

Kajian Dinamika Atmosfer saat Kejadian *Quasi Linear Convective System* di Sumatera Barat (Studi Kasus 11 Maret 2025)

Study of Atmospheric Dynamics during the Quasi-Linear Convective System Event in West Sumatra (Case Study of March 11, 2025)

Karmelita Asri Widyandaru¹, Panji Kuswanaji¹, Ahmad Irsyad Saputra^{1*}, Achmad Zakir¹, Aditya Mulya¹

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

Email: asriwidyandaru08@gmail.com; pkuswanaji@gmail.com; *ahmadirsyadsaputra@gmail.com; achmad.zakir@stmkg.ac.id; aditya.mulya@stmkg.ac.id

Received: 28th January 2026; Revised: 13th March 2026; Accepted: 04th April 2026

Abstrak – *Quasi-Linear Convective System (QLCS)* adalah sistem awan konvektif terorganisir yang berbentuk hampir memanjang dan dapat menghasilkan hujan lebat. Penelitian ini menggunakan metode studi kasus tunggal yang bersifat eksplanatori karena berfokus pada satu kejadian *QLCS* di Sumatera Barat pada 11 Maret 2025. Penelitian bertujuan menjelaskan mekanisme dinamika atmosfer dalam pembentukan sistem konvektif serta hubungannya dengan curah hujan. Data radar Doppler C-Band dari Stasiun Meteorologi Padang digunakan untuk menganalisis *QLCS* berdasarkan kriteria Lombardo dan Colle (2010). Produk radar Column Maximum Reflectivity (C_{MAX}) dan Surface Rainfall Intensity (SRI) serta data reanalisis ERA5 digunakan untuk melihat struktur awan, intensitas hujan, dan kondisi atmosfer. Hasil penelitian menunjukkan *QLCS* memiliki panjang 56.81 km, lebar 8.10 km, reflektivitas maksimum 53 dBZ, dan masa hidup 60 menit. Sistem terbentuk akibat konvergensi angin di lapisan bawah yang didukung oleh kondisi atmosfer tidak stabil, seperti nilai Convective Available Potential Energy (CAPE) sedang hingga tinggi (1000–2000 J kg⁻¹), adanya pengangkatan massa udara di 700–400 hPa, dan kelembaban tingkat menengah yang tinggi. Pada fase matang, sistem ini menghasilkan hujan lebat dengan intensitas maksimum 51 mm/jam. Penelitian ini memberikan kontribusi ilmiah dalam menjelaskan keterkaitan antara dinamika atmosfer dan upaya mitigasi wilayah melalui analisis estimasi curah hujan pada kejadian *QLCS*.

Kata kunci: *Quasi-Linear Convective System (QLCS)*; radar cuaca; dinamika atmosfer; Sumatera Barat; Padang.

Abstract – *Quasi-Linear Convective System (QLCS)* is an organized quasi-linear convective cloud structure that produces heavy rainfall. This study uses a single explanatory case study method on *QLCS* that occurred in West Sumatra on 11 March 2025. This study aims to explain the atmospheric dynamic mechanisms in convective system formation and their relationship with rainfall. Doppler C-Band weather radar data from the Padang Meteorological Station were used to analyze *QLCS* using Lombardo and Colle (2010) criteria. Radar products, including Column Maximum Reflectivity (C_{MAX}) and Surface Rainfall Intensity (SRI), along with ERA5 reanalysis data, were used to examine cloud structure, rainfall intensity, and supporting atmospheric conditions. *QLCS* had length of 56.81 km, width 8.10 km, maximum reflectivity of 53 dBZ, and 60 minutes lifetime. The system developed due to low-level wind convergence supported by unstable atmospheric conditions, indicated by moderate to high Convective Available Potential Energy (CAPE) values (1000–2000 J kg⁻¹), upward air motion in 700–400 hPa layer, and high mid-level humidity. During the mature phase, *QLCS* produced heavy rainfall with a maximum intensity of 51 mm/hour. This study contributes to the scientific understanding of the relationship between atmospheric dynamics and regional mitigation efforts by examining rainfall associated with *QLCS* events.

Keywords: *Quasi-Linear Convective System (QLCS); weather radar; atmospheric dynamics; West Sumatra; Padang.*

1. Pendahuluan

Instabilitas atmosfer oleh pemanasan permukaan laut dan daratan memicu interaksi massa udara dengan kandungan uap air yang tinggi [1]. Kondisi ini mendorong peningkatan aktivitas konvektif pada skala meso yang dikenal sebagai *Mesoscale Convective System (MCS)*. MCS didefinisikan sebagai sistem awan konvektif yang menghasilkan kombinasi presipitasi konvektif dan stratiform dengan cakupan horizontal puluhan hingga ratusan kilometer, serta berpotensi menimbulkan hujan lebat dan angin kencang [2]. Penelitian Maddox (1980) memisahkan tipe MCS berdasarkan sistem berbentuk sirkuler dan sistem berbentuk linier [2]. Sistem konvektif linier umumnya dikenal sebagai squall line di lintang menengah dan tropis, namun di wilayah tropis juga dijumpai sistem dengan struktur hampir linier (*quasi-linear*) yang dikenal sebagai *Quasi-Linear Convective System (QLCS)*. Berbeda dengan *squall line* yang cenderung lurus, QLCS dapat tersusun atas segmen konvektif yang membengkok, terputus, atau mengalami perubahan bentuk [3, 4].

Perbedaan lain antara QLCS dan *Squall Line* terletak pada dimensi spasial, karakteristik reflektivitas radar, serta durasi siklus hidup sistem. Suatu sistem diklasifikasikan sebagai QLCS apabila memiliki panjang horizontal minimal 50 km dengan rasio panjang terhadap lebar sekurang-kurangnya 5:1, menunjukkan nilai reflektivitas ≥ 35 dBZ dengan inti konvektif mencapai ≥ 50 dBZ, serta mampu mempertahankan struktur *quasi-linear* tersebut selama durasi hidup minimal 30 menit [5]. Berdasarkan kriteria tersebut, pada 11 Maret 2025 teridentifikasi kejadian QLCS di wilayah Padang, Sumatera Barat [5]. Secara geografis dan klimatologis, Sumatera Barat memiliki potensi tinggi terbentuknya sistem konvektif linier akibat pengaruh konvergensi angin laut–darat, interaksi angin di sekitar Pegunungan Barisan, serta dinamika angin lapisan bawah yang mendukung konveksi dalam [6]. Selain itu, siklus diurnal angin troposfer dan pengaruh skala besar seperti *Madden–Julian Oscillation (MJO)* turut mendukung pertumbuhan sistem konvektif yang dapat berkembang menjadi QLCS [7].

