

Evolusi Awan Cumulonimbus Saat Hujan Lebat Berbasis Citra Satelit Cuaca dan Stabilitas Atmosfer (Studi Kasus Longsor Banjarnegara)

The Evolution of Cumulonimbus Causing Heavy Rain Based on Weather Satellite Imagery and Atmospheric Stability (Case Study Banjarnegara Landslide)

Ambinari Rachmi Putri^{*}, Venny Hearttiana, Aries Kristianto, Suyatim

Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika

^{*}E-mail: binambinari@gmail.com

ABSTRAK – BNP (2018) mencatat sebanyak 95% dari seluruh bencana yang terjadi di Indonesia adalah bencana hidrometeorologi. Wilayah yang mengalami bencana hidrometeorologi terbanyak adalah provinsi Jawa Tengah. Salah satu wilayah yang sering mengalami bencana hidrometeorologi (banjir dan longsor) adalah Kabupaten Banjarnegara. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik evolusi awan cumulonimbus yang menyebabkan hujan lebat dan berdampak pada longsor 25 September 2016 di Banjarnegara. Dengan mengetahui karakteristiknya, diharapkan potensi kerugian bencana hidrometeorologi di masa mendatang dapat lebih diminimalisir. Pada penelitian ini, citra satelit GSMaP dianalisis untuk mendapatkan wilayah dengan intensitas hujan lebat, citra satelit Himawari-8 kanal IR dianalisis untuk mendapatkan suhu puncak awan, parameter *vertical velocity* dari ECMWF dianalisis untuk mendapat karakteristik gerakan vertikal massa udara, dan indeks stabilitas atmosfer (LI dan CAPE) dianalisis untuk mendapatkan tingkat kestabilan atmosfer. Dari analisis didapat hasil bahwa Evolusi awan pemicu hujan lebat dicirikan dengan 3 tahap pertumbuhan awan yaitu tahap tumbuh, matang dan punah. Fase pertumbuhan ditandai dengan curah hujan yang mencapai nilai 4 mm/jam pada citra satelit GSMaP, nilai CAPE mencapai 1475 dan LI sebesar -4, suhu puncak awan mencapai -40°C, dan nilai *vertical velocity* sebesar -0.2 Pa/s yang menunjukkan terjadinya *updraft*. Fase matang ditandai dengan curah hujan yang mencapai nilai 6 mm/jam pada citra satelit GSMaP, nilai CAPE mencapai 993 dan LI sebesar -3, suhu puncak awan mencapai -70°C, dan nilai *vertical velocity* sebesar -0.1 hingga 0 Pa/s yang menunjukkan terjadinya *updraft dan downdraft*. Fase punah ditandai dengan curah hujan yang mencapai nilai 3 hingga 0 mm/jam pada citra satelit GSMaP (menunjukkan turunnya intensitas hujan berbanding lurus dengan meluruhnya awan), nilai CAPE antara 553 hingga 222 dan LI antara -2 hingga -1, suhu puncak awan mencapai -10°C, dan nilai *vertical velocity* sebesar 0,1 hingga 0,2 Pa/s yang menunjukkan terjadinya *downdraft*.

Kata kunci: cumulonimbus, *vertical velocity*, satelit, stabilitas atmosfer

ABSTRACT – BNP (2018) recorded as much as 95% of all disasters occurring in Indonesia is a hydrometeorological disaster. The region that experienced the most hydrometeorological disasters was the province of Central Java. One area that often experiences hydrometeorological disasters (floods and landslides) is Banjarnegara. The aim of this study was to determine the evolutionary characteristics of cumulonimbus clouds which caused heavy rain and affected landslides on September 25, 2016 in Banjarnegara. By knowing its characteristics, it is expected that the potential loss of hydrometeorological disasters in the future can be minimized. In this study, GSMaP satellite imagery was analyzed to obtain areas with heavy rain intensity, Himawari-8 satellite images of IR channels were analyzed to obtain cloud peak temperature, vertical velocity parameters of ECMWF were analyzed to get the characteristics of vertical air movement, and atmospheric stability indexes (LI and CAPE) are analyzed to get the level of atmospheric stability. From the analysis, the results show that the evolution of clouds triggering heavy rain is characterized by 3 phases of cloud growth: growing, maturing and extinct phase. The growth phase is characterized by rainfall reaching 4 mm / hour on GSMaP satellite imagery, CAPE values reach 1475 and LI are -4, cloud peak temperatures reach -40 ° C, and vertical velocity values are -0.2 Pa / s which indicate the occurrence updraft. The mature phase is characterized by rainfall reaching 6 mm / hour in GSMaP satellite imagery, CAPE values reaching 993 and LI at -3, cloud peak temperatures reaching -70 ° C, and vertical velocity values of -0.1 to 0 Pa / s shows the occurrence of updraft and downdraft. The extinct phase is characterized by rainfall reaching 3 to 0 mm / hour on GSMaP satellite imagery, CAPE values between 553 to 222 and LI between -2 to -1, the peak cloud temperature reaches -10 ° C, and the vertical velocity value is 0.1 to 0.2 Pa / s.

