Meteorological Station and ERA5 ECMWF reanalysis data, including wind components, relative humidity, divergence, vorticity, vertical velocity, and water vapor transport at the 1000–300 mb layer. This study also analyzes atmospheric stability indices derived from Soekarno-Hatta radiosonde data, including the K-Index (KI), Lifted Index (LI), Showalter Index (SI), Total Totals Index (TT), CAPE, and SWEAT. The results showed that atmospheric conditions during the event were characterized by the strengthening of westerly to northwesterly winds at the 925 mb layer, high relative humidity of 80–100% in the lower to middle troposphere, strong upward motion, low-level convergence, and vorticity patterns that supported the development of convective clouds. The atmospheric stability indices also indicated marginally unstable conditions that supported convective potential,

particularly through the K-Index (KI) values, which suggested an increased probability of heavy rainfall. Integrated vapor transport also indicated a large and persistent moisture supply from the western Java waters, the Sunda Strait, and the western Java Sea toward Tangerang City. Therefore, the extreme rainfall event is influenced by the combination of strong moisture supply and atmospheric dynamic conditions that support intense convection.

Keywords: Integrated vapor transport; extreme rainfall; atmospheric dynamics; ERA5 ECMWF; Tangerang City.

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara kepulauan terbesar yang terletak di wilayah ekuator, sehingga menerima intensitas matahari lebih banyak dibandingkan dengan negara subtropis lainnya. Ketika atmosfer mengalami pemanasan, kemampuan udara untuk menahan atau menampung uap air meningkat sekitar 7% setiap kali suhu naik 1°C sesuai dengan prinsip hubungan Clausius–Clapeyron [1-2]. Kondisi tersebut menyebabkan Indonesia memiliki karakteristik suhu permukaan udara yang hangat serta kelembapan udara yang tinggi [3]. Hal ini mengakibatkan atmosfer menjadi semakin lembap dan tidak stabil, sehingga lebih rentan terhadap kejadian hujan.

Pola angin dan distribusi kelembapan tentu berperan penting dalam proses terjadinya hujan sebagaimana telah dibuktikan dalam berbagai penelitian sebelumnya. Transport uap air (*Integrated Vapor Transport/IVT*) merupakan parameter penting untuk memahami bagaimana suplai kelembapan memicu hujan ekstrem. Transport uap air penting untuk diteliti karena berfungsi sebagai penghubung utama antara proses penguapan di permukaan laut dan pembentukan awan serta presipitasi di atmosfer [4]. Secara fisik, peningkatan transport uap air meningkatkan kandungan *precipitable water* dalam kolom atmosfer sehingga memperbesar peluang kondensasi dan pelepasan panas laten ketika udara mengalami pengangkatan [5]. Pelepasan panas laten tersebut memperkuat arus naik konvektif dan dapat meningkatkan ketidakstabilan atmosfer yang pada akhirnya memperbesar intensitas hujan [6]. Gimeno-Sotelo dkk. telah meneliti bahwa terdapat peningkatan yang signifikan antara transport uap air dan curah hujan ekstrem, khususnya pada musim dingin di wilayah Eromediterania [7]. Holton dan Hakim juga menyimpulkan bahwa angin lapisan 925 mb sering digunakan untuk merepresentasikan aliran angin dekat permukaan yang secara langsung mengangkut uap air dari laut ke daratan, terutama di wilayah tropis dan pesisir [8]. Penelitian Eva dkk. juga menunjukkan bahwa variasi angin lapisan 925 mb secara signifikan memodulasi distribusi kelembapan dan intensitas hujan ekstrem di Supadio, Kalimantan Barat [9].

Selain aspek angin dan kelembapan, dinamika atmosfer juga berpengaruh terhadap intensitas hujan. Ismail dan Munandar telah meneliti bahwa nilai divergensi dan vortisitas negatif di BBS, ketidakstabilan atmosfer yang terdeteksi dari data sounding, serta keberadaan awan konvektif di wilayah Banten–Jakarta yang teramati dari citra satelit menjadi faktor utama penyebab terjadinya hujan sangat lebat di Jakarta pada 21 Februari 2017 [10]. Saragih dkk. juga telah meneliti dinamika atmosfer saat kejadian hujan lebat di wilayah pesisir timur Sumatera Utara menggunakan model WRF-ARW dengan hasil yang menunjukkan bahwa nilai vortisitas positif di BBU, konvergensi di lapisan bawah, adanya updraft pada *vertical velocity*, serta kelembapan relatif yang tinggi menjadi penyebab utama hujan lebat di wilayah tersebut [11]. Selain itu, indeks stabilitas atmosfer seperti *K-Index*, *Lifted Index*, *Showalter Index*, *Total Totals Index*, CAPE, dan SWEAT memiliki keterkaitan yang kuat dengan probabilitas terjadinya badai guntur dan hujan lebat di berbagai wilayah dunia [12].

Wilayah Indonesia termasuk Kota Tangerang terletak di dataran rendah dengan ketinggian rata-rata 10 - 18 mdpl dan berbatasan langsung dengan Laut Jawa di utara. Topografi yang relatif datar dan kedekatannya dengan laut membuat Tangerang rentan terhadap konvergensi angin laut - daratan dan penumpukan uap air. Kondisi tersebut terbukti nyata pada kejadian hujan ekstrem 28 - 29 Januari 2025 yang menyebabkan banjir besar di enam kecamatan Kota Tangerang, yaitu Benda, Gebang Raya, Periuk, Neglasari, Batuceper, dan Jatiuwung seperti yang telah dilaporkan oleh Metro TV [13]. Berdasarkan data Stasiun Meteorologi Soekarno-Hatta, total curah hujan yang terukur sebesar 250 mm dari tanggal 28 hingga pagi hari tanggal 29 Januari 2025 (12.00 - 00.00 UTC) yang menurut klasifikasi BMKG termasuk dalam kategori hujan ekstrem (≥ 150 mm/hari) [14]. Kejadian hujan ekstrem tersebut tidak hanya menimbulkan banjir, tetapi juga mengganggu aktivitas penerbangan yang mengakibatkan 23 pesawat harus dialihkan ke

bandara alternatif sebelum mendarat di Bandara Internasional Soekarno–Hatta, Tangerang seperti yang telah dilaporkan oleh Kompas.com [15].

Dengan demikian, penelitian ini akan menganalisis transport uap air dan dinamika atmosfer selama kejadian tersebut. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah bagi pengembangan kajian hidrometeorologi di perkotaan serta menjadi referensi penting bagi mitigasi bencana banjir di wilayah Kota Tangerang, khususnya dalam peningkatan sistem peringatan dini berbasis cuaca ekstrem di kawasan Jabodetabek.

