

LABILITAS ATMOSFER TERKAIT KEJADIAN HUJAN ES (STUDI KASUS HUJAN ES DI SINDANG DATARAN BENGKULU TANGGAL 25 JUNI 2021)

ATMOSPHERIC LABILITY RELATED TO THE HAIL (CASE STUDY OF HAIL AT SINDANG DATARAN BENGKULU ON JUNE 25, 2021)

Dodi Ardiansyah^{1*}

¹⁾Stasiun Meteorologi Fatmawati Soekarno Bengkulu
Jl. Depati Payung Negara Kel. Pekan Sabtu Kec. Selebar Bengkulu, 38213
*Email : ardidodi80@gmail.com

ABSTRAK

Hujan es merupakan fenomena cuaca ekstrim yang jarang terjadi di daerah Indonesia dikarenakan lapisan beku (*freezing level*) yang relatif lebih tinggi dari negara lainnya. Umumnya kejadian ini terjadi ketika suatu wilayah sedang mengalami musim peralihan. Cuaca yang sangat panas dengan penguapan yang tinggi dapat saja memicu terjadinya pembentukan hujan es. Namun perubahan dari unsur cuaca lainnya juga dapat juga menjadi penyebab seperti tekanan udara, kelembaban, labilitas udara. Pada tanggal 25 Juni 2021 sekitar pukul 13.10 WIB terjadi hujan es di Desa IV Suku Menanti Kecamatan Sindang Dataran Kabupaten Rejang Lebong. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kondisi labilitas atmosfer saat kejadian hujan es menggunakan data Angin Gradien, Sinoptik, dan Radiosonde untuk melihat kondisi umum labilitas udara di Propinsi Bengkulu dimana kondisi udara saat kejadian dalam keadaan tidak stabil. Analisa Citra Satelit Himawari-8 digunakan dengan melihat suhu puncak awan yang menunjukkan adanya awan konvektif Cumulonimbus dengan nilai suhu puncaknya -56.7°C . Metode analisa lainnya dilakukan dengan menggunakan data Reanalisis-Copernicus Climate Data Store (CCDS) berupa parameter Vortisitas, Divergensi dan Kelembaban Udara. Berdasarkan analisa yang dilakukan didapatkan nilai vortisitas negatif pada lapisan 950 mb yang berarti adanya sirkulasi konsentrasi massa udara bagian bawah. Divergensi pada lapisan 850 mb menunjukkan nilai negatif sementara pada lapisan 500 mb divergensi menunjukkan nilai positif, hal ini mengidentifikasikan adanya konvergensi massa udara bagian bawah dan udara terberai di lapisan atasnya. Kelembaban udara berada pada rentang 87-92% yang ideal untuk pembentukan awan konvektif. Identifikasi menggunakan data Radar Cuaca dilakukan dengan melihat pola reflectivity dan pola radial velocity. Berdasarkan pengamatan radar cuaca doppler, konveksi saat kejadian hujan es pada pukul 06.10 UTC mempunyai nilai reflektivitas hingga 60 dBZ. Identifikasi data radar sangat baik digunakan untuk melihat pola reflektivitas saat kejadian hujan es agar dapat memberikan informasi peringatan dini.

Kata Kunci : Cuaca Ekstrim, Hujan Es, Radiosonde, Satelit Himawari-8, CCDS, Radar Cuaca

1. Pendahuluan

Hujan es adalah presipitasi yang terdiri dari bola-bola es berukuran lebih dari 5 mm yang terbentuk dalam awan

cumulonimbus [1]. Hail hanya akan terbentuk pada awan cumulonimbus yang puncaknya melewati *freezing level* (ketinggian dimana suhu udaranya 0°C atau sekitar 16.000 kaki

di wilayah Indonesia) sedangkan untuk terjadinya awan Cumulonimbus (Cb) kondisi cuaca harus mendukung dengan labilnya lapisan udara mudah terjadi proses konveksi ditambah harus ada suplai uap air yang cukup sehingga massa udara yang terangkat oleh proses konveksi mengandung uap air yang banyak dan akan mempermudah terbentuknya awan cumulus yang berkembang menjadi awan Cb [2].

Awan Cumulonimbus (Cb) adalah awan Cumulus yang besar, ganas, menjulang tinggi sebagai awan hujan yang disertai angin kencang dan petir. Dalam awan Cumulonimbus dapat terjadi batu es (hail), guruh, kilat, hujan deras yang bisa muncul dimana saja karena pemanasan matahari atau gerak vertikal, di tanah lapang atau tempat terbuka panas matahari akan berlebih sehingga dalam kondisi ini tekanan menjadi rendah dan massa udara akan berpindah ke daerah tekanan rendah tersebut [3].

Mekanisme pembentukan hail dalam awan Cumulonimbus telah menjadi penelitian yang sangat menarik selama ini [4,5,6]. Telah banyak penelitian dan metode untuk mengkaji kejadian hujan es diantaranya pengamatan hujan es menggunakan radar cuaca [7,8,9]. Hujan es juga dapat dideteksi dengan menggunakan penginderaan jarak jauh [10]. Satelit *Himawari-8* merupakan satelit pengembangan dari satelit MTSAT-2. Satelit ini dikembangkan oleh *Japan Meteorology Agency (JMA)* yang diluncurkan pada tahun 2014 dan mulai dioperasikan tahun 2015. Pemanfaatan data satelit *Himawari-8* dapat mempermudah dalam menganalisa keadaan atmosfer saat kejadian hujan es [11].

Data model (reanalisis) *Copernicus Climate Data Store (CCDS)*

merupakan suatu wadah yang menyediakan informasi tentang iklim di masa lalu, sekarang, dan prediksi iklim di masa yang akan depan [12]. Data CDSS dapat memberikan informasi *spatial, intitudinal* dan *temporal* terkait kondisi dinamika atmosfer [13].

Fenomena hujan es mempunyai hubungan yang erat dengan labilitas udara atau kondisi atmosfer. Kondisi labilitas udara tersebut dapat juga diidentifikasi keadaannya dengan menggunakan data *radiosonde*.

Penelitian ini dilakukan untuk membahas lebih lanjut kondisi labilitas atmosfer terkait kejadian hujan es yang terjadi di desa IV Suku Menanti Kecamatan Sindang Dataran kecamatan Rejang Lebong Bengkulu pada tanggal 25 Juni 2021 sekitar pukul 13.10 WIB. Berdasarkan analisa faktor cuaca skala *regional, local*, menggunakan data Sinoptik, satelit *Himawari-8*, CDSS, *Upper Air Sounding* dan Radar Cuaca.

2. Data dan Metodologi

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data *Copernicus Climate Data Store (CCDS) reanalysis data*. Reanalisis merupakan Analisis ulang menggabungkan data model dengan pengamatan dari seluruh dunia ke dalam kumpulan data yang lengkap dan konsisten secara global menggunakan hukum fisika. Prinsip ini, yang disebut asimilasi data, didasarkan pada metode yang digunakan oleh pusat prediksi cuaca numerik, dimana setiap beberapa jam dari prakiraan sebelumnya digabungkan dengan pengamatan baru yang tersedia secara optimal untuk menghasilkan perkiraan terbaik keadaan atmosfer terbaru. Data CCDS diekstrak dan diolah menggunakan bahasa pemrograman *python*.