Penelitian terdahulu mengenai QLCS di Indonesia telah dilakukan oleh Mulya dan Maulana (2022) di wilayah Pontianak serta Abubakar dkk. (2024) di Sulawesi Selatan [8, 9]. Kedua penelitian tersebut memberikan gambaran umum mengenai frekuensi dan karakteristik spasial QLCS, namun kajian tersebut belum disertai dinamika atmosfer pada skala kejadian QLCS. Pendekatan studi kasus terhadap dinamika atmosfer QLCS dilakukan oleh Khoirunnisa dkk. (2019) di wilayah Bengkulu [10]. Penelitian ini mengidentifikasi kejadian QLCS beserta menganalisis kondisi dinamika atmosfer melalui simulasi model *Weather Research and Forecasting (WRF-ARW)* [10]. Meskipun tidak secara spesifik membahas fenomena QLCS, penelitian oleh Arrashid dkk. (2023) dan Cekarus dkk. (2025) menunjukkan kajian sistem konvektif dapat dilakukan melalui analisis dinamika atmosfer berbasis data pengamatan dan model reanalisis atmosfer [11, 12].

Penelitian ini memanfaatkan data pengamatan radar cuaca Doppler C-Band dari Stasiun Meteorologi Minangkabau, Padang Pariaman, Sumatera Barat, untuk mengidentifikasi dan menganalisis kejadian QLCS pada 11 Maret 2025. Produk radar CMAX dan SRI digunakan untuk mengamati struktur evolusi sistem konvektif dan estimasi curah hujan sistem. Selain itu, penelitian ini menggunakan data reanalisis atmosfer *Copernicus Climate Change Service: ERA5: Fifth generation of ECMWF atmospheric reanalyses of the global climate. Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS)* untuk menganalisis kondisi dinamika dan termodinamika atmosfer. Parameter atmosfer yang dianalisis meliputi pola dan *streamline* angin, kecepatan vertikal (*vertical velocity*), distribusi kelembaban udara, indeks labilitas atmosfer (*Convective Available Potential Energy/CAPE*), serta fraksi tutupan awan (*cloud fraction*), untuk memperoleh analisis lingkungan atmosfer yang mendukung terbentuk dan berkembangnya QLCS.

2. Material dan Metode

2.1 Jenis penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian terapan (*applied research*) dengan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk menganalisis kejadian QLCS melalui studi kasus. Pendekatan deskriptif kuantitatif digunakan untuk menganalisis evolusi spasial, temporal serta kondisi dinamika atmosfer sebuah kejadian QLCS. Analisis kuantitatif dilakukan dengan memanfaatkan data radar cuaca dan data reanalisis model atmosfer dengan

variabel reflektivitas radar, intensitas curah hujan, *streamline*, *relative humidity*, *vertical velocity*, instabilitas atmosfer (CAPE), dan *cloud fraction* [11, 12].

2.2 Lokasi dan waktu penelitian

Penelitian dilaksanakan di wilayah cakupan operasional Radar Cuaca *Doppler C-Band* Stasiun Meteorologi Minangkabau, Padang Pariaman, yang berlokasi pada koordinat 0°47'9,07" Lintang Selatan dan 100°18'17,75" Bujur Timur. Radar memiliki jangkauan deteksi maksimum hingga ±250 km. Namun, dalam penelitian ini analisis dibatasi pada radius 150 km dari lokasi radar. Pembatasan dilakukan untuk meminimalkan pengaruh *beam broadening*, yaitu pelebaran berkas radar yang meningkat seiring bertambahnya jarak dari antenna dan dapat menurunkan resolusi spasial serta akurasi struktur konvektif, khususnya pada sistem konvektif linier seperti QLCS. Pendekatan ini juga diterapkan dalam penelitian sebelumnya yang mengkaji QLCS berbasis radar cuaca untuk meningkatkan kualitas interpretasi reflektivitas dan struktur sistem konvektif [8, 9]. Waktu pengamatan utama difokuskan pada pukul 10.00–11.00 UTC tanggal 11 Maret 2025, yaitu periode ketika sistem konvektif berada pada fase matang (*mature stage*). Pada tahap ini, struktur konvektif telah berkembang secara optimal dan menampilkan karakteristik reflektivitas yang kuat serta organisasi linier yang paling jelas. Analisis dilakukan pada rentang waktu 00.00–18.00 UTC. Rentang waktu tersebut digunakan untuk mengidentifikasi kronologi pembentukan sistem, serta meninjau kondisi atmosfer sebelum dan setelah kejadian QLCS.

2.3 Data penelitian

Radar cuaca yang digunakan dalam penelitian ini merupakan radar cuaca *Doppler C-Band single-polarization* yang diproduksi oleh Selex SI–Gematronik. Radar ini memiliki resolusi temporal pemindaian sekitar 10 menit per satu siklus volume, dengan rentang sudut elevasi antara 0,5° hingga 19,5°. Data radar cuaca berformat .vol memuat dua parameter yaitu reflektivitas radar (Z) dan kecepatan radial (V). Sistem operasional radar cuaca menggunakan *Volume Coverage Pattern* (VCP) 21 yang diterapkan pada kondisi pengamatan normal hingga hujan, sehingga sesuai untuk pemantauan sistem konvektif aktif, termasuk kejadian QLCS. Sementara itu ERA5 merupakan produk reanalisis atmosfer dari sistem asimilasi data empat dimensi (4D-Var) yang menggabungkan berbagai sumber observasi global. ERA5 menyediakan resolusi spasial horizontal sekitar 0,25° x 0,25° dengan resolusi temporal 1 jam, serta resolusi vertikal hingga 137 level model dari permukaan hingga stratosfer [13]. Tabel 1 menyajikan informasi terkait resolusi kedua sumber data berdasarkan aspek spasial dan temporal.

Tabel 1. Sumber data.