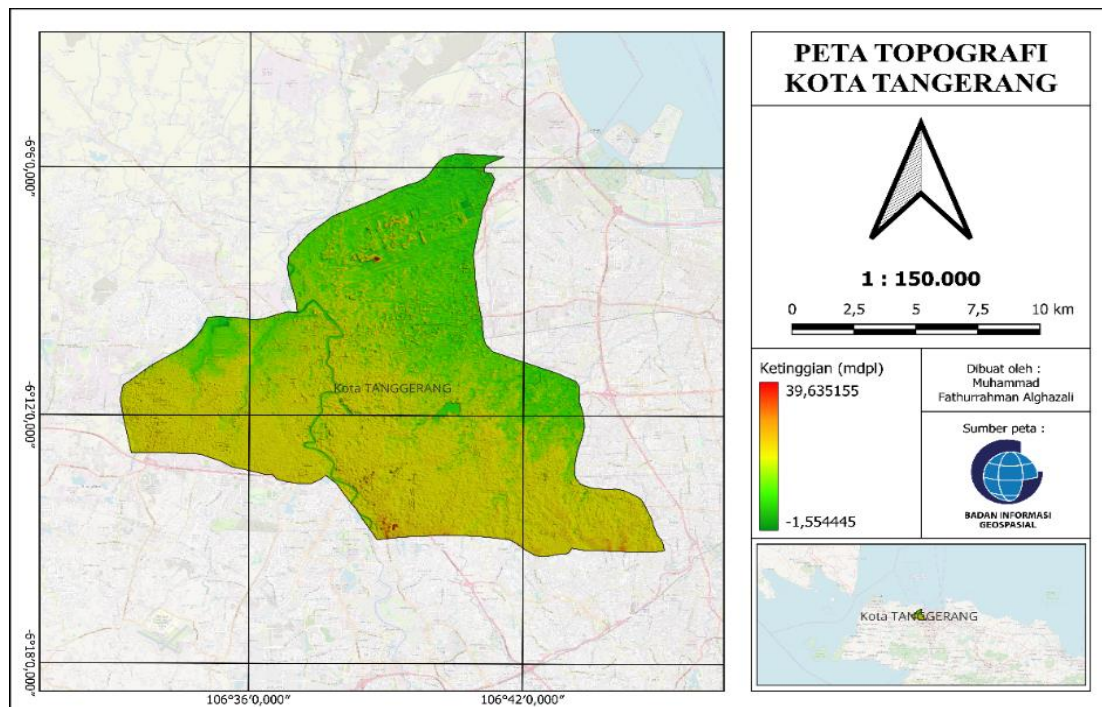
2. Material dan Metode

2.1. Jenis penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan pendekatan analisis studi kasus. Penelitian deskriptif kuantitatif bertujuan untuk mendeskripsikan fenomena apa adanya berdasarkan data numerik tanpa menguji hipotesis kausal antara variabel [16]. Dalam penelitian kuantitatif, data dikumpulkan dan dianalisis dalam bentuk angka untuk menggambarkan karakteristik variabel yang diteliti serta menjawab pertanyaan penelitian yang dirumuskan. Secara khusus, pendekatan deskriptif digunakan untuk menyajikan gambaran komprehensif mengenai dinamika atmosfer dan transport uap air selama periode kejadian hujan ekstrem melalui statistik dan angka yang diperoleh dari sumber data klimatologi dan meteorologi. Dengan demikian, kombinasi pendekatan deskriptif dan kuantitatif dalam studi kasus ini memastikan bahwa gambaran numerik tentang kondisi atmosfer dan transport uap air ditampilkan secara faktual dan kontekstual selama periode kejadian tanpa memanipulasi variabel yang diteliti.

2.2. Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian dilakukan di Kota Tangerang, Provinsi Banten dengan koordinat $106^{\circ}33'–106^{\circ}44'$ BT dan $6^{\circ}05'–6^{\circ}15'$ LS seperti yang ditampilkan pada Gambar 1. Kota Tangerang berbatasan dengan Kabupaten Tangerang di sebelah utara dan barat, berbatasan dengan Kota Jakarta Barat di sebelah timur, serta berbatasan dengan Kota Tangerang Selatan di sebelah selatan



Gambar 1. Peta lokasi penelitian.

Penelitian dilakukan pada periode 28-29 Januari 2025 dengan puncak intensitas hujan mencapai 250 mm/hari pada tanggal 29 Januari 2025. Periode kejadian yang dikaji difokuskan pada saat tercatat curah hujan ekstrem yang menyebabkan banjir di wilayah Kota Tangerang.

2.3. Data penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data observasi, data reanalisis, citra satelit, dan radar cuaca. Data observasi terdiri atas curah hujan per tiga jam dan radiosonde dari Stasiun Meteorologi Soekarno-Hatta. Data reanalisis menggunakan ERA5 dari ECMWF dengan resolusi spasial $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ dan temporal setiap jam pada 28–29 Januari 2025. Rincian data penelitian ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data yang digunakan dalam penelitian.

No.	Material	Sumber data
1)	Data curah hujan per tiga jam dan radiosonde	Stasiun Meteorologi Soekarno-Hatta
2)	Kelembapan spesifik, angin zonal (u), angin meridional (v), kelembapan relatif, divergensi, dan <i>vertical velocity</i>	ECMWF

2.4. Teknik pengolahan dan analisis data

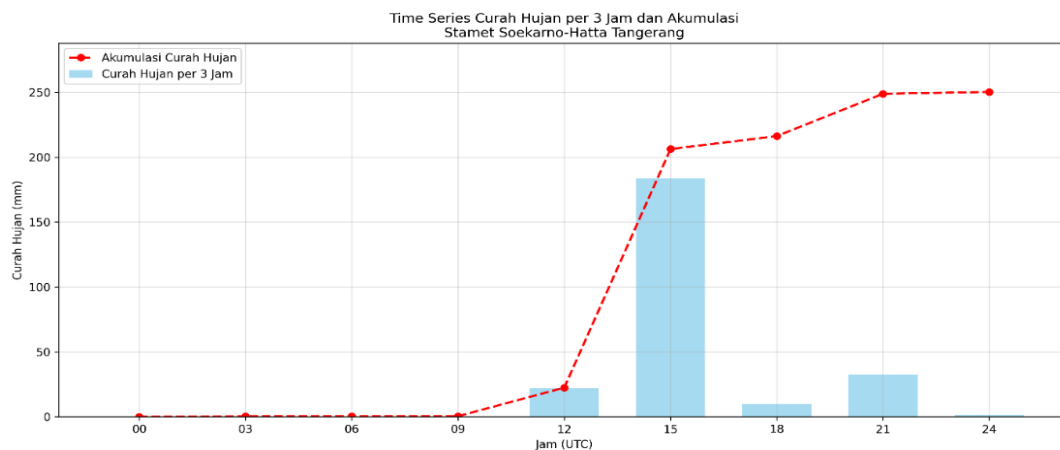
Tahapan pengolahan dan analisis data meliputi:

- Data curah hujan per tiga jam dari Stasiun Meteorologi Soekarno-Hatta diolah menjadi grafik *time series*. Grafik tersebut digunakan untuk menganalisis variasi intensitas curah hujan, waktu awal peningkatan hujan, serta puncak kejadian hujan ekstrem selama periode penelitian.
- Data reanalisis ECMWF ERA5 diolah menggunakan Python untuk menghasilkan visualisasi parameter atmosfer, meliputi pola angin, kelembapan relatif, kelembapan spesifik, divergensi, vortisitas, *vertical velocity*, serta transport uap air pada lapisan 1000 - 300 mb. Hasil pengolahan ini dianalisis untuk mengetahui distribusi, arah pergerakan, dan peran transport uap air terhadap pembentukan awan konvektif serta kejadian hujan ekstrem di Kota Tangerang.
- Data radiosonde dari Stasiun Meteorologi Soekarno-Hatta diolah menggunakan aplikasi RAOB yang akan menampilkan *K-Index* (KI), *Lifted Index* (LI), *Showalter Index* (SI), *Total Totals Index* (TT), *Convective Available Potential Energy* (CAPE), dan *Severe Weather Threat* (SWEAT) untuk menentukan tingkat ketidakstabilan atmosfer dan potensi pembentukan awan konvektif.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Grafik curah hujan

Berdasarkan grafik *time series* curah hujan per 3 jam pada Gambar 2 di Stasiun Meteorologi Soekarno-Hatta Tangerang pada periode 28 - 29 Januari 2025, terlihat bahwa kejadian hujan berlangsung dengan intensitas yang tidak merata sepanjang periode pengamatan.