Data citra satelit *Himawari-8* kanal *infrared* dengan panjang gelombang 3.9 μm (I4), 6.2 μm (WV), 10.8 μm (IR), serta *visible* dengan panjang gelombang 0.64 μm (VS) tanggal 25 Juni 2021 pukul 06 UTC sampai dengan 09 UTC dengan resolusi $0.02^\circ \times 0.02^\circ$ yang diperoleh dari BMKG Bidang Pengelolaan Citra Inderaja. Data diolah menggunakan bahasa python dan aplikasi *SATAID (Satellite Animation and Interactive Diagnosis)*. *SATAID* adalah tampilan perangkat lunak canggih yang memvisualisasikan informasi meteorologi dalam berbagai dimensi (spasial, dan temporal), yang membantu prakirawan untuk menganalisis dan memantau secara terus-menerus parameter dan fenomena cuaca [14].

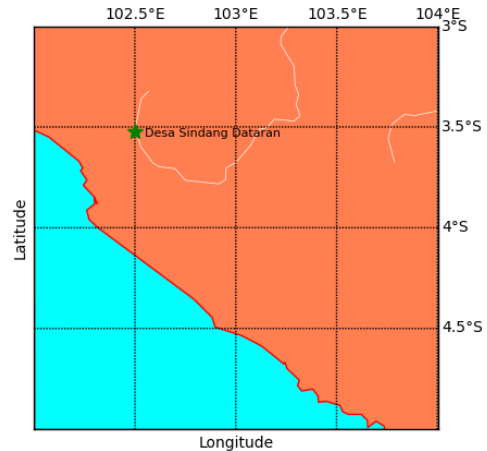
Data radar cuaca *C-band Gematronik 635-C* Stasiun Meteorologi Fatmawati Soekarno Bengkulu *single polarization* digunakan untuk melihat kejadian hujan es. Beberapa produk yang digunakan PPI, CMAX, CMAX Velocity. Beberapa pola reflektivitas kuat yang biasa muncul pada kejadian hujan es bisa berupa pola *Weak Echo Region (WER)*, *Three Body Scatter Spike*, *A Tight Low-Level Reflectivity Gradient*, *Very High Reflectivity* [15].

Data sinoptik dari stasiun Geofisika Kepahyang dan data *upper air sounding* pada stasiun meteorologi Fatmawati Soekarno Bengkulu digunakan untuk melihat tingkat labilitas udara pada saat kejadian hujan es. Walaupun data tidak berada dekat dengan tempat kejadian namun data digunakan untuk melihat gambaran umum pendekatan kondisi labilitas udara. Untuk menganalisis kondisi labilitas udara pada saat kejadian hujan es data *radiosonde* diolah menggunakan bahasa

pemrograman *python* sehingga dapat dilihat parameter nilai indikasi labilitas udara seperti CAPE, KI, LI, SI, TTI.

3. Hasil dan Pembahasan

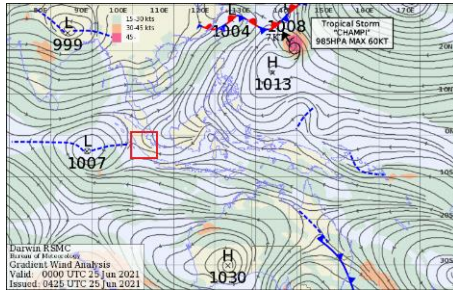
a. Lokasi Kejadian



Gambar 1. Lokasi Kejadian.

Gambar 1 menunjukkan peta lokasi tempat kejadian hujan es pada tanggal 26 Juni 2021 kurang lebih jam 13.10 WIB yang didapat berdasarkan laporan masyarakat ke BMKG serta dari berbagai media online serta media sosial. Menurut keterangan Priyono alias Gabren (29), salah seorang warga Desa IV Suku Menanti jika hujan es ini terjadi setelah pelaksanaan Shalat Jumat, dengan durasi sekitar 20 menit. Kalak BPBD Rejang Lebong, M. Budianto menerangkan bahwa fenomena hujan es di wilayah itu, merupakan salah satu dampak dari cuaca ekstrim yang terjadi belakangan ini. Kejadian itu sendiri, sebelumnya juga sudah beberapa kali terjadi terutama di kawasan lereng Bukit Kaba serta di kawasan Kota Curup.

b. Analisa Angin Gradien dan Sinoptik



Gambar 2. Angin Gradien 00.00 UTC (sumber : bom.gov.au).

Analisa angin gradien pada tanggal 25 Juni 2021 pukul 00.00 UTC yang dikeluarkan BOM menunjukkan bahwa terdapat daerah belokan angin (*shearline*) di Propinsi Bengkulu yang bergerak dari timur kemudian berbelok ke utara. Hal ini menyebabkan terjadinya perlambatan aliran massa udara. Perlambatan massa udara dikarenakan *shearline* mengakibatkan penumpukan massa uap air yang berpotensi untuk tumbuhnya awan-awan konvektif.

Tabel 1. Data Sinoptik Stasiun Geofisika Kepahyang

Jam (WIB)	Arah Angin	Kec. Angin (Knot)	Temp Udara (°C)	RH (%)	Tek. Udara (mb)
07.00	Barat	08	19.8	96	955.1
08.00	Barat Laut	08	20.6	93	955.5
09.00	Utara	10	23.2	87	955.5
10.00	Tenggara	10	25.0	82	955.4
11.00	Selatan	10	26.8	71	955.4
12.00	Barat Daya	10	28.2	72	955.3
13.00	Barat	10	29.0	72	953.4
14.00	Barat Laut	10	28.8	70	952.9
15.00	Barat Laut	10	27.8	75	952.8
16.00	Laut Selatan	08	26.6	81	953.0

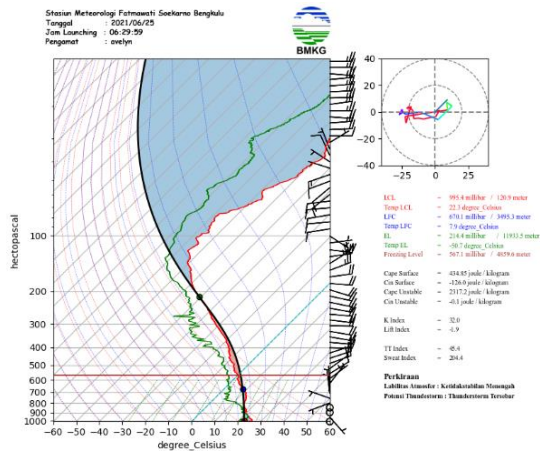
Data dalam tabel 1 menggambarkan kondisi cuaca permukaan dari pengamatan di Stasiun Geofisika Kepahyang yang merupakan stasiun

pengamatan cuaca terdekat dari daerah kejadian. Suhu udara mulai mengalami kenaikan yang cukup signifikan pada pukul 09.00 WIB hingga pukul 12.00 WIB. Kenaikan suhu udara menunjukkan adanya proses pemanasan dan penguapan. Kenaikan suhu yang cukup signifikan merupakan indikasi terjadinya konveksi yang cukup kuat dimana suhu permukaan lebih hangat dari pada suhu udara atmosfer di atasnya sehingga keadaan atmosfer di bagian atas menjadi tidak stabil. Kejadian hujan es di Desa IV Suku Menanti terjadi pukul 13.00 WIB suhu udara pada Stasiun Geofisika juga menunjukkan penurunan pada jam tersebut tekanan udara juga menunjukkan penurunan sebesar 1,9 mb pada pukul 12.00 WIB.