Keywords: cumulonimbus, *vertical velocity*, satellite, atmospheric stability

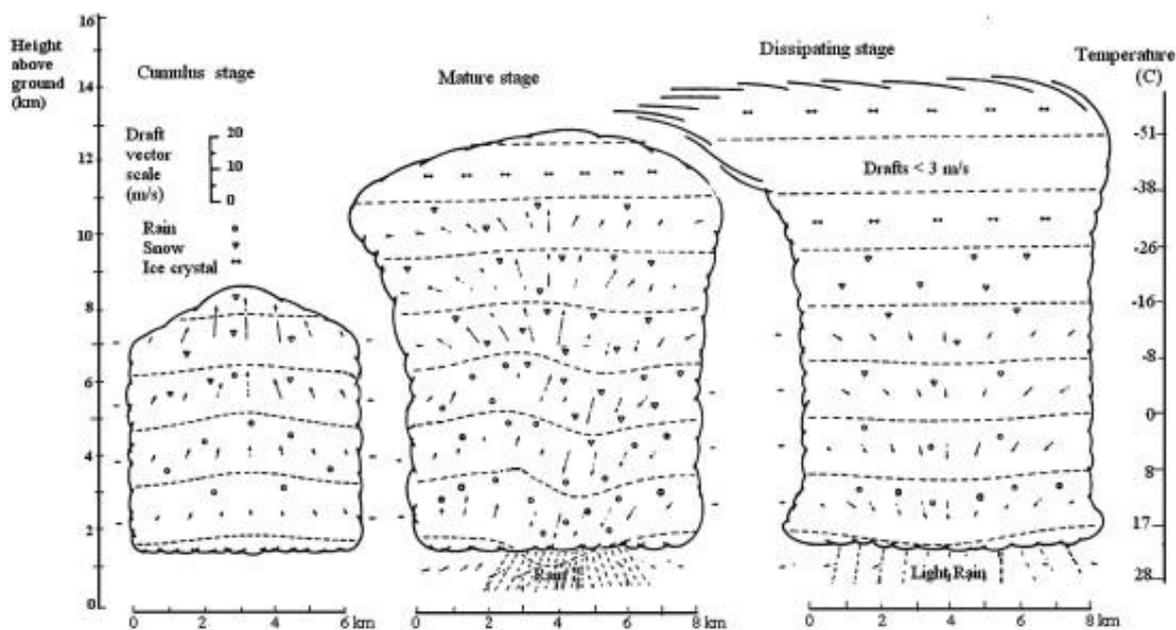
1. PENDAHULUAN

BNBP (2018) mencatat sebanyak 95% dari seluruh bencana yang terjadi di Indonesia adalah bencana hidrometeorologi. Wilayah yang mengalami bencana hidrometeorologi terbanyak adalah provinsi Jawa Tengah. Salah satu wilayah yang sering mengalami bencana hidrometeorologi (banjir dan longsor) adalah Kabupaten Banjarnegara.

Pada 25 September 2016, bencana tanah longsor di Dusun Tambak Sari, Desa Sidengok, Kecamatan Pejawaran, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah menewaskan 9 orang. Salah satu faktor pemicunya adalah hujan dengan intensitas ringan sampai lebat selama 5 hari, yaitu pada tanggal 21 hingga 25 September 2016 (Rosyidah dan Sulistiyowati, 2016). Pada longsor, curah hujan berperan dalam memengaruhi kadar kejenuhan dalam tanah. Ketika tanah menjadi jenuh, peningkatan tekanan air yang meregangkan ikatan tanah pun meningkat, akhirnya massa tanah terangkat oleh aliran air dalam lereng (terjadilah longsor). Dikutip dari kompas.com (2016), bencana longsor yang terjadi pukul 07.00 WIB tersebut, utamanya dipicu hujan lebat pada 24 September 2016, pukul 12.00 WIB hingga malam hari. Pada penelitian ini, akan diuraikan kronologis kejadian hujan lebat beserta karakteristiknya. Dengan demikian, diharapkan potensi kerugian bencana hidrometeorologi (khususnya longsor) di Banjarnegara pada masa mendatang dapat diminimalisir.

Pada penelitian ini, karakteristik hujan lebat akan diuraikan berdasarkan teori evolusi awan konvektif. Awan konvektif merupakan awan yang pembentukannya disebabkan oleh naiknya massa udara yang relatif kecil. Awan jenis ini biasanya mulai tumbuh di udara hangat dekat dengan permukaan bumi. Saat massa udara mulai naik pada atmosfer yang labil (tidak stabil), maka massa udara tersebut akan terus berkembang dikarenakan kerapatan yang berkurang, serta massa yang lebih ringan dibandingkan lingkungannya. Ketika massa udara terus naik ke atas menuju lapisan yang lebih cerah dan udara kering bercampur dengan awan serta terjadi pendinginan oleh penguapan tetes awan, terbentuklah awan yang berhenti bertumbuh dan menguap kembali. Namun ketika massa udara naik menuju lapisan yang lembab dan tidak stabil, terbentuklah awan yang terus tumbuh, bahkan dapat tumbuh hingga lapisan stratosfer (lebih dari 60,000 feet) (Battan, 2003:45).