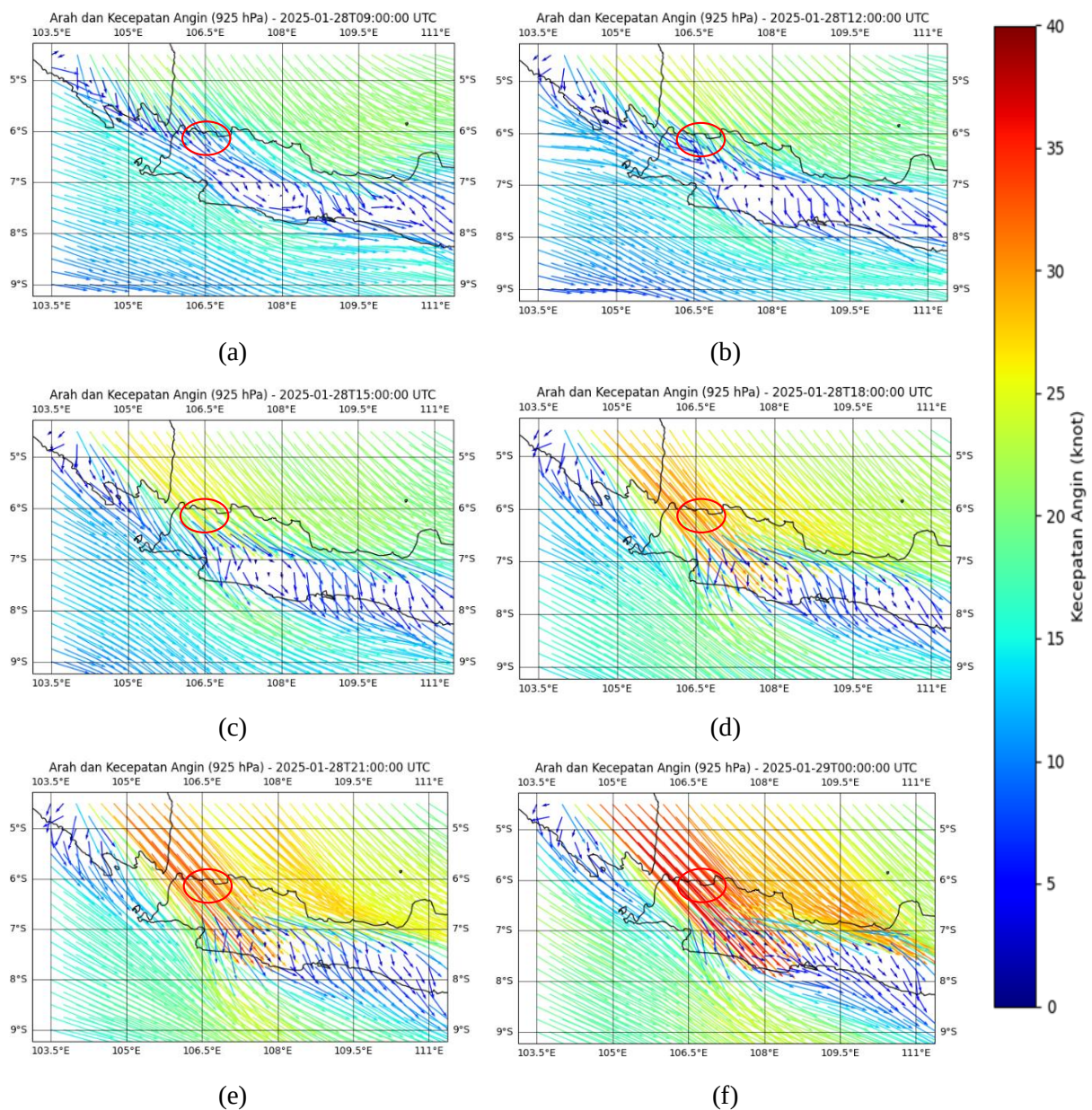
Gambar 2. *Time series* curah hujan Stasiun Meteorologi Soekarno-Hatta Tangerang.

Pada awal periode, yaitu 03 UTC, curah hujan relatif sangat kecil yaitu 0,5 mm. Peningkatan mulai terlihat pada pukul 12 UTC dengan curah hujan mencapai 22 mm yang menunjukkan pertumbuhan awan

hujan di sekitar wilayah pengamatan. Intensitas hujan kemudian meningkat sangat tajam pada pukul 15 UTC, dengan curah hujan mencapai 183,8 mm dalam interval 3 jam. Nilai ini menjadi puncak curah hujan selama periode pengamatan dan menunjukkan adanya hujan dengan intensitas ekstrem dalam waktu yang relatif singkat. Setelah puncak tersebut, curah hujan mengalami penurunan pada pukul 18 UTC, namun kembali terjadi penambahan hujan pada pukul 21 UTC mencapai 32,6 mm. Pada akhir periode, yaitu pukul 24 UTC, hujan kembali melemah dengan nilai curah hujan yang sangat kecil. Secara akumulatif, total curah hujan selama 24 jam mencapai sekitar 250 mm. Berdasarkan klasifikasi BMKG, nilai tersebut termasuk dalam kategori hujan ekstrem karena melebihi ambang batas 150 mm per hari. Pola distribusi curah hujan ini menunjukkan bahwa kejadian hujan ekstrem di wilayah Stasiun Meteorologi Soekarno-Hatta Tangerang didominasi oleh satu periode hujan sangat intens.

3.2 Analisis pola angin

Pola angin di lapisan 925 mb pada Gambar 3 periode 28 Januari 2025 pukul 09 UTC hingga 29 Januari 2025 pukul 00 UTC menunjukkan aliran angin bergerak dominan dari arah barat hingga barat laut di wilayah Kota Tangerang dan sekitarnya.