c. Analisa Data Radiosonde

Data *sounding* dimanfaatkan untuk menganalisa kondisi lokal dalam menggambarkan proses *konveksi* pada suatu wilayah. Berdasarkan data *radiosonde* dari Stasiun Meteorologi Fatmawati Soekarno yang diolah menggunakan bahasa pemrograman *python*, analisis indeks labilitas udara jam 00.00 UTC menunjukkan nilai *Lift Index (LI)* bernilai -1.9 hal ini menunjukkan kondisi bagian bawah troposfer tidak stabil terhadap bagian atasnya. Dengan demikian kecenderungan terjadinya konveksi cukup besar. Nilai *K-index (KI)* digunakan untuk melihat potensi terjadinya *thunderstorm*. Nilai K indeks 32.0 mengindikasikan kemungkinan terjadinya *thunderstorm* cukup kuat. Nilai *Total Totals (TT) index* digunakan untuk melihat area pengembangan dan kekuatan *thunderstorm*, nilai TT 45.4 menunjukkan kemungkinan terjadi *thunderstorm*. *SWEAT indeks (SI)*

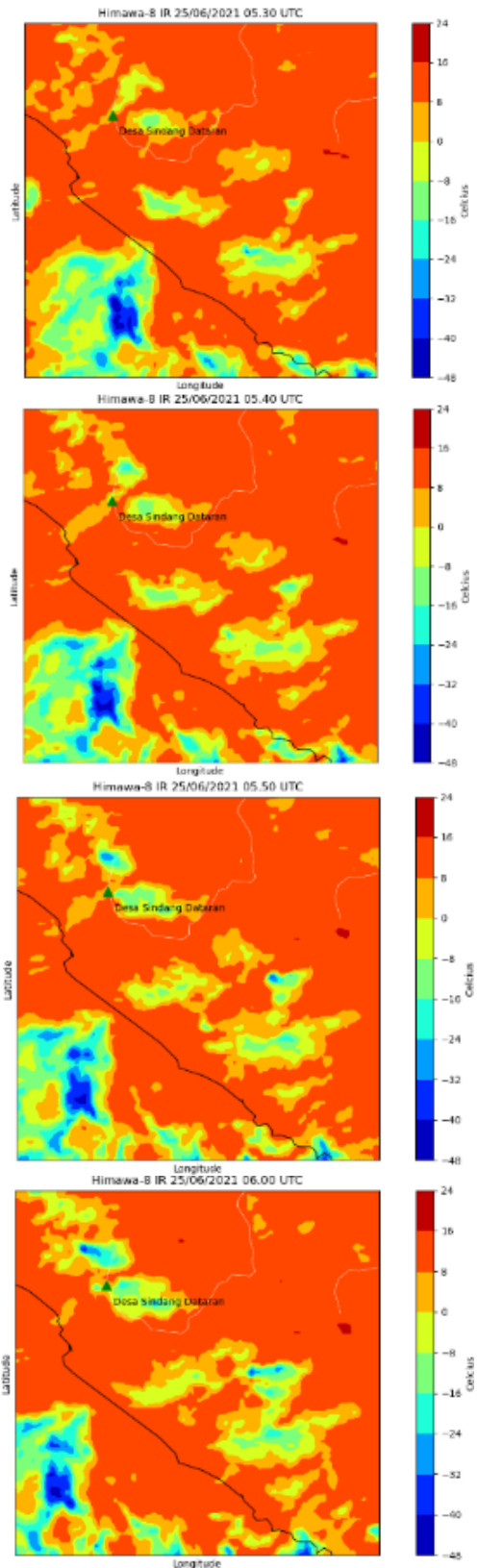
mengindikasikan area aktivitas konveksi yang dapat memberikan informasi potensi cuaca buruk. Nilai SWEAT indeks 204.4 yang berarti kemungkinan akan terjadinya cuaca buruk. Indikator lainnya yaitu Convective Available Potential Energy (CAPE), semakin besar nilai CAPE berarti kemungkinan terjadinya konveksi dan thunderstorm semakin cepat. Nilai CAPE 2317.2 mengindikasikan terjadinya thunderstorm cukup kuat. Data radiosonde pada pukul 00.00 UTC menunjukkan keadaan atmosfer yang tidak stabil dimana kemungkinan terjadinya awan konvektif cukup besar.