No.	Material	Sumber Data	Resolusi
1)	Citra Radar Cuaca .vol	Data mentah Radar Cuaca Stasiun Meteorologi Minangkabau, Padang Pariaman	Resolusi Temporal setiap 10 menit dengan cakupan 150 km
2)	<i>Streamline (UV wind), relative humidity, vertical velocity, CAPE, cloud fraction level 1000 hPa hingga 100 hPa</i>	ERA5. <i>Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS)</i>	Data model reanalisis 0,25° x 0,25° setiap jam

2.4 Teknik pengolahan data

Data mentah radar cuaca format .vol diolah menjadi produk turunan *Column Maximum Reflectivity* (CMAX) dan *Surface Rainfall Intensity* (SRI) menggunakan perangkat lunak Rainbow®/RainDART (*Rainbow Display, Analysis, and Research Tool*). Pengaturan produk CMAX dalam penelitian ini mencakup jangkauan (*range*) 150 km, resolusi spasial 800 x 800 piksel, dengan batas ketinggian bawah (*bottom*) 1,5 km dan atas (*top*) 15 km. Konfigurasi ini bertujuan untuk menangkap struktur vertikal inti konvektif QLCS dengan reflektivitas tinggi [14]. Penelitian ini juga menggunakan produk *Surface Rainfall Intensity* (SRI) untuk mengestimasi intensitas curah hujan permukaan berbasis data reflektivitas radar. Pengaturan spasial SRI disamakan dengan produk CMAX, yaitu range 150 km, resolusi 800 x 800 piksel, serta batas vertikal *top* 15 km dan *bottom* 1,5 km. Estimasi curah hujan dilakukan dengan mengonversi reflektivitas radar (Z) menjadi laju curah hujan (R) menggunakan hubungan Z–R Marshall–Palmer [15]. Hubungan empiris ini banyak digunakan dalam estimasi curah hujan berbasis radar untuk presipitasi umum, dan telah diterapkan pada penelitian radar cuaca di Sumatera Barat oleh Muzayanah dkk. (2016)

[16]. Penelitian tersebut menganalisis kejadian hujan ekstrem di Padang menggunakan Z–R Marshall–Palmer pada radar cuaca BMKG, dengan parameter $A = 200$ dan $b = 1,6$, sebagaimana dirumuskan pada Persamaan (1) [17].

$$Z = 200 R^{1.6} \tag{1}$$

Dimana Z = faktor reflektivitas radar ($\text{mm}^6 \text{m}^{-3}$) dan R = intensitas curah hujan (mm jam^{-1}).

Produk SRI digunakan untuk menganalisis dampak dari sistem QLCS berdasarkan estimasi curah hujan. BMKG pada tahun 2023 (SOP/025/KB/VIII/2023) mengklasifikasikan curah hujan berdasarkan 6 kriteria, terlihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi intensitas curah hujan.

No.	Klasifikasi	Curah Hujan (Jam)	Akumulasi harian Curah Hujan (hari)
1)	Tidak Hujan/Tidak Terukur	<1 mm	< 5 mm
2)	Hujan Ringan	1-5 mm	5-20 mm
3)	Hujan Sedang	5-10 mm	20-50 mm
4)	Hujan Lebat	10-20 mm	50-100 mm
5)	Hujan Sangat Lebat	> 20 mm	100-150 mm
6)	Hujan Ekstrem	-	>150 mm

Adapun, data model reanalisis ERA5. *Copernicus Climate Change Service Climate Data Store (CDS)* $0,25^\circ \times 0,25^\circ$ ditampilkan dalam bentuk visual. Visualisasi dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan teknik *shaded contour plot* untuk menampilkan distribusi spasial parameter dinamika atmosfer. *Contour plot* digunakan untuk melihat variasi nilai parameter dalam bentuk gradasi warna. Setiap visualisasi dilengkapi dengan *colorbar* yang menghubungkan warna dengan nilai numerik parameter. Ringkasan parameter dinamika yang dilakukan visualisasi dilakukan dengan perhitungan dasar data reanalisis yang disajikan sebagai berikut:

a) *Streamline*

Persamaan kecepatan angin ditunjukkan pada Persamaan (2) [18].

$$V = \sqrt{u^2 + v^2} \tag{2}$$

Variabel V mewakili besar kecepatan angin. Untuk variabel u , mewakili komponen zonal (m s^{-1}), sedangkan variabel v merupakan komponen meridional (m s^{-1}).

b) *Relative humidity (RH)*

Persamaan RH ditunjukkan pada Persamaan (3) sebagai berikut [19]:

$$RH = \frac{q}{q_s} \times 100\% \tag{3}$$

RH diperoleh dari persentase pembagian *specific humidity* (kg kg^{-1}) disimbolkan dengan q dengan *specific humidity* jenuh disimbolkan q_s .

c) *Vertical velocity*

Kecepatan vertikal dinyatakan dengan Persamaan (4) [20]:

$$\omega = \frac{Dp}{Dt} \tag{4}$$

Vertical velocity / kecepatan vertikal memiliki satuan (Pa s^{-1}) disimbolkan ω . *Vertical velocity* (ω) diperoleh dari turunan tekanan terhadap waktu (Dp / Dt).

d) Indeks stabilitas atmosfer (CAPE)

Indeks instabilitas atmosfer yang digunakan adalah CAPE dihitung dengan Persamaan (5) [21].

$$CAPE = \int_{z_f}^{z_n} g \left(\frac{T_p - T_l}{T_l} \right) dz \tag{5}$$

CAPE diperoleh dengan integral tentu $Z_f = \text{level of free convection}$ (m) dan $Z_n =$ ketinggian lapisan ekuilibrium (m) dari operasi variabel $T_p =$ suhu parsel ($^\circ\text{C}$), $T_l =$ suhu lingkungan ($^\circ\text{C}$), $g =$ gravitasi (m/s^2), dan $dz =$ beda ketinggian (m).

e) *Cloud fraction*

Persamaan *Cloud Fraction* (CF) pada Persamaan (6) sebagai berikut [18]:

$$CF = f(RH, ql, qi) \quad (6)$$

CF mewakili *cloud fraction* diperoleh dari fungsi dari *Relative Humidity* (RH), *liquid water content* (ql), dan *ice water content* (qi).

2.5 Teknik analisis data

Teknik deskriptif digunakan untuk melakukan analisis data berdasarkan hasil pengolahan data radar cuaca dan data reanalisis atmosfer ERA5 pada kejadian QLCS 11 Maret 2025 di Sumatera Barat. Pengolahan data radar cuaca pada produk CMAX digunakan untuk menganalisis panjang sistem, rasio aspek, ambang reflektivitas, dan durasi sistem. Analisis lingkungan atmosfer dilakukan berdasarkan data reanalisis ERA5 untuk mengkaji kondisi dinamika atmosfer yang mendukung pembentukan dan perkembangan QLCS. Dinamika atmosfer yang dianalisis meliputi pola dan *streamline* angin horizontal untuk mengidentifikasi zona konvergensi dan sirkulasi angin, *vertical velocity* untuk mendeteksi proses pengangkatan udara, *relative humidity* sebagai indikator ketersediaan uap air, CAPE untuk melihat tingkat ketidakstabilan atmosfer, serta *cloud fraction* untuk menggambarkan distribusi dan struktur awan selama kejadian QLCS. Analisis dampak QLCS berdasarkan kondisi dinamika atmosfer dilakukan menggunakan produk SRI yang melihat intensitas curah hujan permukaan yang kemudian dianalisis berdasarkan kategori intensitas hujan BMKG.