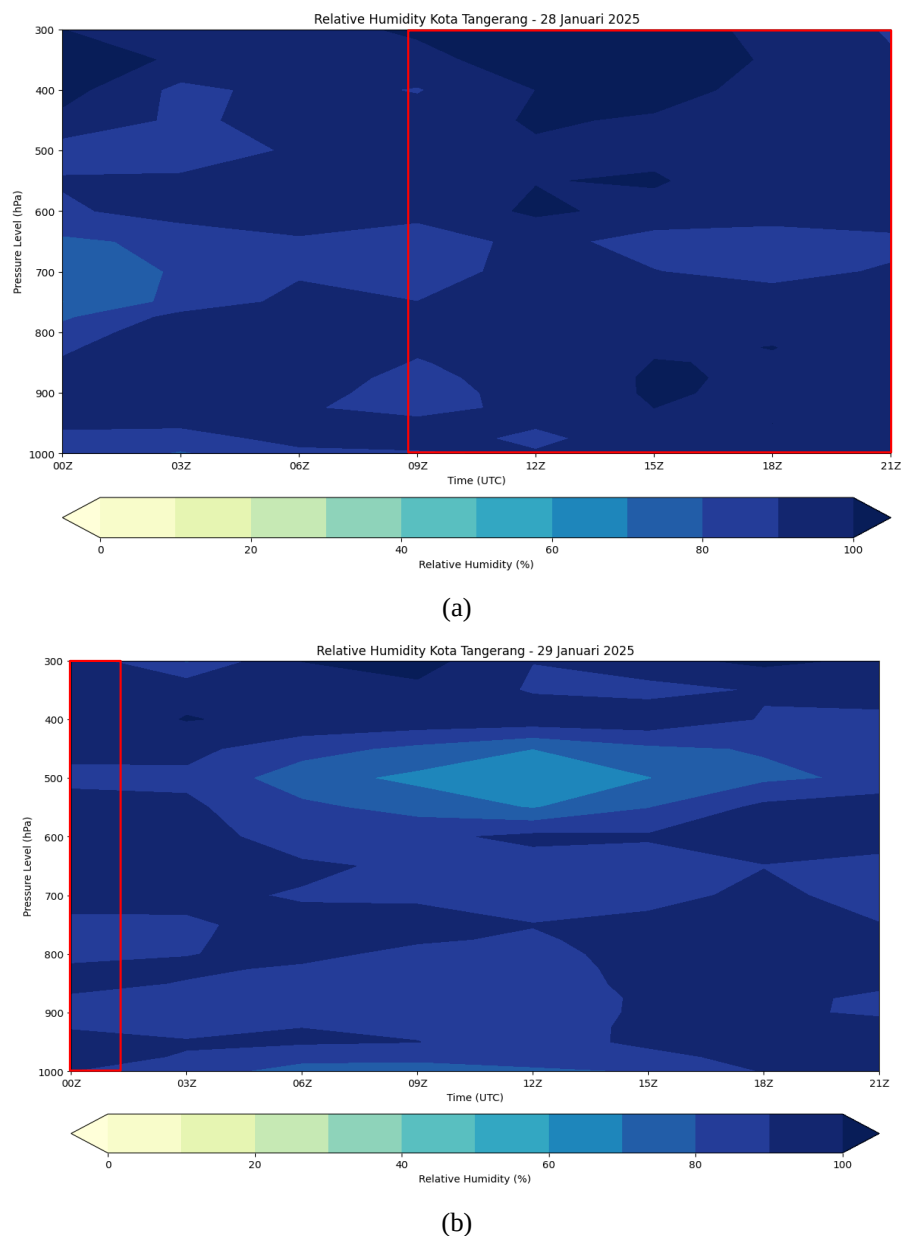


Gambar 3. Pola angin lapisan 925 mb: (a) 09 UTC, (b) 12 UTC, (c) 15 UTC, (d) 18 UTC, (e) 21 UTC, dan (f) 00 UTC.

Pada 09 UTC, angin di sekitar wilayah Banten termasuk Tangerang mulai menunjukkan aliran dari barat-barat laut dengan kecepatan sedang sekitar 10 - 20 knot. Aliran angin masih cenderung stabil dengan kecepatan sedang hingga pukul 15 UTC pola angin berwarna kuning hingga merah mulai terlihat semakin jelas. Penguatan aliran angin lapisan bawah semakin terlihat pada pukul 15 UTC, ketika angin di wilayah utara Banten hingga utara Jawa Barat mencapai kecepatan sekitar 20 - 25 knot. Pada pukul 18 - 21 UTC, angin di sekitar Banten tampak semakin kuat dengan kecepatan sekitar 20 - 30 knot. Kemudian pada 29 Januari 2025 pukul 00 UTC, aliran angin dari barat hingga barat laut masih dominan, bahkan kecepatan angin di wilayah utara Banten hingga Laut Jawa bagian barat mencapai sekitar 30 - 35 knot sehingga berpotensi mendukung pembentukan awan konvektif dan hujan ekstrem di Kota Tangerang. Kondisi ini sejalan dengan Muhammad dkk. yang menjelaskan bahwa peningkatan peluang curah hujan ekstrem di Indonesia berkaitan dengan perubahan konvergensi fluks kelembapan [17].

3.3 Analisis relative humidity

Profil *relative humidity* (RH) Kota Tangerang yang terdapat pada Gambar 4 tanggal 28 - 29 Januari 2025 menunjukkan kelembapan yang sangat tinggi pada hampir seluruh lapisan troposfer.