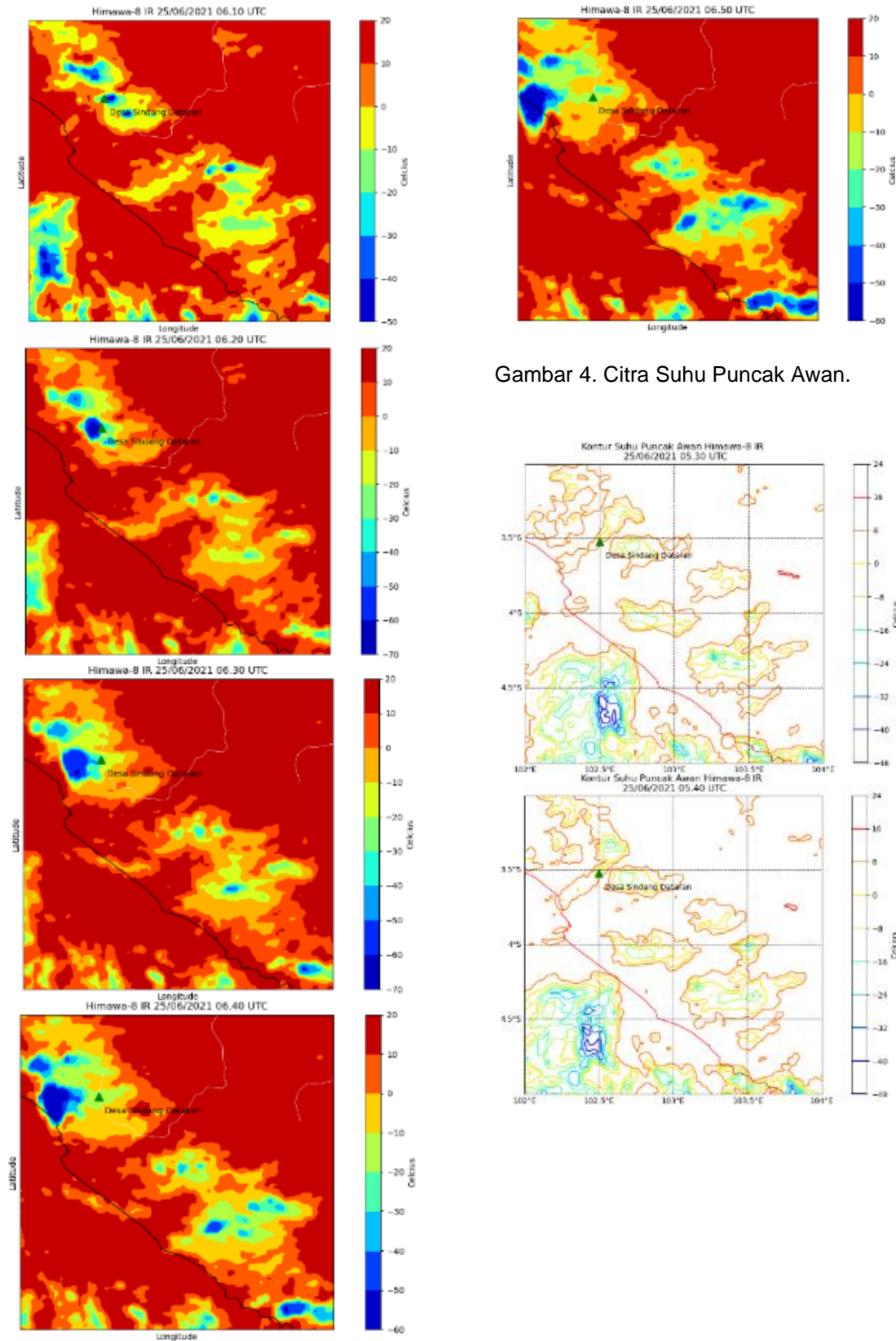


Gambar 3. Skew-T Radiosonde, Jam 00.00 UTC.

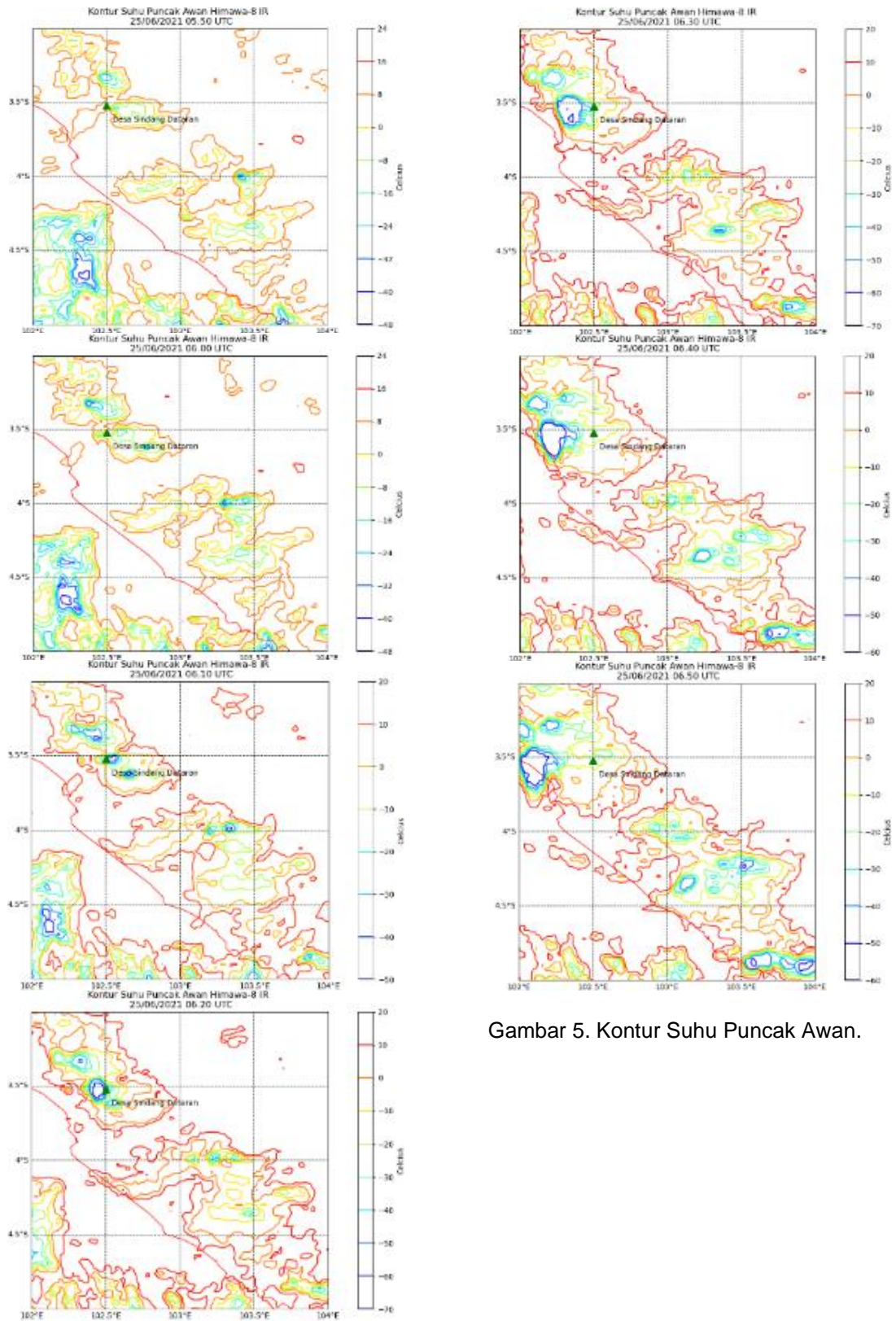
d. Analisa Citra Satelit Himawari-8

Data Citra satelit yang didapatkan dari pengelolaan citra satelit BMKG kanal IR dengan panjang gelombang 10.4 μm dan I2 dengan panjang gelombang 12.3 μm dalam format netcdf diolah menggunakan bahasa pemrograman python yang dapat dilihat pada gambar di bawah.

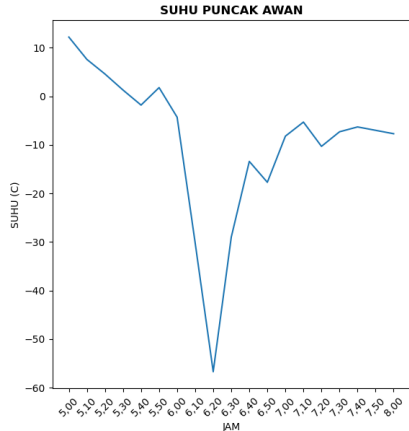




Gambar 4. Citra Suhu Puncak Awan.



Gambar 5. Kontur Suhu Puncak Awan.



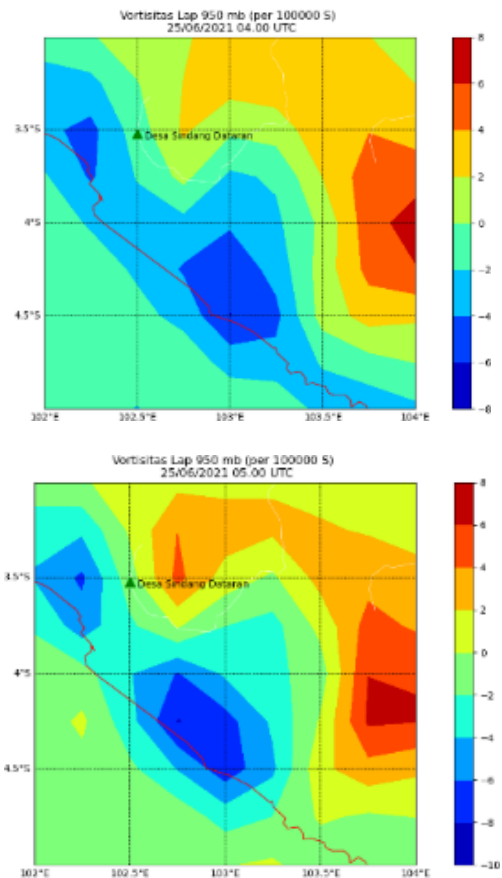
Gambar 6. Suhu Puncak Awan Jam 06.20 UTC.