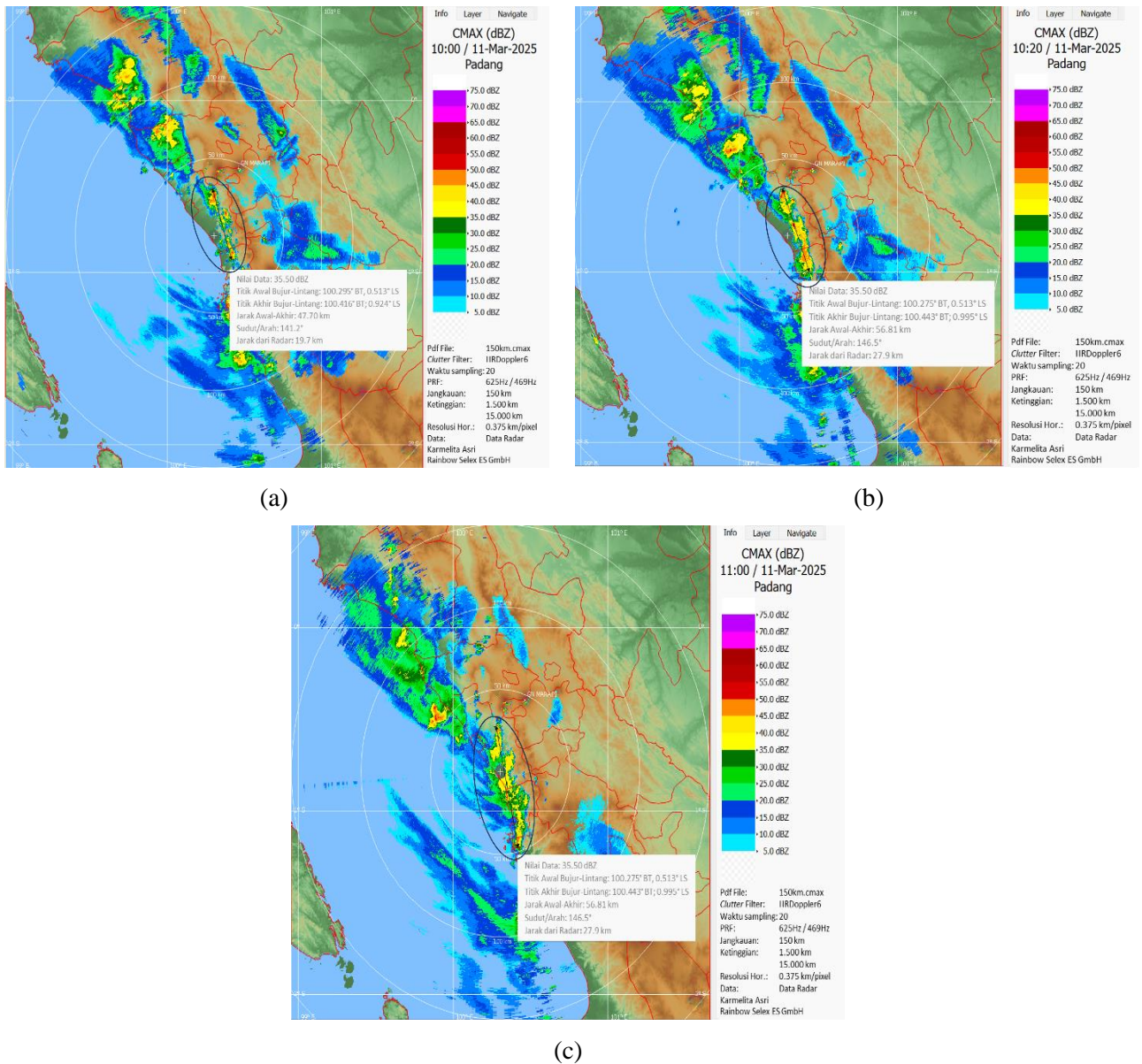
3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Citra radar

Berdasarkan hasil pengamatan radar cuaca yang di Stasiun Meteorologi Minangkabau, Padang Pariaman teramati sebuah kejadian QLCS yang diidentifikasi berdasarkan penelitian Lombardo dan Colle (2010), berupa panjang sistem linear minimal 50 km dengan perbandingan panjang dan lebar sistem sekurang-kurangnya sebesar 5:1, sistem harus mampu bertahan minimal 30 menit, nilai reflectivity sistem ≥ 35 dBZ serta nilai reflectivity pada bagian inti sistem ≥ 50 dBZ [5]. Identifikasi nilai reflektivitas pada sistem digunakan produk radar CMAX yang terdapat dalam perangkat lunak RainDART, sedangkan dalam mengukur panjang sistem menggunakan fitur pengukuran jarak (*distance measurement*) yang terdapat dalam perangkat lunak tersebut. Pada Gambar 1(b), teramati sebuah kejadian QLCS mencapai fase matang 11 Maret 2025 pukul 10.20 UTC. QLCS yang teramati ini memiliki panjang sistem 56,81 km dan lebar 8,10 km, reflektivitas maksimum 53 dBZ, dan kemiringan propagasi $146,5^\circ$. QLCS terbentuk di wilayah daratan dengan fase pertumbuhan ditunjukkan oleh Gambar 1(a) pukul 10.00 UTC, yaitu dalam kategori *broken line* atau garis terputus putus sesuai dengan penelitian Gallus dkk. (2008) [4]. Fase peluruhan yang teridentifikasi pada Gambar 1(c) termasuk dalam klasifikasi *uniform*, yaitu tipe peluruhan yang ditandai oleh melemahnya sistem konvektif secara serentak hingga reflektivitasnya turun menjadi < 50 dBZ [22]. Proses peluruhan mulai terlihat pada pukul 11.00 UTC. Dengan demikian, sistem konvektif tersebut memiliki durasi hidup sekitar 60 menit, terhitung sejak fase pertumbuhan hingga fase peluruhan.