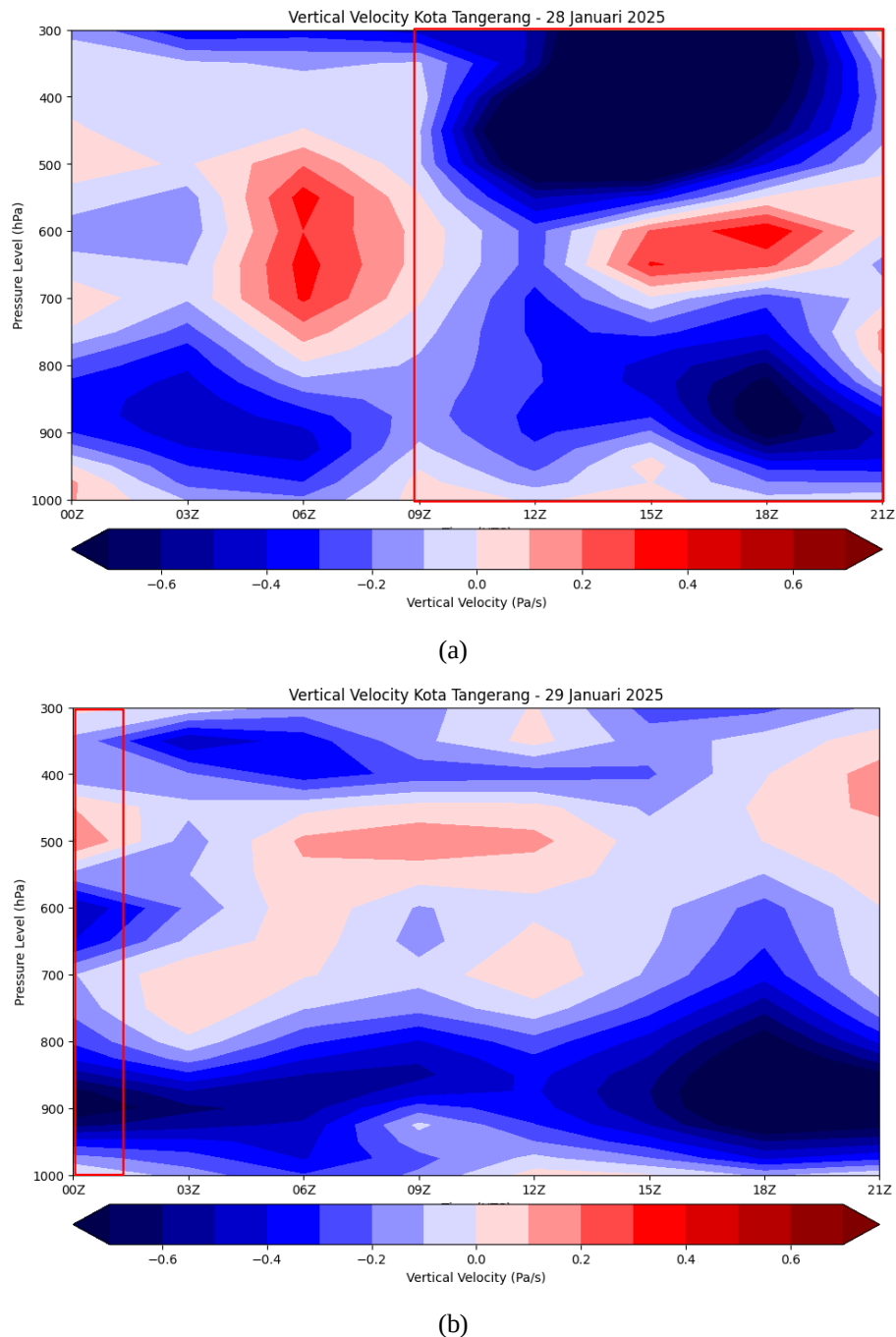


Gambar 4. *Relative humidity* lapisan 1000-300 mb: (a) 28 Januari 2025, (b) 29 Januari 2025.

Pada 28 Januari 2025, RH umumnya berada pada kisaran 80–100% dari lapisan bawah hingga menengah, terutama pada lapisan 1000–500 hPa. Kelembapan tinggi dengan kondisi paling dominan terjadi pada pukul 09–21 UTC, ketika RH tampak merata tinggi hingga lapisan atas. Pada 29 Januari 2025, RH masih cukup tinggi, terutama pada lapisan 1000–700 hPa, dengan nilai sekitar 80–100%, meskipun terdapat sedikit penurunan kelembapan pada lapisan atas sekitar 300 hPa. Secara keseluruhan, profil RH pada 28–29 Januari 2025 memperlihatkan bahwa atmosfer Kota Tangerang berada dalam kondisi lembap hingga sangat lembap, terutama pada lapisan 1000–500 hPa.

3.4 Analisis vertical velocity

Berdasarkan profil *vertical velocity* pada Gambar 5, terlihat adanya gerak udara naik yang cukup dominan pada beberapa lapisan atmosfer.

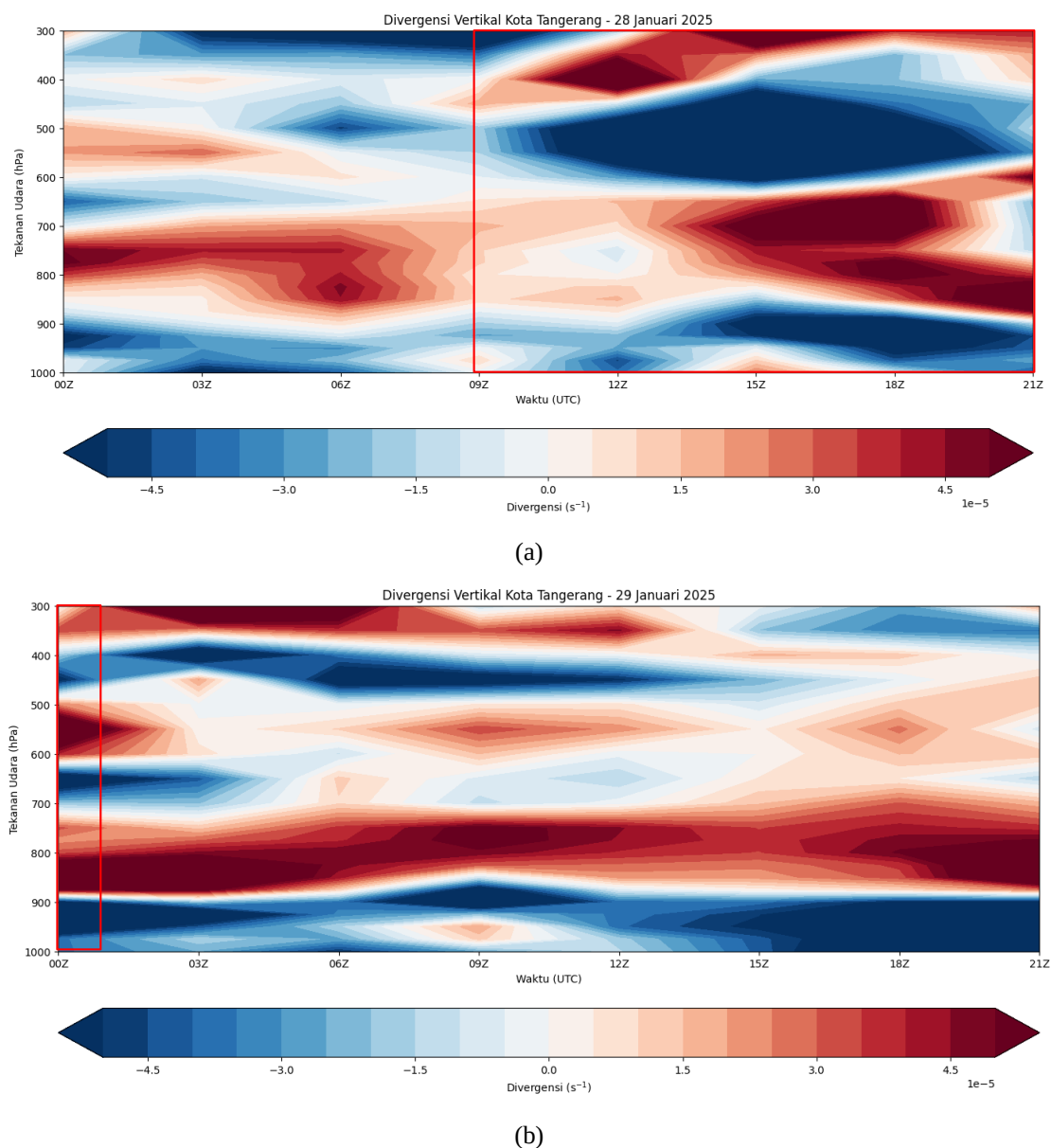


Gambar 5. *Vertical velocity* lapisan 1000-300 mb: (a) 28 Januari 2025, (b) 29 Januari 2025.