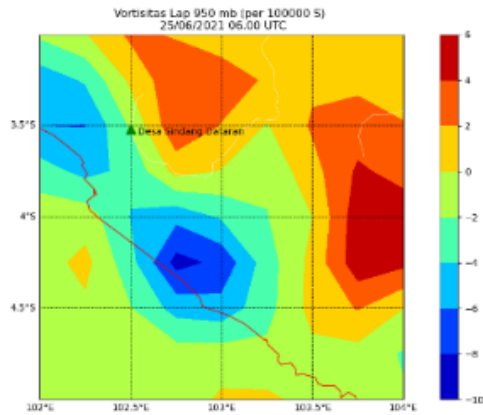
Analisa citra satelit dilakukan dengan melihat suhu puncak awan di tempat kejadian. Hujan es disebabkan oleh awan *Cumulonimbus* yang merupakan awan konvektif dan mempunyai suhu puncak awan yang dingin. Suhu awan yang dingin menyatakan adanya pembentukan partikel es pada awan konvektif tersebut. Pertumbuhan awan konvektif pada tempat kejadian terjadi mulai pukul 05.30 UTC. Berdasarkan data *time series* pada gambar 4, 5 dan 6 dapat dilihat bahwa pertumbuhan awan konvektif atau awan rendah muncul kemudian bergerak dari barat dimana suhu puncak awan mengalami penurunan $-1.8\text{ }^{\circ}\text{C}$ pada pukul 05.40 UTC (12.40 WIB). Penurunan yang signifikan mencapai $-56.7\text{ }^{\circ}\text{C}$ terjadi pada pukul 06.20 UTC (13.20 WIB) yang terlihat pada grafik *time series* suhu puncak awan dimana suhu mengalami penurunan secara drastis pukul 06.20 UTC, kondisi ini mengindikasikan adanya pertumbuhan awan Cb disertai butiran es di dalamnya. Kontur suhu puncak awan juga menunjukkan pempunan awan dingin yang menggambarkan awan konvektif dengan partikel es di dalamnya sehingga menyebabkan terjadinya hujan es.

e. Analisa Dinamika Atmosfer

1. Vortisitas

Nilai vortisitas erat kaitannya dengan pembentukan awan konvektif. Jika nilai vortisitas netral maka kemungkinan tidak ada pertumbuhan awan karena massa udara tidak membentuk pola konvergensi, jika bernilai positif massa udara akan membentuk divergensi sebaliknya jika bernilai negatif massa udara membentuk konvergen yang dapat memicu terjadinya pertumbuhan awan konvektif [16].



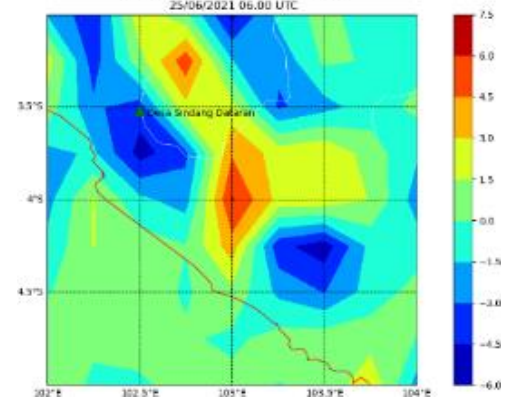
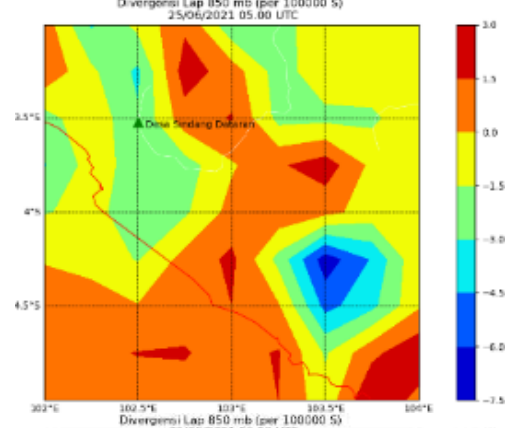
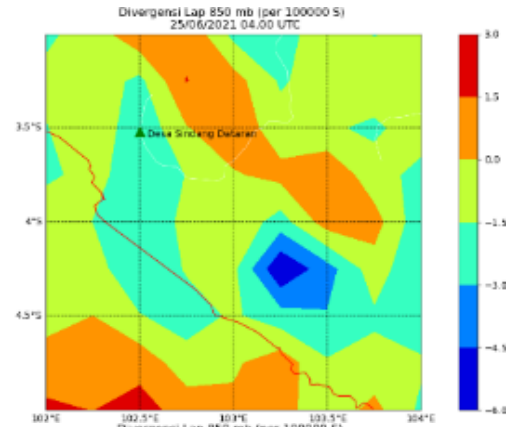


Gambar 7. Vortisitas Lap 950 mb.

Data vortisitas pada lapisan 950 mb yaitu lapisan yang paling dekat dengan ketinggian permukaan tempat kejadian hujan es menunjukkan nilai negatif mulai pukul 04.00 UTC. Pada gambar 7 dapat dilihat nilai negatif dari vortisitas menunjukkan bahwa massa udara yang masuk pada lapisan ini akan terkonvergensi karena massa udara bergerak secara siklonik dan membentuk awan-awan konvektif yang bisa menyebabkan terjadinya hujan es.

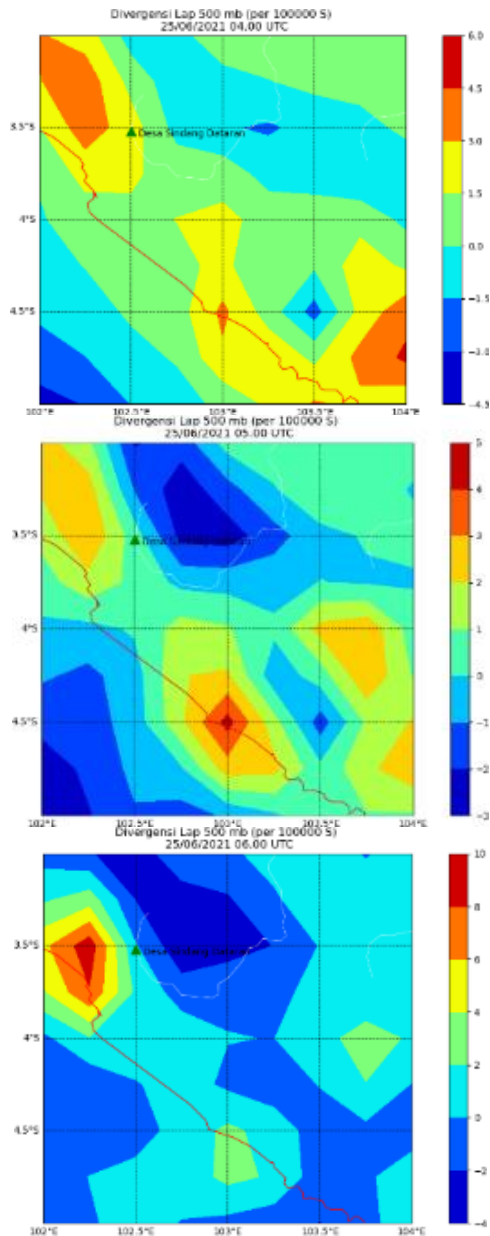
2. Divergensi

Daerah divergensi dapat dilihat dengan pergerakan *horizontal velocity* (kecepatan) angin dimana udara menyebar secara horizontal dari satu titik per meter persegi. Udara dikatakan menyebar jika nilai divergensinya bernilai positif dan jika bernilai negatif maka udara tersebut terkonsentrasi atau konvergen.