Dalam masa hidupnya (teori evolusi), menurut Rogers, R.R. dan M.K.Yau (1989), awan konvektif memiliki tiga fase, yaitu fase pertumbuhan, fase matang, dan fase disipasi (punah). Fase pertumbuhan merupakan fase terbentuknya awan, dimana fase pembentukan ini dapat terjadi akibat proses *collision dan coalescence*. Fase matang merupakan fase dimana arus naik (*updraft*) dan arus turun (*downdraft*) terjadi secara bersamaan dan diantaranya terdapat arus *shear* yang memuntir. Sedangkan fase punah merupakan fase yang ditandai dengan turunnya intensitas presipitasi. Tiga fase tersebut diilustrasikan dengan model Byers-Braham (tampak pada **Gambar 1**). Kriteria tiap parameter yang ada pada gambar di bawah ini akan dijadikan acuan dalam penelitian ini.



Gambar 1. Model Awan Cumulonimbus Byers-Braham
Sumber: Rogers, R.R. dan M.K.Yau, 1989

Indeks stabilitas yang menjadi karakteristik awan konvektif juga akan dikaji dalam penelitian ini. Indeks yang akan dikaji adalah CAPE dan *Lifting Index* (LI). Berikut adalah kriterianya:

Tabel 1. Nilai Ambang Batas LI

Nilai CAPE	Keterangan
CAPE < 1000	Konvektif lemah
CAPE 1000 – 2500	Konvektif sedang
CAPE > 2500	Konvektif kuat

Sumber: Wirjohamidjojo, 2014

Tabel 2. Nilai Ambang Batas LI

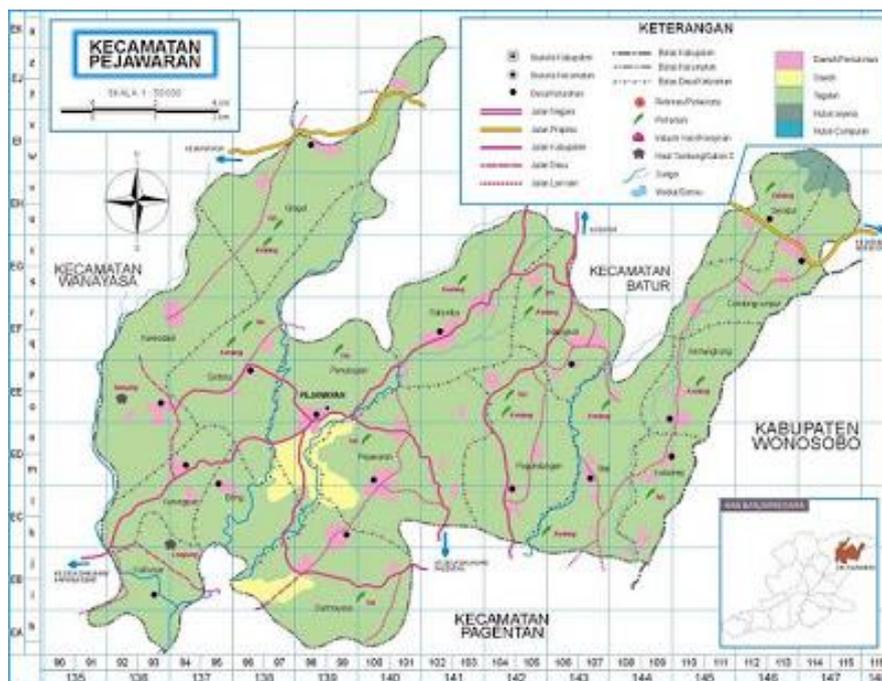
Nilai Lifting Indeks (LI)	Keterangan
LI < 0	Atmosfer tidak stabil (cenderung menimbulkan cuaca signifikan terjadi)
LI ≥ 0	Atmosfer stabil (cenderung menimbulkan cuaca signifikan tidak mudah terjadi)
1 < LI < 6	Atmosfer stabil bersyarat (menimbulkan cuaca signifikan tidak mudah terjadi)
-2 < LI < 0	Atmosfer tidak stabil ringan (dapat menimbulkan badai guntur dengan kilat terjadi)
-6 < LI < -2	Atmosfer tidak stabil (dapat menimbulkan badai guntur kuat dengan kilat terjadi)
LI < -6	Atmosfer sangat tidak stabil (dapat menimbulkan badai guntur sangat kuat dengan kilat terjadi)

Sumber: Wirjohamidjojo, 2014

2. METODE

2.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Kecamatan Pejawaran, Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah, dengan koordinat 109°50'0,6936'' BT dan 7°14' 1,4136'' LS.



Gambar 2. Peta Kecamatan Pejawaran, Banjarnegara, Jawa Tengah
Sumber: Yusuf, 2012

2.2 Data dan Metode

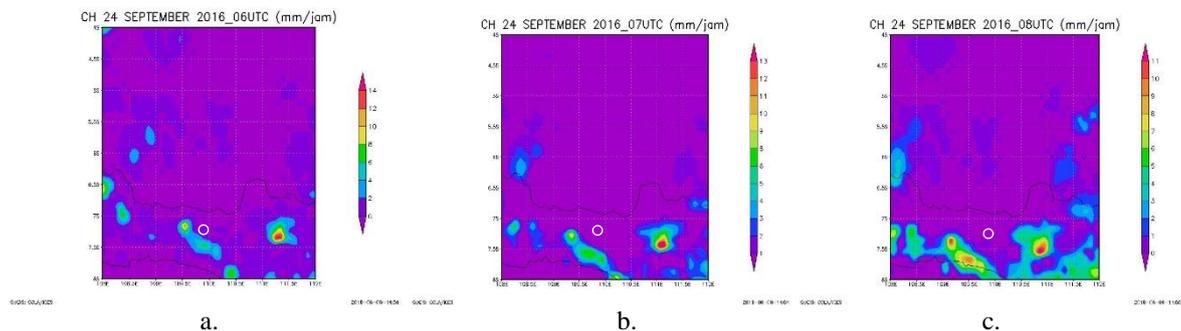
Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