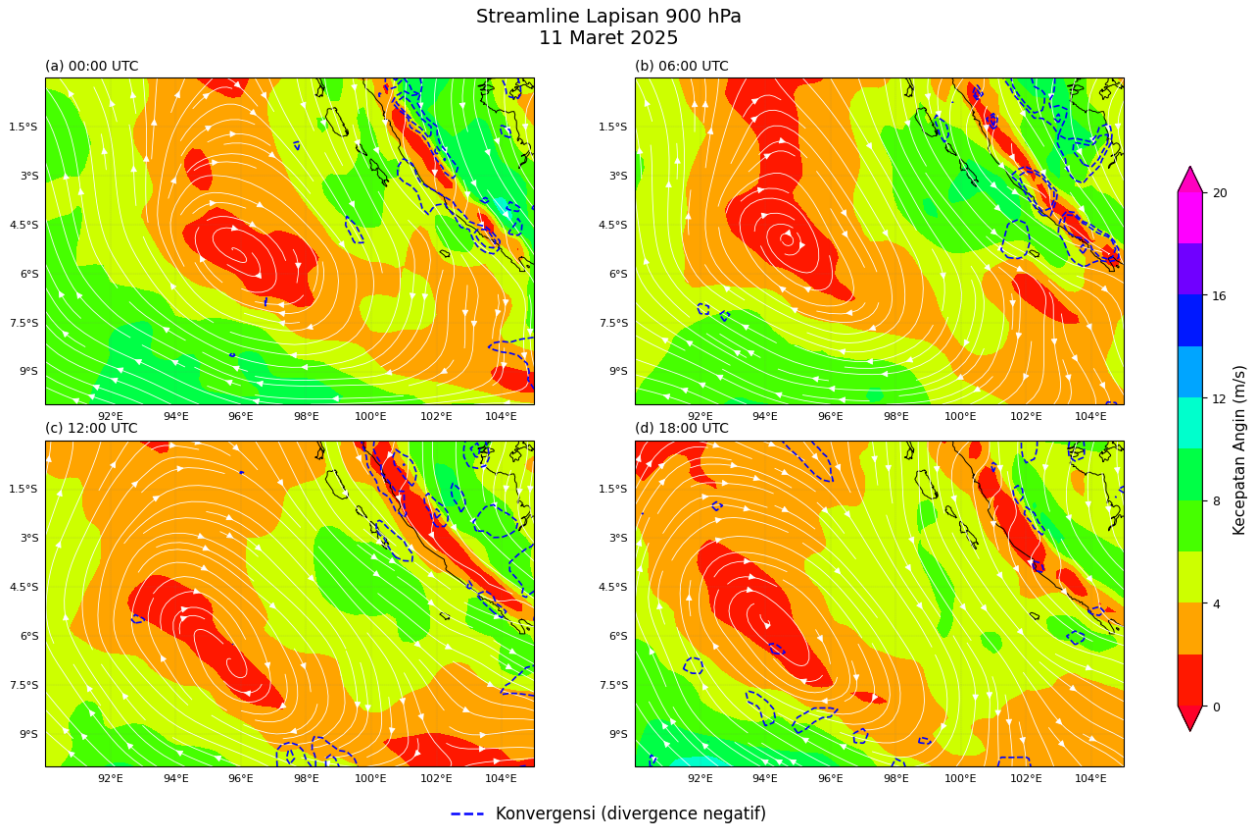
3.2 Dinamika atmosfer

Hasil analisis *streamline* lapisan 900 hPa (Gambar 2) menunjukkan adanya pola konvergensi angin yang persisten di wilayah pesisir dan perairan barat Sumatera Barat sepanjang 11 Maret 2025. Konvergensi ini tampak memanjang sejajar garis pantai dan berasosiasi dengan jalur angin baratan–barat daya yang bertemu dengan aliran lokal, mengindikasikan peran interaksi angin laut dan topografi pesisir dalam memicu pengangkatan awal massa udara. Pola konvergensi lapisan bawah merupakan mekanisme kunci dalam inisiasi sistem konvektif terorganisir di wilayah tropis, khususnya *Quasi Linear Convective System* (QLCS), karena mampu menyediakan gaya angkat yang cukup untuk mengangkat udara lembap dari lapisan batas [18] [19]. Keberadaan konvergensi yang berulang dan terorganisir ini menunjukkan bahwa forcing dinamika mesoskala berperan dominan dalam memicu dan mempertahankan sistem konvektif pada kasus ini.

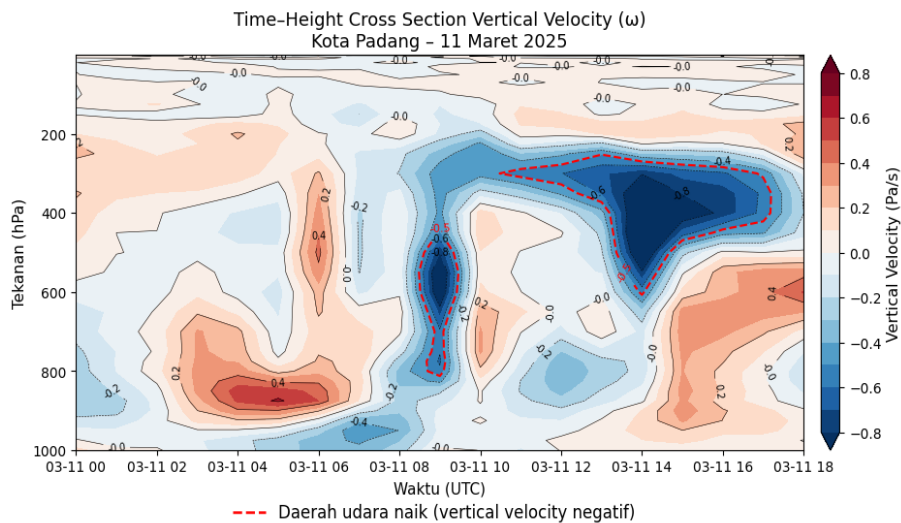


Gambar 1. Citra radar cuaca (C-MAX) di Stasiun Meteorologi Minangkabau, Padang: (a) 10.00 UTC, (b) 10.20 UTC, (c) 11.00 UTC.

Penampang waktu–tinggi kecepatan vertikal (ω) di Kota Padang (Gambar 3) memperlihatkan perkembangan arus naik yang signifikan pada lapisan menengah hingga atas atmosfer (sekitar 700–400 hPa) mulai pagi hingga siang hari (± 09 –15 UTC). Nilai ω negatif yang ditandai dengan garis merah putus-putus menunjukkan adanya pengangkatan massa udara yang merupakan ciri utama dari konveksi dalam pada sistem QLCS. Pola ini menunjukkan transisi dari fase inisiasi menuju fase maturitas sistem, ketika sel-sel konvektif bergabung membentuk struktur linear yang luas. Menurut Houze (2004), QLCS umumnya dicirikan oleh *updraft* menengah–atas yang kuat dan kontinu, yang mendukung pembentukan presipitasi lebat dan luas [23]. Selain itu, struktur vertikal ω yang memanjang secara temporal mengindikasikan bahwa sistem konvektif tidak bersifat sesaat, melainkan memiliki mekanisme regenerasi yang memungkinkan sistem bertahan selama beberapa jam [25].