Gambar 8. Divergensi Lap 850mb pada jam 04,05,06 UTC.

Pada lapisan 850 mb di daerah kejadian divergensi bernilai negatif pada pukul 04, 05, 06 UTC. Nilai negatif menunjukkan bahwa terjadi proses konvergensi yang menyebabkan massa udara menjadi terkonsentrasi dan menimbulkan awan-awan konvektif.

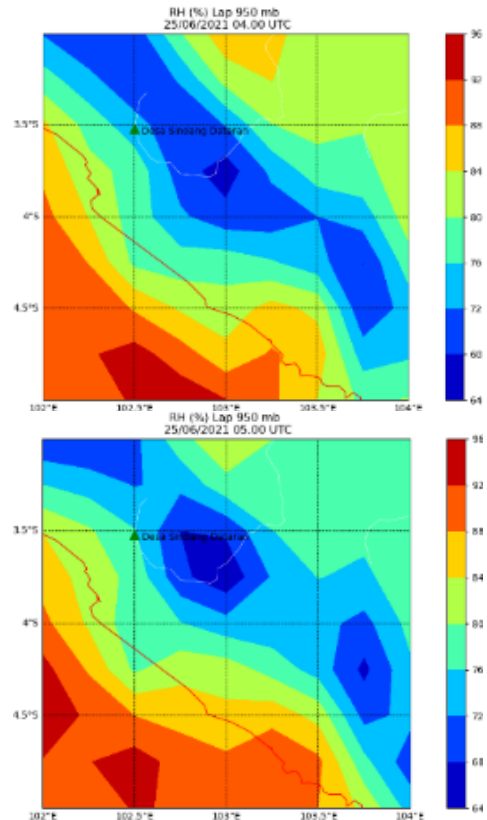


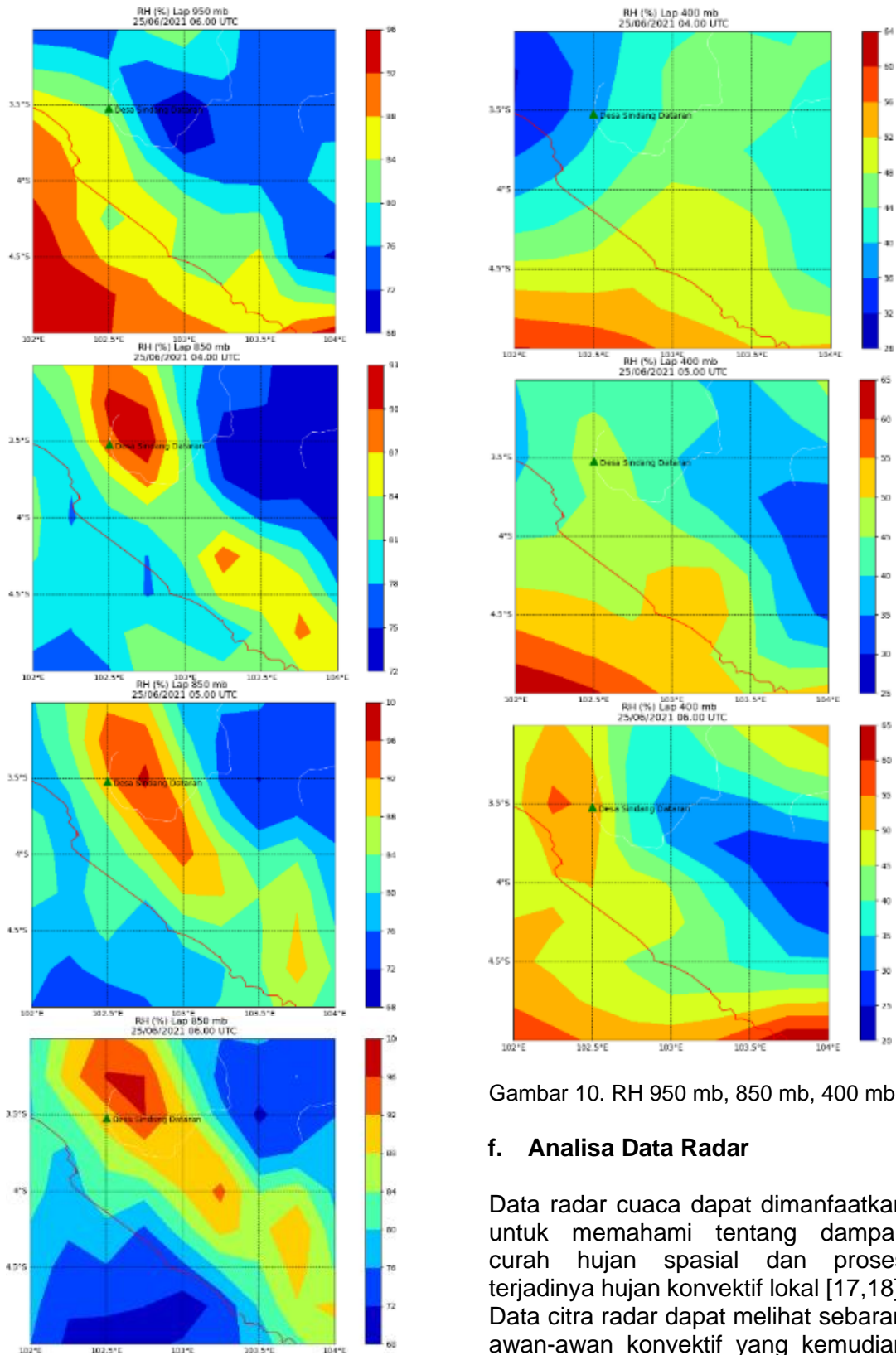
Gambar 9. Divergensi Lap 500mb pada jam 04,05,06 UTC.

Sedangkan pada lapisan 500 mb, divergensi bernilai positif yang berarti udara menjadi terberai atau menyebar. Dengan demikian proses awan-awan konvektif terbentuk pada lapisan bawah dan pada lapisan atas massa udara menyebar.

3. Relative Humidity (RH)

Dari gambar 10 di bawah dapat dilihat kondisi kelembaban udara di daerah kejadian. Kondisi atmosfer pada saat kejadian hujan es secara umum pada lapisan bawah dalam keadaan basah dan cenderung lebih kering pada lapisan atas. Pada lapisan 950 mb kelembaban berkisar 72% sampai 84%. Pada lapisan 850 mb kelembaban berkisar 87% sampai 92%. Sedangkan pada lapisan 400 mb kelembaban menjadi lebih kering yaitu 36 sampai 50%. Kondisi kelembaban udara pada lapisan bawah cukup ideal untuk mendukung perkembangan kemudian terbentuknya awan-awan konvektif.