1. Data satelit GSMaP tanggal 24 September 2016 pukul 00 sampai 23 UTC dan tanggal 25 September 2016 pukul 00 UTC yang diolah menggunakan aplikasi GrADS 2.02. Waktu ini dipilih berdasarkan analisis dinamika atmosfer yang dikeluarkan oleh Stasiun Klimatologi Semarang, yang menyebutkan bahwa terjadi pada tanggal 24 sore hingga malam hari terjadi hujan sangat lebat sampai ekstrem merata di wilayah tengah Jawa Tengah akibat sebaran awan konvektif yang besar (*cluster* awan).
2. Data stabilitas atmosfer (Indeks LI dan CAPE keluaran WRF-ARW versi 3.8) sehingga didapat tingkat kestabilan atmosfer. Adapun pengaturan pada WRF-ARW adalah sebagai berikut: resolusi domain 1,2, dan 3 berturut-turut adalah 27, 9, dan 3 km; skema parameterisasi yang digunakan adalah skema mikrofisis WSM-3, dan skema cumulus Kain-Fritsch, sesuai pengaturan yang dilakukan dalam penelitian Safril dkk (2017).
3. Data citra satelit Himawari-8 kanal IR tanggal 24 September 2016 pukul 00 sampai 23 UTC dan tanggal 25 September 2016 pukul 00 UTC yang diolah menggunakan aplikasi SATAID, sehingga didapat *time series* dan kontur suhu puncak awan secara *real*. Menurut Izumikawa (2014), Satelit Himawari-8 dan 9 adalah satelit buatan Japan Meteorological Agency (JMA) yang berorbit geostasioner pada 140° bujur timur, dan jangkauan pengamatannya adalah Wilayah Asia Timur hingga Australia, sebagian daerah kutub dan Samudera Hindia hingga Pasifik Barat untuk jangka waktu 15 tahun. Hujan lebat ditandai dengan suhu puncak awan yang rendah. Seperti kasus hujan lebat di Ambon tanggal 29 Juli 2016 yang ditandai suhu -64,3° C (Wahyudi dan Rani, 2016).
4. Data *vertical velocity* dari ECMWF yang diolah menggunakan aplikasi GrADS 2.02, sehingga didapat karakteristik gerakan vertikal massa udara. Menurut Enderwin (2010), parameter *vertical velocity* memiliki peran yang cukup signifikan dalam memengaruhi kondisi cuaca karena ditimbulkan oleh arus konveksi, konvergensi, pengangkatan orografi, atau front.

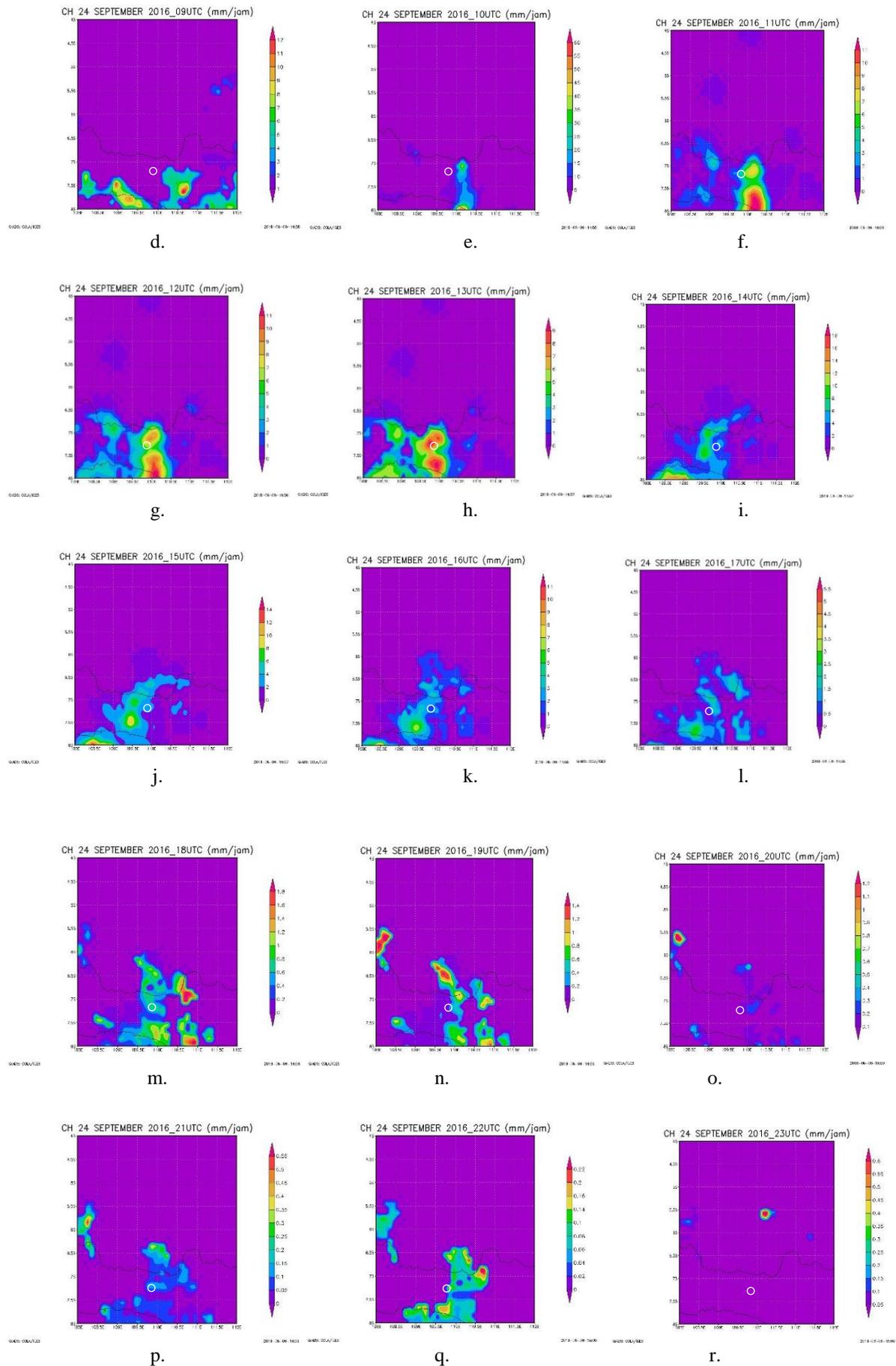
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis satelit GSMaP (<ftp://hokusai.eorc.jaxa.jp/>), satelit Himawari-8 (Kanal IR) yang diperoleh dari mengunduh data dari server satelit Himawari milik BMKG, metode analisis parameter *vertical velocity* dari ECMWF (<http://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=pl/>), metode analisis stabilitas atmosfer menggunakan data *Final Analysis* (FNL) grid 0.1°.