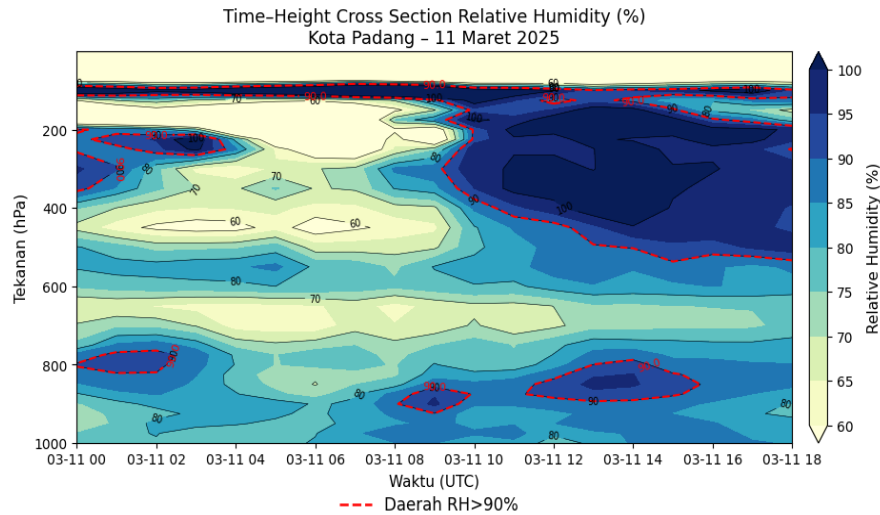


Gambar 2. Streamline Lapisan 900 hPA, 11 Maret 2025.



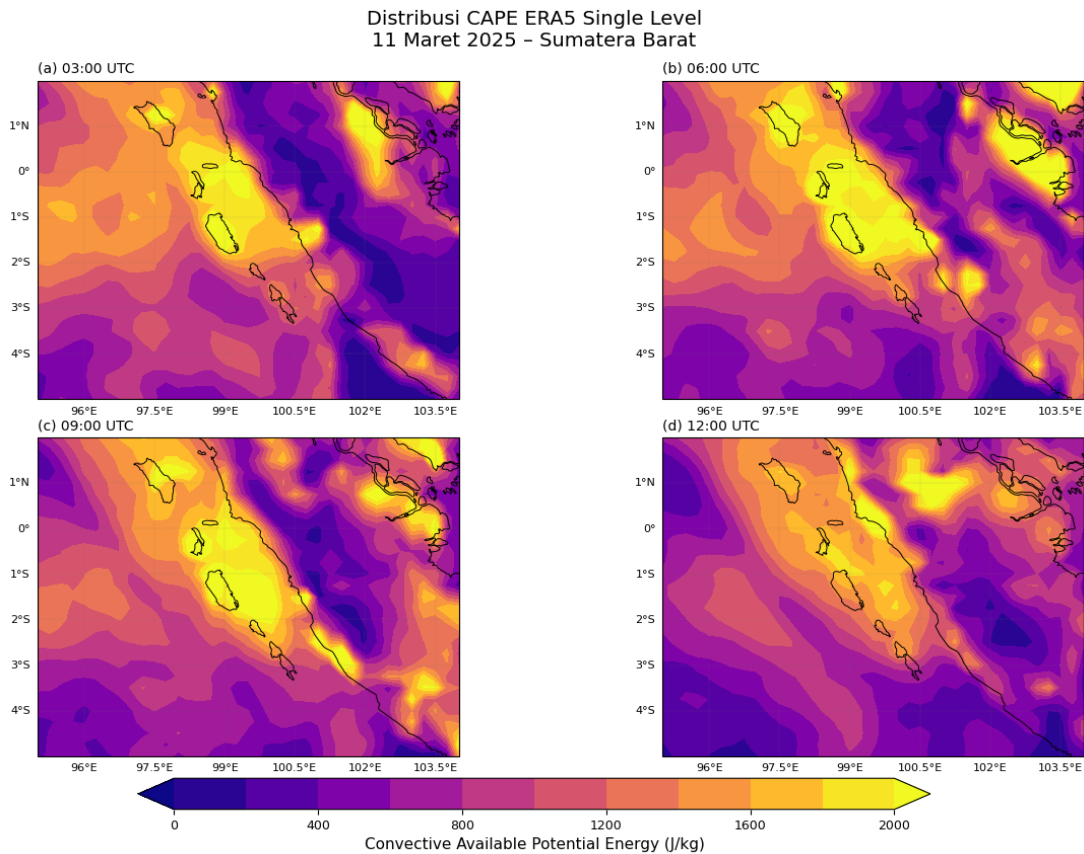
Gambar 3. Vertical velocity (Pa/s) Kota Padang, 11 Maret 2025.

Distribusi kelembapan relatif vertikal (Gambar 4) menunjukkan kondisi atmosfer yang sangat lembap, khususnya pada daerah garis merah putus-putus ($RH > 90\%$) selama periode intensifikasi konveksi. Kolom atmosfer yang lembap ini berperan penting dalam mengurangi entrainment udara kering ke dalam *updraft*, sehingga memungkinkan arus naik tetap kuat dan stabil. Kelembapan menengah yang tinggi telah diidentifikasi sebagai salah satu faktor pendukung utama bagi keberlangsungan sistem konvektif terorganisir di daerah tropis [21, 22]. Pada kasus ini, keberadaan lapisan lembap yang tebal memperkuat proses kondensasi dan pembentukan hidrometeor, yang selanjutnya meningkatkan efisiensi presipitasi serta memperluas area hujan stratiform di belakang garis konvektif, sebuah karakteristik khas QLCS.



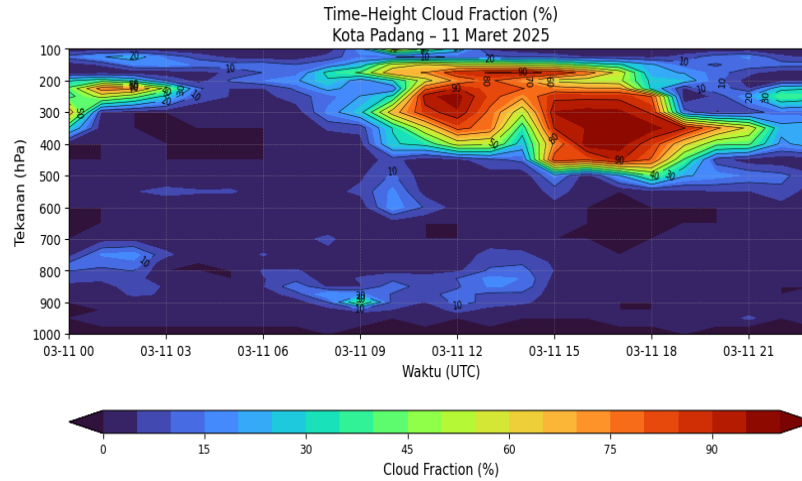
Gambar 4. Relative humidity (%) Kota Padang, 11 Maret 2025.