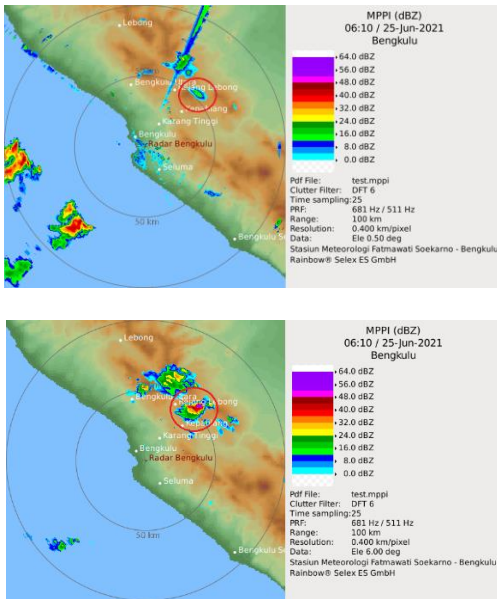


Gambar 10. RH 950 mb, 850 mb, 400 mb.

f. Analisa Data Radar

Data radar cuaca dapat dimanfaatkan untuk memahami tentang dampak curah hujan spasial dan proses terjadinya hujan konvektif lokal [17,18]. Data citra radar dapat melihat sebaran awan-awan konvektif yang kemudian

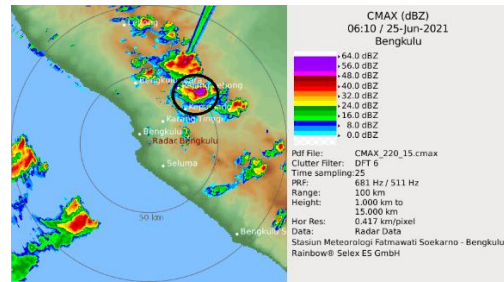
digunakan untuk interpretasi atau prakiraan cuaca jangka pendek. *Thunderstorm* dari awan konvektif yang kemudian menghasilkan hujan es dengan diameter 10 mm mempunyai nilai reflektivitas sebesar 57 dBZ [19]. Hujan es di daerah kejadian Kecamatan Sindang Dataran dapat diidentifikasi dengan menggunakan data radar seperti terlihat pada gambar di bawah.



Gambar 11. Citra radar produk PPI jam 06.10 UTC elevasi 0.5 dan 6.0.

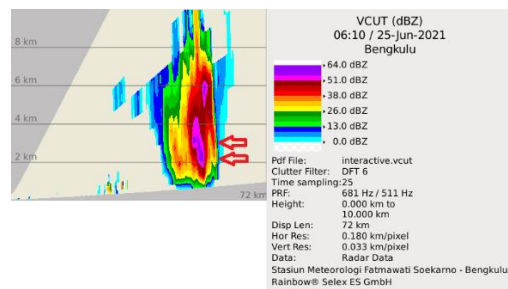
Pola *Weak Echo Region* merupakan pola dengan echo rendah dan diatasnya terdapat echo dengan reflektivitas tinggi. Pada pukul 06.10 UTC (gambar 11) di daerah kejadian hujan es terlihat sistem konvektif awan dengan nilai reflektivitas mencapai 60 dBZ. Di elevasi scan 0.5° reflektivitas dari awan bagian bawah berkisar 16 dbZ hingga 20 dBZ namun pada elevasi scan 6.0° bagian atas terlihat nilai reflektivitas yang besar yaitu 56 dBZ hingga 60 dBZ. Pada gambar citra radar produk MPPPI jam 06.10 UTC terlihat pola daerah sistem awan

konvektif dengan nilai reflektivitas rendah dan di atasnya dikelilingi dengan awan yang mempunyai nilai reflektivitas tinggi. Pola seperti ini menunjukkan terjadinya konveksi kuat yang dapat menyebabkan terjadinya hujan es.



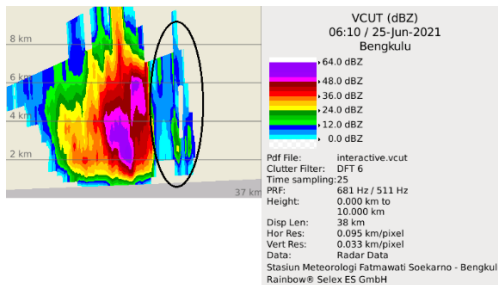
Gambar 12. Produk CMAX jam 06.10 UTC.

Pola *Very High Reflectivity* merupakan pola dengan reflektivitas yang paling tinggi. Subjek hidrometeor dari awan konvektif yang mempunyai nilai reflektivitas > 57 dBZ cenderung mengandung hailstone. Di beberapa kejadian nilai reflektivitas > 60 dBZ di bawah *freezing level* dapat mengindikasikan hujan es dalam jumlah yang besar. Pada citra radar CMAX (gambar 12 lingkaran warna hitam) nilai reflektivitas mencapai diatas 60 dBZ. Nilai reflektivitas >60 dBZ tersebut menandakan terdapat *hailstone* pada awan konvektif.



Gambar 13. Produk VCUT cross section reflektivitas konvektif jam 06.10 UTC.

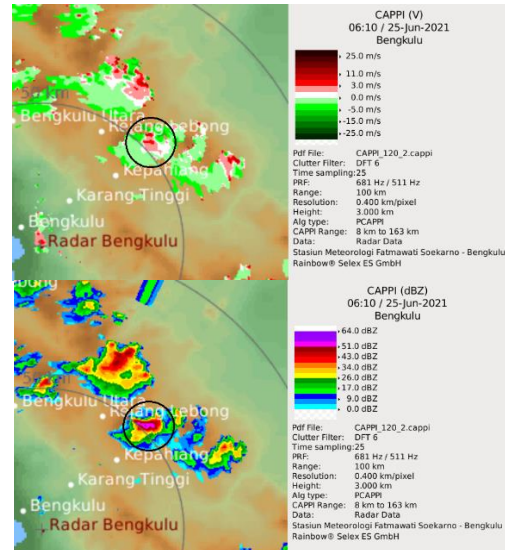
Pola *Tight Low-Level Reflectivity* merupakan pola yang mengacu kepada gradasi yang tajam antara reflektivitas rendah dengan reflektivitas tinggi. Melalui produk VCUT *cross section* CMAX(Z) (gambar 13), terlihat pola gradien reflektivitas yaitu gradasi perubahan pola reflektivitas secara tajam dari nilai reflektivitas rendah ke nilai reflektivitas yang tinggi (tanda panah merah). Pola seperti ini mengindikasikan terjadinya updraft yang kuat dan inflow yang membawa massa uap air ke bagian atas sehingga muncul awan konvektif.



Gambar 14. Cross section VCUT jam 06.10 UTC.