Adapun beberapa teori yang digunakan dalam menentukan karakteristik evolusi awan cumulonimbus dalam penelitian ini, di antaranya adalah teori Byers-Braham mengenai suhu awan per lapisan pada masing-masing fase (ditunjukkan **Gambar 2**) dan teori kestabilan atmosfer yang dilihat dari indeks stabilitas LI dan CAPE (**Tabel 1** dan **2**).

3. HASIL DAN PEMBAHASAN



Bersambung.....



Gambar 3. Data dari Satelit GSMaP Pukul 24 September 2014 Pukul (a) 06 UTC (b) 07 UTC (c) 08 UTC (d) 09 UTC (e) 10 UTC (f) 11 UTC (g) 12 UTC (h) 13 UTC (i) 14 UTC (j) 15 UTC (k) 16 UTC (l) 17 UTC (m) 18 UTC (n) 19 UTC (o) 20 UTC (p) 21 UTC (q) 22 UTC (r) 23 UTC. Lingkaran Putih Menunjukkan Lokasi Penelitian.

Pada **Gambar 3**, terlihat bahwa pada tanggal 24 September 2014 mulai terjadi presipitasi pada pukul 06 UTC sebesar 4 dan 2 mm/jam yang setara dengan hujan ringan, ditunjukkan oleh **(a)**. Pada pukul 11 sampai 15 UTC terjadi hujan sebesar 2 sampai mm/jam yang setara hujan sedang, ditunjukkan oleh **Gambar (f)** sampai **(j)**. Sedangkan pada pukul 16 sampai 19 UTC terjadi hujan berturut-turut 3; 0,5; 0,2; 0,2 mm/jam, ditunjukkan oleh **Gambar (k)** sampai **(n)**. Pada pukul 20 UTC hingga saat kejadian longsor (pukul 00 UTC tanggal 25 September 2016), tidak terdeteksi adanya hujan lagi di kecamatan Penjawaran. Dari besaran intensitas hujan di atas, diketahui bahwa pada pukul 11 sampai 15 UTC, awan konvektif memasuki fase matang, sedangkan pada pukul 16 sampai 19 UTC awan memasuki fase disipasi (punah) karena ditandai dengan makin melemahnya intensitas hujan hingga akhirnya tidak turun hujan sama sekali (0 mm/jam).

3.2 Analisis Stabilitas Atmosfer

Di bawah ini merupakan **Tabel 3** yang menunjukkan indeks stabilitas pada 3 tahap pertumbuhan awan.