Pada 28 Januari 2025, gerak naik mulai menguat pada lapisan menengah hingga atas, terutama sekitar 300–500 hPa, dengan nilai sekitar -0,3 hingga -0,7 Pa/s pada pukul 09–12 UTC. Pada pukul 15–18 UTC, gerak naik masih terlihat kuat, terutama pada lapisan bawah sekitar 800–900 hPa dan lapisan atas sekitar 300–500 hPa, dengan nilai negatif yang mencapai sekitar -0,5 hingga -0,7 Pa/s. Meskipun terdapat area nilai positif pada lapisan sekitar 600–650 hPa, dominasi gerak naik pada lapisan bawah dan atas menunjukkan bahwa atmosfer masih mendukung proses konveksi dan pertumbuhan awan hujan. Hal ini sejalan dengan Li et al. yang menjelaskan bahwa kejadian presipitasi ekstrem di wilayah tropis berkaitan dengan penguatan gerak naik dalam struktur vertikal atmosfer, baik pada lapisan bawah maupun lapisan atas [18]. Kemudian, pada pukul 21 UTC sampai 00 UTC tanggal 29 Januari 2025, gerak naik masih terpantau pada beberapa lapisan, meskipun intensitasnya mulai lebih bervariasi. Secara keseluruhan, pola *vertical velocity* negatif pada saat kejadian menunjukkan adanya proses pengangkatan udara yang berperan penting dalam mendukung terjadinya hujan ekstrem di Kota Tangerang.

3.5 Analisis divergensi

Profil divergensi pada Gambar 6 menunjukkan adanya pola konvergensi dan divergensi yang bervariasi pada beberapa lapisan atmosfer.

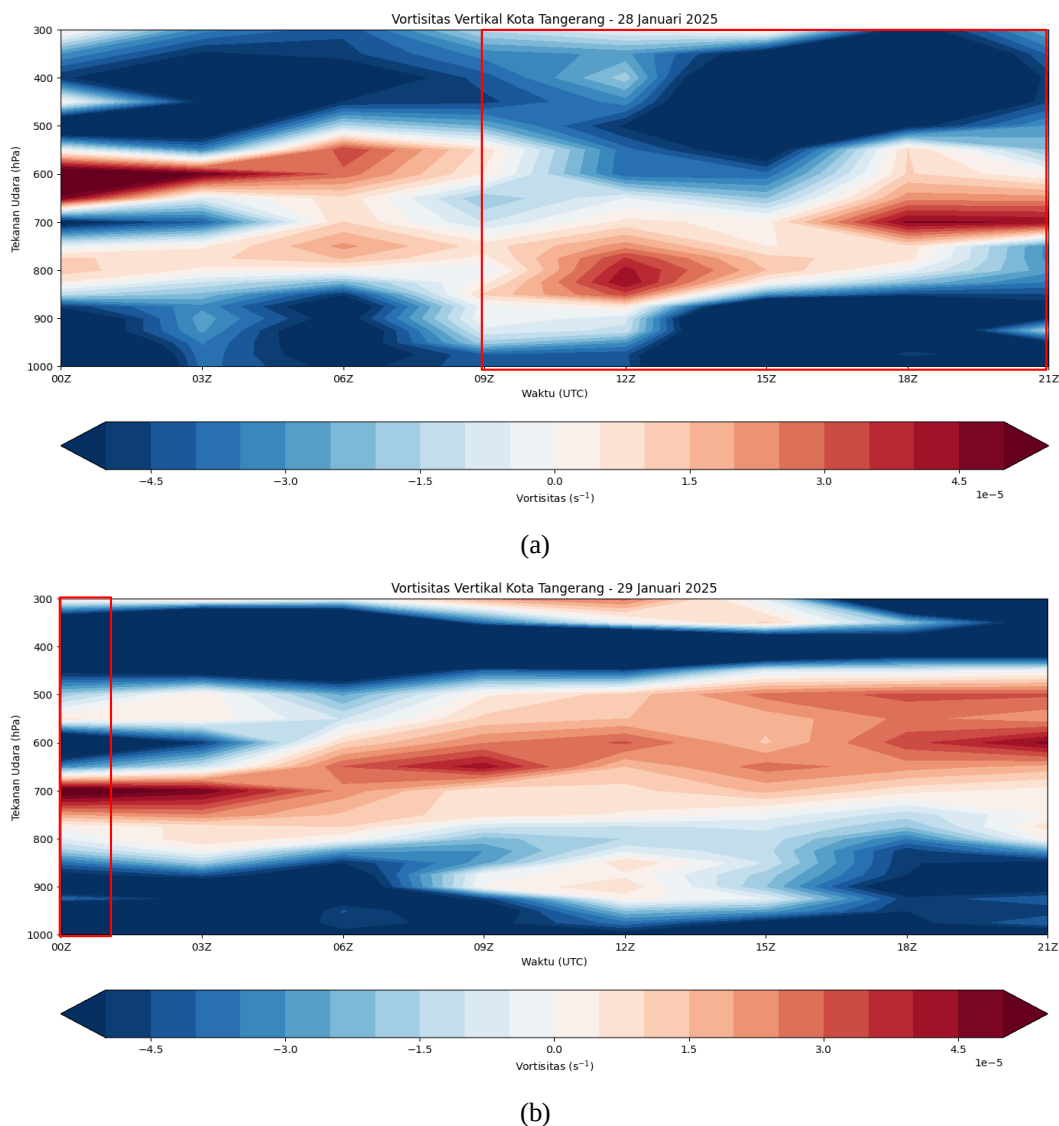


Gambar 6. Divergensi lapisan 1000–300 mb: (a) 28 Januari 2025, (b) 29 Januari 2025.

Pada pukul 09 UTC, konvergensi mulai terlihat pada lapisan bawah sekitar 900–1000 hPa dengan nilai sekitar -1 hingga $-3 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. Kemudian, pada pukul 12 UTC, konvergensi lapisan bawah semakin kuat, terutama pada lapisan 900–1000 hPa, dengan nilai mencapai sekitar -3 hingga $-5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$. Selain itu, konvergensi juga tampak pada lapisan menengah sekitar 500–600 hPa, sementara pada lapisan atas sekitar 350–400 hPa muncul divergensi positif yang cukup kuat. Pada periode 15–18 UTC, konvergensi di lapisan bawah masih bertahan, khususnya pada lapisan sekitar 900–1000 hPa. Hingga 21 UTC, pola konvergensi masih terlihat meskipun distribusinya mulai lebih bervariasi. Pada 29 Januari 2025 pukul 00 UTC, konvergensi masih tampak pada lapisan bawah, sementara divergensi terlihat pada beberapa lapisan menengah hingga atas. Kombinasi konvergensi lapisan bawah dan divergensi pada lapisan di atasnya dapat menghasilkan gerak naik yang mendukung konveksi dan hujan lebat [19].

3.6 Analisis vortisitas

Berdasarkan profil vortisitas pada Gambar 7, terlihat adanya dinamika rotasi atmosfer yang cukup aktif pada beberapa lapisan.



Gambar 7. Vortisitas lapisan 1000-300 mb: (a) 28 Januari 2025, (b) 29 Januari 2025.