Pola *Three Body Scatter Spike* merupakan bentuk pola dengan reflektivitas rendah yang berada di samping inti sel awan konvektif. Pada lapisan tengah sel konvektif, partikel es terbentuk ideal pada suhu -10° C sampai dengan -30° C kemudian partikel es turun ke lapisan atmosfer bagian bawah, suhu lingkungan meningkat dan ukuran partikel es tidak berubah atau bahkan menjadi sedikit lebih besar sampai melewati *freezing level*. Pada ketinggian ini partikel es biasanya mempunyai ukuran terbesar sehingga menghasilkan nilai reflektivitas besar. Maka pola reflektivitas *echo* yang terjadi yaitu terdapat nilai reflektivitas *echo* yang rendah di samping inti sel konvektif (gambar 14 lingkaran warna hitam). Hal ini dikarenakan atenuasi dari

partikel es yang berada pada awan konvektif tersebut.



Gambar 15. Velocity dan CAPPI 06.10 UTC.

Citra radar dapat melihat dengan baik presipitasi di atmosfer kemudian mengukur perubahan frekuensi pulsa energi yang dipantulkan lalu mengubah perubahan tersebut menjadi kecepatan objek yang mendekat ataupun menjauhi radar yang dikenal sebagai *radial velocity* presipitasi. Pada gambar 15 atas (lingkaran warna hitam) terlihat pola *reflectivity* yang menunjukkan *diskontinuitas velocity* dimana nilai *velocity* berubah yang semula negatif menjadi positif kemudian negatif kembali. Pola seperti ini mencirikan bahwa pada daerah tersebut terjadi *downward velocity* yang kuat dan menghasilkan *downdraft* ke permukaan, sehingga partikel es pada awan konvektif terdorong kuat hingga ke permukaan.

4. Kesimpulan

Kejadian hujan es di desa Sindang dataran disebabkan oleh faktor

regional dan lokal yang mempengaruhi dinamika atmosfer pada daerah kejadian. Peta angin gradien menunjukkan adanya *shearline* (belokan angin) sehingga mengakibatkan terjadinya konsentrasi pempunan massa udara basah yang menimbulkan perkembangan awan konvektif. Data sinoptik dari stasiun geofisika terdekat menunjukkan terjadinya kenaikan suhu udara yang cukup signifikan mulai pukul 09.00 WIB hingga 12.00 WIB sehingga menyebabkan terjadinya penguapan yang cukup kuat. Parameter indeks dari data *radiosonde* juga menunjukkan labilitas udara yang cukup kuat, dimana nilai K indeks, TT indeks, Sweat indeks dan CAPE yang mengidentifikasi keadaan atmosfer yang tidak stabil dan memicu pertumbuhan awan konvektif yang mengakibatkan hujan es.

Berdasarkan Citra Satelit *Himawari-8*, suhu puncak awan mengalami penurunan hingga -56.7° C pada pukul 06.20 UTC yang mengindikasikan terdapat awan Cb saat terjadinya hujan es dengan *downdraft* ke bawah yang cukup kuat sehingga partikel es turun hingga ke permukaan. Kondisi labilitas atmosfer pada kejadian hujan es berupa vortisitas menunjukkan nilai negatif yang berarti terdapat sirkulasi vorteks siklonik di daerah kejadian. Analisa divergensi menunjukkan nilai negatif yang berarti terjadi konvergensi massa udara pada daerah kejadian serta kelembaban udara pada lapisan bawah berkisar 87% hingga 92% yang ideal untuk pembentukan awan konvektif. Hujan es terdeteksi oleh radar mempunyai nilai reflektivitas diatas 60 dBZ. Konvektif yang cukup kuat terjadi mulai pukul 05.30 UTC ditandai dengan pola *weak echo region*, *very*

high reflectivity, *tight low level reflectivity*, *three body scatter spike*. Dari data *velocity downdraft* yang cukup kuat juga terdeteksi pada pukul 06.10 UTC mencapai 15 m/s.

Daftar Pustaka

- [1] Timothy Raupach, Olivia Martius, John Allen, Michael Kunz (2021). The Effects of Climate Change on Hailstorm. *Article in Nature Reviews Earth & Environment* 2. 213-216.
- [2] Mimin Karmini (2000). Hujan Es (*HAIL*) di Jakarta, 20 APRIL 2000. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca* 1, Hal 27-32.
- [3] Schumann T.E.W (1983). The theory of hailstone formation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. Vol. 64, page 3-21[3] Urip Haryoko (2009). Laporan Kejadian Angin Kencang di Wilayah DKI Jakarta Tanggal 22 April 2009. Tangerang : BMKG 2009.
- [4] Ludlam, F. H (1958). The hail problem, *Nubila* Vol. 1, page 12-99.
- [5] Heymsfield . hail growth mechanism in a colorado storm : Part II : Hail Formation Processes, *Journal of Atmospheric Science* vol. 37, page 1779 – 1807.
- [6] Evan A. Kalina et. al (2016). Colorado plowable hailstorms: Synoptic weather, radar, and lightning characteristics, *Weather and Forecasting*, Vol. 37, Page 663-693.

- [7] Louis J. Battan.(1974). Doppler Radar Observations of a Hailstorm. Journal of applied meteorology and climatology. Vol 34, page 98-108.
- [8] Spiros G. Geotis (1962). Some Radar Measurements of Hailstorms. Journal of applied meteorology and climatology. Vol 2, page 270-275.
- [9] Abdullah Ali (2015). Identifikasi Kejadian Hujan Es Menggunakan radar Cuaca Doppler (Studi Kasus hujan Es Jakarta 22 April 2014 dan Denspasar 16 Desember 2010). Prosiding Seminar Nasional Sains Atmosfer (SNSA).
- [10] Elisa M. Murillo and Cameron R. Homeyer (2019). Severe Hail Fall and Hailstorm Detection Using Remote Sensing Observations. Journal of applied meteorology and climatology. Vol 58, page 947-970.
- [11] Jaka Anugrah Ivanda Paski, Donald S Permana, Alpon Sepriando (2017). Analisis Dinamika Atmosfer Kejadian Hujan Es Memanfaatkan Citra Radar dan Satelit Himawari-8 (Studi Kasus: Tanggal 3 Mei 2017 di Kota Bandung). Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-4. Hal 371.
- [12] Climate Copernicus (<https://climate.copernicus.eu/climate-data-store>), di akses 16 Nopember 2021.
- [13] Lucia Hermida, Jose L Sanchez, L. Lopez, Claude Berthet (2013). Climatic Trends in Hail Precipitation in France: Spatial, Altitudinal, and Temporal Variability. The Scientific World Journal 2013.
- [14] Akihiro Schimizu (2019). Practical Training on The Utilization of Himawari-8 Imagery using. Meteorological Satellite Center / Japan Meteorological Agency.
- [15] Meted (2011). *Radar Signature for Severe Convective Weather*. United States: COMET.
- [16] Tri Handoko Seto (2000). Jurnal sains dan Teknologi modifikasi Cuaca. Vol 1, No. 1.
- [17] Z. Sokol, Jan Szturc, Johanna Orellana-Alvear, Jana Popova (2021). The role of weather radar in rainfall estimation and its application in meteorological and hydrological modelling. Remote Sensing MDPI. Page 351.
- [18] Matan Karklinsky dan Efrat Morin, (2006). Spatial characteristics of radar-derived convective rain cells over southern Israel. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 15, No. 5, 513-520.
- [19] Laurent Feral, Henri Sauvageot and Serge Soula (2003). Hail Detection Using S- and C-Band Radar Reflectivity Difference. Journal of atmospheric and oceanic technology. Vol. 20, pages 233-248.