Tabel 3. Kelas Warna Indeks Stabilitas LI dan CAPE

Tanggal	Pukul (UTC)	LI	Keterangan	CAPE	Keterangan
24-Sep-16	00	0	Stabil	77	Kovektif Lemah
	01	-1	Labil Ringan	217	Kovektif Lemah
	02	-2	Labil Ringan	600	Kovektif Lemah
	03	-3	Labil Sedang	975	Kovektif Lemah
	04	-3	Labil Sedang	1152	Konvektif Sedang
	05	-2	Labil Ringan	1206	Konvektif Sedang
	06	-3	Labil Ringan	1418	Konvektif Sedang
	07	-4	Labil Sedang	1475	Konvektif Sedang
	08	-4	Labil Sedang	1471	Konvektif Sedang
	09	-3	Labil Ringan	1226	Konvektif Sedang
	10	-3	Labil Ringan	993	Konvektif Lemah
	11	-2	Labil Ringan	947	Konvektif Lemah
	12	-2	Labil Ringan	851	Konvektif Lemah
	13	-2	Labil Ringan	588	Konvektif Lemah
	14	-1	Labil Ringan	455	Konvektif Lemah
	15	-3	Labil Ringan	597	Konvektif Lemah
	16	-2	Labil Ringan	553	Konvektif Lemah
	17	-2	Labil Ringan	399	Konvektif Lemah
	18	-1	Labil Ringan	326	Konvektif Lemah
	19	-1	Labil Ringan	269	Konvektif Lemah
	20	-1	Labil Ringan	269	Konvektif Lemah
	21	-2	Labil Ringan	300	Konvektif Lemah
	22	-1	Labil Ringan	291	Konvektif Lemah
23	-1	Labil Ringan	222	Konvektif Lemah	
25-Sep-16	00	-1	Labil Ringan	226	Konvektif Lemah

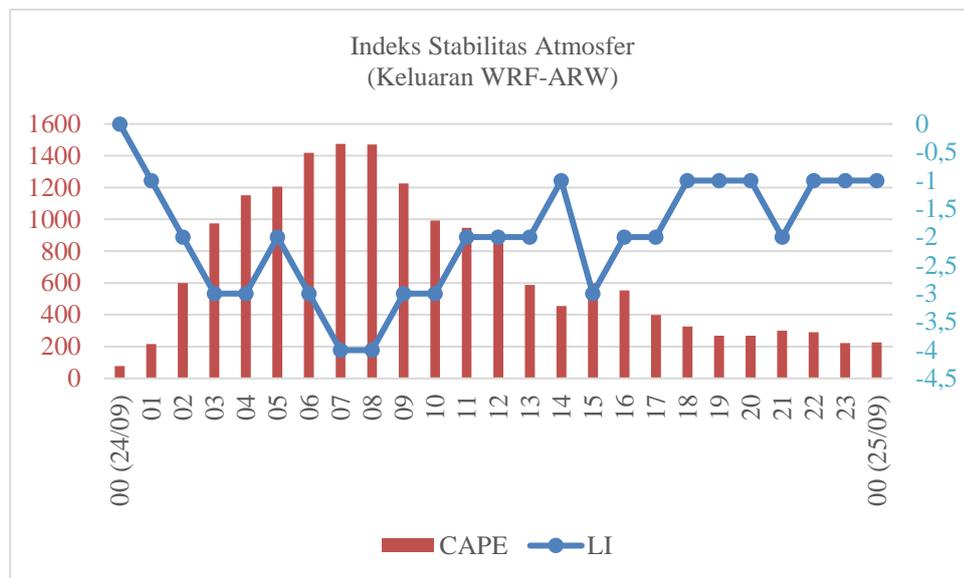
Keterangan:

- Fase disipasi
- Fase Pertumbuhan
- Fase Matang
- Fase Disipasi

Dari **Tabel 3**, terlihat bahwa mulai pukul 03 UTC sampai 09 UTC memiliki nilai dengan besaran di bawah -2 untuk LI dan di atas 1000 untuk CAPE. Hal ini menunjukkan pada waktu tersebut kondisi atmosfer

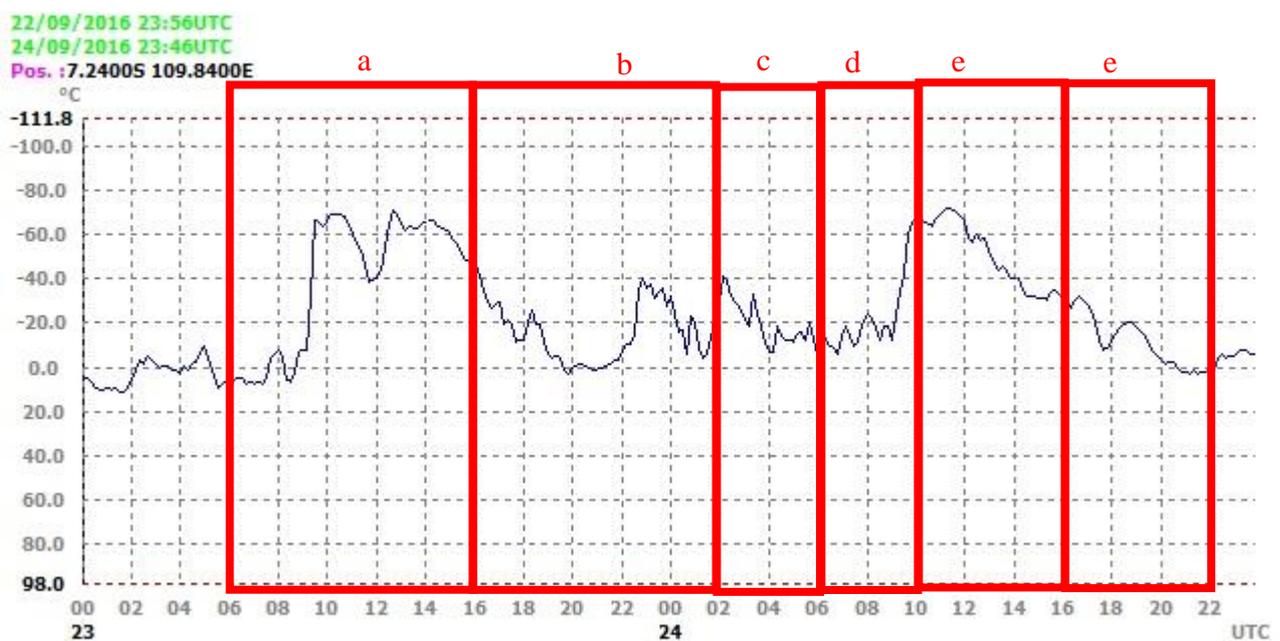
berpotensi terhadap pertumbuhan awan konvektif. Adapun pada pukul 10 UTC dan seterusnya, terlihat bahwa nilai CAPE dan LI menunjukkan tingkat kelabilan atmosfer yang makin berkurang. Dalam jangka waktu ini, atmosfer berpotensi untuk fase matang dan fase disipasi dari awan konvektif. Alasan dikatakan berpotensi untuk fase matang, adalah karena turunnya hujan berkaitan dengan meningkatnya tingkat kestabilan atmosfer di suatu lokasi. Kelas warna pada **Tabel 3**, merupakan kesimpulan dari gabungan hasil analisis GSMaP, satelit Himawari-8, *vertical velocity*, dan stabilitas atmosfer.