Pada 28 Januari 2025 pukul 09 UTC, vortisitas negatif tampak dominan pada lapisan atas sekitar 300 - 500 hPa, sedangkan lapisan menengah hingga bawah sekitar 700 - 50 hPa menunjukkan vortisitas positif lemah hingga sedang yang menunjukkan adanya perbedaan rotasi angin antar lapisan atmosfer. Selanjutnya, pada 12 UTC, vortisitas positif menguat pada lapisan sekitar 750 - 850 hPa dengan nilai

mencapai sekitar $+3$ hingga $+5 \times 10^{-5} \text{ s}^{-1}$, sementara pada lapisan atas hingga menengah mulai terlihat vortisitas negatif. Pada periode 15 - 21 UTC, vortisitas negatif semakin terlihat pada lapisan bawah sekitar 900 - 1000 hPa dan lapisan atas sekitar 300 - 500 hPa, sedangkan vortisitas positif masih muncul pada lapisan menengah sekitar 600 - 800 hPa. Hingga 29 Januari 2025 pukul 00 UTC, vortisitas negatif masih tampak pada lapisan bawah sekitar 900 - 1000 hPa, sementara vortisitas positif muncul pada lapisan sekitar 700 hPa dan lapisan atas. Secara keseluruhan, pola vortisitas pada periode tersebut menunjukkan adanya dinamika atmosfer yang mendukung proses konveksi.

3.7 Analisis indeks stabilitas atmosfer

Berikut adalah nilai indeks stabilitas atmosfer berdasarkan data radiosonde Stasiun Meteorologi Soekarno-Hatta yang disajikan pada Tabel 2.

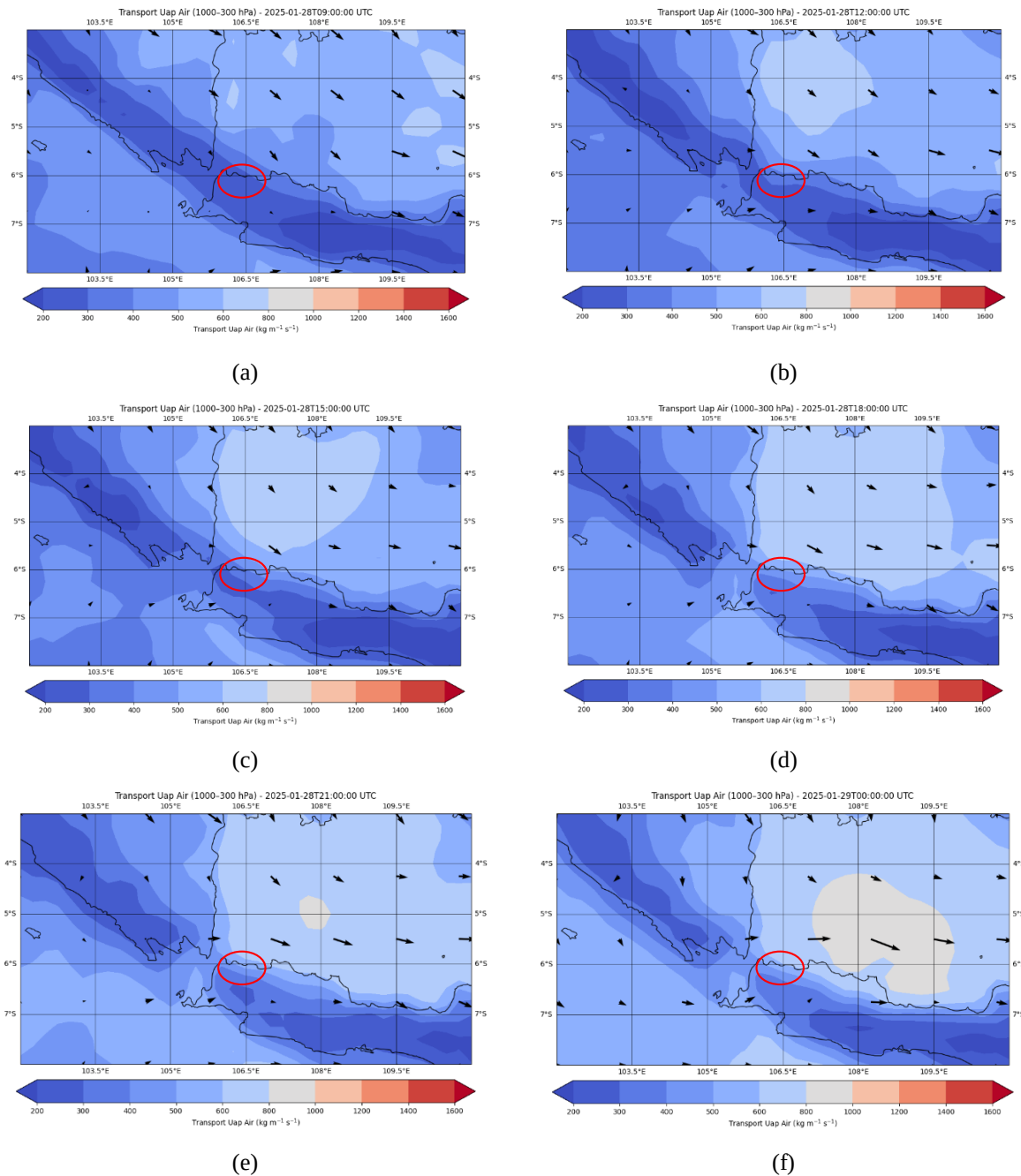
Table 2. Indeks stabilitas atmosfer pada 28-29 Januari 2025.

Indeks	28 Januari 2025		29 Januari 2025	
	00 UTC	12 UTC	00 UTC	12 UTC
KI	34,8	36,6	36,8	33,5
LI	-1,6	-1,3	-1,5	-2,0
SI	0,5	1,4	0	1,5
TT	42,3	39,7	42,7	40,7
CAPE	709	826	612	891
SWEAT	250,8	233,4	251,6	238,6

Berdasarkan Tabel 2, nilai *K-Index* (KI) pada seluruh waktu pengamatan berada di atas 30, yaitu berkisar antara 33,5 - 36,8. Nilai ini menunjukkan bahwa potensi terjadinya badai guntur atau hujan lebat meningkat. Lalu, nilai *Lifted Index* (LI) berkisar antara -1,3 hingga -2,0, sehingga termasuk dalam kategori marginal tidak stabil. Sementara itu, nilai *Showalter Index* (SI) berada pada kisaran 0 hingga 1,5. Nilai tersebut menunjukkan bahwa atmosfer cenderung stabil hingga mendekati labil lemah. Namun, nilai SI sebesar 0 pada 29 Januari 2025 pukul 00 UTC menunjukkan kondisi atmosfer yang mulai mendekati keadaan labil. Nilai *Total Totals Index* (TT) umumnya berada pada kisaran 40 - 45, terutama pada 28 Januari 2025 pukul 00 UTC sebesar 42,3 dan 29 Januari 2025 pukul 00 UTC sebesar 42,7. Nilai ini menunjukkan adanya potensi badai guruh ringan atau terisolasi apabila didukung oleh mekanisme pengangkatan yang memadai. Nilai CAPE pada seluruh periode berada pada rentang 612 - 891 J/kg, sehingga termasuk kategori marginal tidak stabil. Adapun nilai SWEAT berkisar antara 233,4 - 251,6 atau masih berada di bawah ambang 300 sehingga potensi badai guntur kuat belum terlalu dominan berdasarkan indeks ini. Dengan demikian, nilai KI yang berada di atas 30, LI yang bernilai negatif, CAPE yang menunjukkan ketidakstabilan marginal, serta TT yang berada pada kisaran potensi badai guruh ringan menunjukkan bahwa atmosfer cukup mendukung proses konveksi.