Hasil analisis CAPE menunjukkan nilai sedang hingga tinggi (sekitar 1000–2000 J/kg) di wilayah Sumatera Barat dan perairan sekitarnya sebelum dan selama fase awal kejadian QLCS (Gambar 5). Nilai CAPE yang cukup besar ini mengindikasikan tersedianya energi potensial yang memadai untuk mendukung pertumbuhan *updraft* kuat ketika terdapat mekanisme pemicu seperti konvergensi lapisan bawah. Menurut Doswell dan Rasmussen (1994), CAPE merupakan indikator penting potensi konveksi, meskipun pelepasannya sangat bergantung pada keberadaan *forcing* dinamis [28]. Penurunan CAPE setelah fase puncak konveksi pada kasus ini menunjukkan bahwa energi tersebut telah dikonversi menjadi energi kinetik melalui proses konvektif aktif, konsisten dengan karakter sistem QLCS yang efisien dalam mengonsumsi energi termodinamika lingkungan [20, 23].



Gambar 5. Distribusi CAPE Sumatera Barat, 11 Maret 2025.

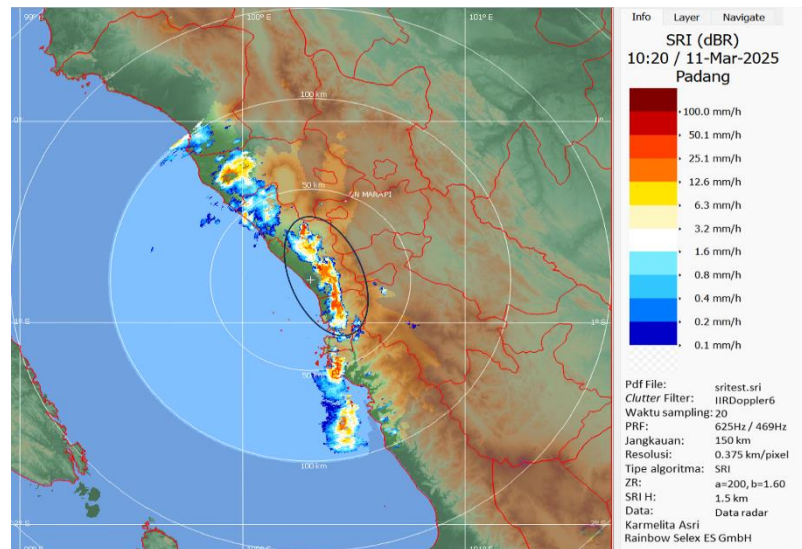
Penampang waktu–tinggi *cloud fraction* di Kota Padang (Gambar 6) memperlihatkan peningkatan signifikan fraksi awan pada lapisan menengah hingga atas (>60–90%) selama periode puncak konveksi. Pola ini mengindikasikan dominasi awan kumulonimbus dengan perkembangan vertikal yang kuat serta pembentukan area stratiform yang luas di belakang garis konvektif. Menurut Houze (2004), QLCS umumnya menghasilkan tutupan awan luas pada lapisan atas akibat divergensi *anvil* dan presipitasi stratiform. Konsistensi antara peningkatan *cloud fraction*, penguatan *updraft* (ω negatif), serta kelembapan tinggi menunjukkan keterkaitan erat antara proses dinamika, termodinamika, dan mikrofisika awan dalam mempertahankan sistem konvektif ini [27].



Gambar 6. Distribusi *cloud fraction* Kota Padang, 11 Maret 2025.

3.3 Dampak QLCS

Dinamika atmosfer yang bervariasi berperan penting dalam menentukan besarnya dampak kejadian QLCS terhadap kondisi cuaca di wilayah penelitian. Dampak QLCS dianalisis melalui produk SRI radar cuaca seperti ditunjukkan pada Gambar 7, yang mengestimasi intensitas curah hujan permukaan berdasarkan hubungan reflektivitas–curah hujan Z–R Marshall–Palmer, kemudian dikaitkan dengan kondisi dinamika atmosfer yang telah dibahas sebelumnya. Pada fase pertumbuhan, sistem QLCS menunjukkan intensitas curah hujan maksimum sebesar $38,0 \text{ mm jam}^{-1}$. Nilai ini sejalan dengan hasil analisis dinamika atmosfer yang menunjukkan berkembangnya inti-inti konvektif awal, ditandai oleh penguatan *updraft* dan peningkatan nilai reflektivitas radar. Intensitas curah hujan mencapai nilai tertinggi pada fase matang, dengan maksimum sebesar 51 mm jam^{-1} yang terjadi pada pukul 10.20 UTC, ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Citra radar cuaca (SRI) di Stasiun Meteorologi Minangkabau, Padang, 11 Maret 2025.

Peningkatan intensitas ini mengindikasikan bahwa sistem QLCS telah berkembang secara optimal, didukung oleh kondisi dinamika atmosfer yang kuat pada lapisan 700–400 hPa. Pada lapisan tersebut, nilai CAPE teridentifikasi pada kategori sedang hingga tinggi, yakni sekitar 1000–2000 J kg⁻¹, yang mendukung terbentuknya *updraft* konvektif yang intens. Keberadaan *updraft* kuat yang teramati pada penampang vertikal. Terdapat peningkatan *cloud fraction* pada lapisan menengah hingga atas, mengonfirmasi terbentuknya sistem konvektif terorganisasi berskala mesoskal. Hal ini sejalan dengan penelitian Kirkpatrick dkk. (2011) yang menyatakan bahwa nilai CAPE sekitar 2000 J kg⁻¹ secara signifikan mendukung pembentukan *updraft* kuat dan sistem konvektif terorganisasi, sehingga meningkatkan potensi hujan lebat dalam waktu singkat [29].