Selain Tabel di atas, dari analisis stabilitas atmosfer juga didapat hasil **Grafik 1**. Grafik tersebut menunjukkan bahwa indeks CAPE memiliki hubungan yang berbanding lurus dengan LI, yaitu saat CAPE mencapai nilai tertinggi, LI mencapai nilai terendah. Hal ini menunjukkan bahwa indeks stabilitas keluaran WRF-ARW representatif dengan kejadian di lokasi longsor.



Gafik 1. Indeks stabilitas atmosfer LI dan CAPE sehari sebelum kejadian longsor

3.3 Analisis Satelit Himawari-8



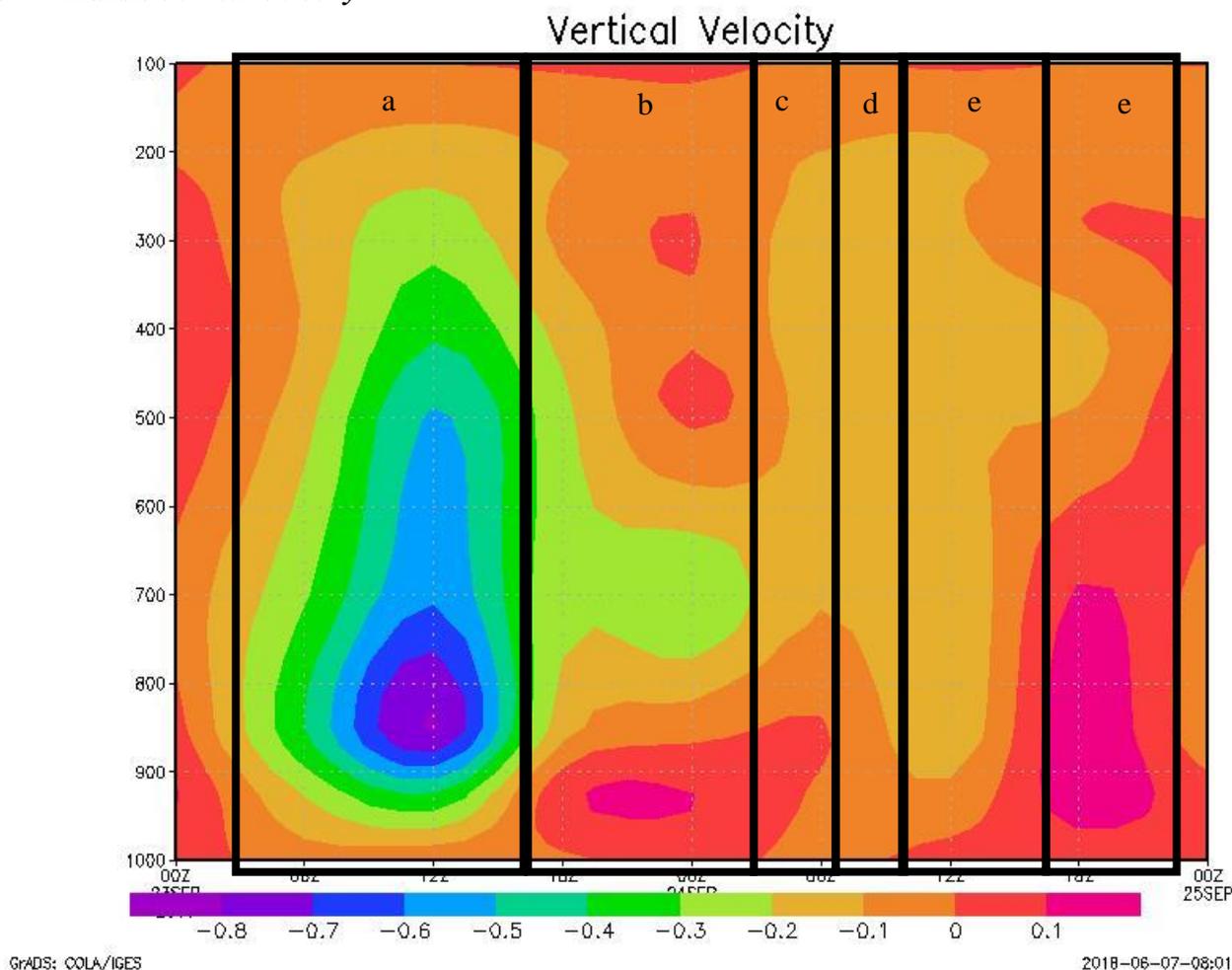
Gambar 4. Time series suhu puncak awan dari satelit Himawari-8