3.8 Analisis transport uap air

Pola aliran transport uap air di wilayah penelitian ditunjukkan pada Gambar 8. Pada tanggal 28 Januari 2025 pukul 09 UTC menggambarkan nilai transport uap air di sekitar wilayah Banten termasuk Kota Tangerang yang umumnya berkisar $400 - 600 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ dengan arah transport dominan menuju tenggara. Kondisi ini menunjukkan bahwa suplai uap air dari wilayah perairan barat Jawa dan Selat Sunda mulai masuk ke wilayah daratan Banten-Tangerang. Pada pukul 12 UTC, nilai transport uap air berkisar sekitar $500 - 800 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$, dengan arah transport tetap dominan dari barat-barat laut menuju timur-tenggara. Kemudian pada pukul 15 UTC, nilai transport uap air di sekitar Tangerang masih berada pada kisaran $500 - 800 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$, sementara wilayah Laut Jawa bagian barat menunjukkan nilai yang relatif lebih tinggi dibandingkan daratan selatan Jawa. Transport uap air mengalami peningkatan yang lebih jelas pada pukul 18-21 UTC di sekitar Banten bagian utara, Jakarta, dan Laut Jawa bagian barat dengan nilai sekitar $600 - 900 \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$.



Gambar 8. Transport uap air lapisan 1000-300 mb: (a) 28 Januari 2025, (b) 29 Januari 2025; (a) 09 UTC, (b) 12 UTC, (c) 15 UTC, (d) 18 UTC, (e) 21 UTC, dan (f) 00 UTC.

Pada tanggal 29 Januari 2025 pukul 00 UTC, transport uap air masih tampak dominan dengan nilai berkisar 800 - 1000 kg m⁻¹ s⁻¹ di area perairan utara Jawa, sedangkan di sekitar Tangerang nilainya berada pada kisaran 600 - 900 kg m⁻¹ s⁻¹. Kondisi ini sejalan dengan temuan Raghuvanshi & Agarwal yang menunjukkan bahwa kejadian hujan ekstrem dipengaruhi oleh penguatan transport dan konvergensi kelembapan lapisan bawah yang mendukung peningkatan suplai uap air menuju wilayah kejadian [20].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, kejadian hujan ekstrem di Kota Tangerang pada 28 - 29 Januari 2025 dipengaruhi oleh kombinasi antara suplai transport uap air yang besar dan dinamika atmosfer yang mendukung proses konveksi. Kondisi tersebut didukung oleh penguatan angin barat hingga barat laut pada lapisan 925 mb, kelembapan relatif tinggi pada lapisan 1000 - 500 hPa, gerak udara naik, konvergensi lapisan bawah, pola vortisitas yang mendukung konveksi, kondisi atmosfer marginal tidak stabil, serta

transport uap air yang persisten menuju wilayah Tangerang. Dengan demikian, transport uap air yang kuat dan dinamika atmosfer yang mendukung konveksi berperan dalam kejadian hujan ekstrem tersebut.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (STMKG) atas segala dukungan, arahan, dan bimbingan yang telah diberikan selama proses pelaksanaan penelitian hingga penyusunan artikel ini.

Pustaka

- [1] Allan R P and Soden B J 2008 Atmospheric Warming and the Amplification of Precipitation Extremes *Science* (1979). 321 1481–4.
- [2] Trenberth K E 2011 Changes in precipitation with climate change *Clim. Res.* 47 123–38.
- [3] Karmini M 2000 Hujan Es (Hail) di Jakarta, 20 April 2000 *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca* 1 27–32.
- [4] Peixoto J P and Oort A H 1992 Physics of Climate *American Institute of Physics*.
- [5] Emanuel K A 1994 *Atmospheric convection* (Oxford university press).
- [6] Houze Jr R A 2004 Mesoscale convective systems *Reviews of Geophysics* 42.
- [7] Gimeno-Sotelo L, Fernández-Alvarez J C, Nieto R, Vicente-Serrano S M and Gimeno L 2024 The increasing influence of atmospheric moisture transport on hydrometeorological extremes in the Euromediterranean region with global warming *Commun. Earth Environ.* 5 604.
- [8] Holton J R and Hakim G J 2013 *An introduction to dynamic meteorology* vol 88 (Academic press).
- [9] Eva T, Muliadi and Adriat R 2024 Pengaruh Transpor Uap Air Terhadap Kejadian Hujan Ekstrem di Supadio Kalimantan Barat *PRIMA FISIKA* 12 01–5.
- [10] Ismail P and Munandar M A 2017 Analisis Kondisi Atmosfer Pada Fenomena Hujan Sangat Lebat di Jakarta (Studi Kasus 21 Februari 2017) *Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya* pp 196–202.
- [11] Saragih I J A, Kristianto A, Silitonga A K and Paski J A I 2017 Kajian dinamika atmosfer saat kejadian hujan lebat di wilayah Pesisir Timur Sumatera Utara menggunakan model WRF-ARW dan citra Satelit Himawari-8 *Unnes Physics Journal* 6 25–30.
- [12] Haklander A J and Van Delden A 2003 Thunderstorm predictors and their forecast skill for the Netherlands *Atmos. Res.* 67 273–99.
- [13] Metro TV 2025 Kota dan Kabupaten Tangerang dilanda banjir hingga kedalaman satu meter *Metro TV News*.
- [14] BMKG 2023 *Standar Operasional Prosedur tentang Penyediaan dan Penyebarluasan Peringatan Dini Cuaca Ekstrem Sesaat (Nowcasting) 1 (Satu) sampai dengan 3 (Tiga) Jam ke Depan di Lingkungan Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika* (Indonesia).
- [15] Kompas.com 2025 Sempat Dialihkan, Penerbangan di Bandara Soekarno-Hatta Sudah Normal *Kompas.com*.
- [16] Nurhabiba F D and Misdalina M 2023 Kemampuan higher order thinking skill (HOTS) dalam pembelajaran berdiferensiasi SD 19 Palembang *Didaktik: Jurnal Ilmiah PGSD STKIP Subang* 9 492–504.
- [17] Muhammad F R, Lubis S W and Setiawan S 2021 Impacts of the Madden–Julian oscillation on precipitation extremes in Indonesia *International Journal of Climatology* 41 1970–84.
- [18] Li Y-X, Singh M S, Masunaga H and Yu J-Y 2025 Bimodal Evolution of Vertical Motion in Tropical Precipitation Extremes *Geophys. Res. Lett.* 52 e2025GL116056.
- [19] Du Y and Chen G 2019 Heavy rainfall associated with double low-level jets over southern China. Part II: Convection initiation *Mon. Weather Rev.* 147 543–65.
- [20] Singh Raghuvanshi A and Agarwal A 2023 Unraveling atmospheric moisture transport linkages to extreme precipitation events and associated synoptic features over India *J. Hydrol. (Amst)*. 626 130290.