4. Kesimpulan

Kejadian QLCS di Sumatera Barat pada 11 Maret 2025 teridentifikasi sebagai sistem konvektif terorganisir berskala mesoskal yang memenuhi kriteria QLCS, dengan panjang sistem 56.81 km dan lebar 8.10 km, reflektivitas maksimum 53 dBZ, serta durasi hidup sekitar 60 menit. Pembentukan dan perkembangan sistem ini dipicu oleh konvergensi angin lapisan bawah yang persisten di wilayah pesisir dan perairan barat Sumatera Barat, yang berperan sebagai mekanisme pengangkatan awal massa udara lembap. Kondisi atmosfer yang tidak stabil dan sangat lembap, ditunjukkan oleh nilai CAPE sedang hingga tinggi (1000–2000 J kg⁻¹), kelembapan relatif tinggi pada lapisan menengah, serta keberadaan *updraft* kuat dan berkelanjutan, mendukung intensifikasi konveksi dan terbentuknya struktur linear yang matang. Dampak utama QLCS berupa hujan lebat hingga sangat lebat dengan intensitas maksimum 51 mm jam⁻¹ terjadi pada fase matang sistem, sementara penurunan intensitas hujan pada fase peluruhan berkaitan dengan melemahnya *updraft* dan meningkatnya dominasi presipitasi stratiform. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa interaksi antara *forcing* dinamika mesoskal dan lingkungan termodinamika yang mendukung merupakan faktor pendukung dalam pembentukan dan dampak QLCS di wilayah Padang, Sumatera Barat.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kami ucapkan kepada seluruh Civitas Akademik Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika khususnya program studi Meteorologi atas bantuan ilmu dan bimbingan dalam penulisan ini.

Pustaka

- [1] Syaifullah D 2010 Potensi Atmosfer dalam Pembentukan Awan Konvektif pada Pelaksanaan Teknologi Modifikasi Cuaca di DAS Singkarak 2010
- [2] Maddox R A 1980 Mesoscale Convective Complexes *Bulletin of the American Meteorological Society* 61 1374–400
- [3] Trapp R J, Stumpf G J and Manross K L 2005 A Reassessment of the Percentage of Tornadic Mesocyclones 680–7
- [4] Gallus W A J, Snook N A and Johnson E V. 2008 Spring and Summer Severe Weather Reports over the Midwest as a Function of Convective Mode : A Preliminary Study 101–13
- [5] Lombardo K A and Colle B A 2010 The Spatial and Temporal Distribution of Organized Convective Structures over the Northeast and their Ambient Conditions *Monthly Weather Review* 138 4456–74
- [6] Septian A, Elvarani A Y, Putri A S, Maulia I and Damayanti L 2020 Identifikasi Zona Potensi Banjir Berbasis Sistem Informasi Geografis Menggunakan Metode Overlay dengan Scoring di Kabupaten Agam , Sumatera Barat 1 11–22
- [7] Rais A F, Yunita R and Hananto S 2021 Pengaruh Mesoscale Convective System terhadap Hujan Ekstrem Pesisir Barat Sumatra 35 9–13
- [8] Mulya A and Maulana R F 2022 Karakteristik Quasi-Linear Convective System Menggunakan Radar Cuaca di Pontianak Tahun 2019 11 104–12
- [9] Abubakar A S, Subaer and Husain 2024 Analysis of Quasi Linear Convective System (QLCS) Based on Doppler Weather Radar in The South Sulawesi Region 07 508–21
- [10] Khoirunnisa A, Umul R, Fadillah N, Muaya M, and Puspita F 2019 Kajian Quasi Linear Convective System Di Bengkulu Pada Tanggal 10 November 2017 Menggunakan WRF-ARW 15–24

- [11] Arrashid H, Sucahyono D, Haryanto Y D and Qomariyatuzzamzami L N 2023 Kondisi Dinamika Atmosfer saat Hujan Lebat di Kalimantan Selatan (Periode 12 – 17 Januari 2021) 4 32–44
- [12] Cekarus J D, Ariel M, Muharram T and Donni Y 2025 Analisis Dinamika Atmosfer Kejadian Hujan Lebat Di Surabaya 30 Maret 2023 10 26–37
- [13] Hersbach H, Bell B, Berrisford P, Hirahara S, Horányi A, Nicolas J, Peubey C, Radu R, Bonavita M, Dee D, Dragani R, Flemming J, Forbes R, Geer A, Hogan R J, Janisková H M, Keeley S, Laloyaux P, Cristina P L and Thépaut J 2020 The ERA5 global reanalysis 1999–2049
- [14] Siregar M A R and Rejeki H A 2023 Identifikasi Quasi-Linear Convective System Menggunakan Radar C-Band di Wilayah Makassar (Studi Kasus Desember 2018 – Mei 2019) Identification Of Quasi-Linear Convective Systems Using C-Band 14 16–25
- [15] Marshall J S, Langille R C and Palmer W M K 1947 Measurement of Rainfall by Radar *Journal of Meteorology* 4 186–92
- [16] Muzayanah L F, Permana D S, Praja A S, Wulandari E S and Hanggoro W 2016 Extreme Rainfall Analysis using Radar-based Rainfall Estimates, Ground Observation and Model Simulation in West Sumatra (Case Study: Padang Floods on June 16, 2016) *Conference: International Symposium on the 15th Anniversary of the Equatorial Atmosphere Radar (EAR)*
- [17] Ardiyanto L, Hanif A M, Alfaridzi M and Ariwibowo S 2019 Estimasi Curah Hujan Radar Cuaca dengan Hubungan Z-R Berbeda pada Tipe Awan Hujan Konvektif dan Stratiform di Lampung 51–60
- [18] Holton J R 2004 *An Introduction to Dynamic Meteorology Fourth Edition*
- [19] Stull R B 1988 *An Introduction to Boundary Layer Meteorology*
- [20] Bolton D 1980 The Computation of Equivalent Potential Temperature
- [21] Sundqvist H 1978 A parameterization scheme for non-convective condensation including prediction of cloud water content 677–90
- [22] Lombardo K A and Colle B A 2012 Ambient Conditions Associated with the Maintenance and Decay of Quasi-Linear Convective System Crossing the Northeastern U.S. Coast *Monthly Weather Review* 140 3805–19
- [23] Houze R A 2004 Mesoscale Convective Systems 1–43
- [24] Houze R A 2014 *Cloud Dynamics Volume 104 Second Edition 2nd Edition Robert A Houze Jr* vol 104
- [25] Weisman M L and Rotunno R 2004 ““ A Theory for Strong Long-Lived Squall Lines ”” Revisited
- [26] Schumacher R S and Johnson R H 2005 Organization and Environmental Properties of Extreme-Rain-Producing Mesoscale 961–76
- [27] Tao W, Lang S, Zeng X, Shige S and Takayabu Y 2016 Convective and Stratiform Precipitation Processes and their Relationship to Latent Heating
- [28] Doswell C A I and Rasmussen E N 1994 The Effect of Neglecting the Virtual Temperature Correction on CAPE Calculations
- [29] Kirkpatrick C, Mccaul E W J and Cohen C 2011 Sensitivities of Simulated Convective Storms to Environmental CAPE 3514–32.