Dari grafik di atas terlihat bahwa pada tanggal 24 September 2016 pukul 00 UTC terjadi penurunan suhu puncak awan dari $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ menjadi $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (di bawah $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$), hal ini mengindikasikan pada fase ini awan

berada pada fase matang karena fase matang ditandai dengan suhu puncak awan sebesar -40°C yang mana suhu tersebut akan meningkat seiring waktu seiring dengan berubahnya partikel es dalam awan menjadi partikel air (hujan). Fase matang ini ditunjukkan dengan simbol b. Fase pertumbuhan yang mengawali pertumbuhan awan ini dapat terlihat pada simbol a yang ditandai dengan penurunan suhu puncak awan hingga mencapai -70°C , penurunan suhu ini terjadi karena efek *updraft* yang tinggi pada fase pertumbuhan. *Updraft* yang tinggi menyebabkan awan tumbuh makin tinggi dan memiliki suhu puncak awan yang makin dingin.

Fase pertumbuhan awan yang memicu longsor terjadi pada pukul 07 sampai 10 UTC, hal ini ditandai dengan kenaikan suhu puncak awan hingga -62°C . Adapun pada pukul 11 UTC sampai 16 UTC diidentifikasi sebagai fase matang awan konvektif, karena dalam jangka waktu tersebut suhu puncak awan naik secara berturut-turut dan pada gambar satelit ditemukan adanya hujan.

3.4 Analisis Vertical Velocity



Gambar 5. Data Vertikal Velocity dari Data ECMFW

Dari gambar di atas terlihat bahwa pada tanggal 24 September 2016 pukul 00 sampai 03 UTC, nilai *vertical velocity* yang terjadi sebesar 0,1 Pa/s dari lapisan 900 sampai 1000 mb. Nilai positif pada *vertical velocity* ini mencirikan terjadi downdraft. Pada pukul 03 sampai 09 UTC downdraft mereda dan berganti dengan updraft (ditandai dengan nilai *vertical velocity* 0) di lapisan bawah. Pada pukul 09 hingga 15 UTC, updraft yang terjadi diimbangi dengan downdraft dari lapisan 600 hingga 1000 mb. Pada pukul 15 hingga 00 UTC (25/09), terjadi downdraft kuat yang ditandai dengan nilai 0,1 hingga 0,2 Pa/s. Hasil ini mendukung fakta bahwa pada siang hingga malam hari telah terjadi hujan lebat yang menyebabkan longsor di Banjarnegara.

4. KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa evolusi awan cumulonimbus yaitu fase pertumbuhan, fase matang, dan fase purnya terjadi dengan karakteristik sebagai berikut:

1. Fase pertumbuhan

Terjadi pada tanggal 24 September 2016, pukul 06 hingga 09 UTC, ditandai dengan curah hujan yang mencapai nilai 4 mm/jam pada citra satelit GSMaP, nilai CAPE mencapai 1475 dan LI sebesar -4, suhu puncak awan mencapai -40°C , dan nilai *vertical velocity* sebesar -0.2 Pa/s yang menunjukkan terjadinya *updraft*.

2. Fase matang

Terjadi pada pukul 09 hingga 15 UTC dan ditandai dengan curah hujan yang mencapai nilai 6 mm/jam pada citra satelit GSMaP, nilai CAPE mencapai 993 dan LI sebesar -3, suhu puncak awan mencapai -70°C , dan nilai *vertical velocity* sebesar -0.1 hingga 0 Pa/s yang menunjukkan terjadinya *updraft dan downdraft*.

3. Fase purnya

Terjadi pada pukul 15 hingga 00 UTC (25/09) dan ditandai dengan curah hujan yang mencapai nilai 3 hingga 0 mm/jam pada citra satelit GSMaP, nilai CAPE antara 553 hingga 222 dan LI antara -2 hingga -1, suhu puncak awan mencapai -10°C , dan nilai *vertical velocity* sebesar $0,1$ hingga $0,2\text{ Pa/s}$ yang menunjukkan terjadinya *downdraft*.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu baik secara materil maupun non materil, sehingga penelitian ini dapat selesai tepat pada waktunya.

6. DAFTAR PUSTAKA

- Battan, Louis J., (2003). *Cloud Physics A Popular Introduction to Applied Meteorology*. New York: Dover Publications, inc.
- BNBP, (2018). Bencana Menurut Jenisnya tahun 2017, diunduh tanggal 4 Mei 2018 dari <http://bnpb.cloud/dibi/grafik1a>.
- Endarwin. 2010, Deteksi Potensi Dinamika atmosfer Atmosfer di Atas Wilayah Bandung dan Sekitarnya, Jurnal Meteorologi dan Geofisika, Vol. 11, no. 1 Juli 2010, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jakarta.
- Izumikawa, Y., 2014, Introduction to the JMA's next generation meteorological satellite, Himawari -8/9. Japan Meteorological Agency, diunduh tanggal 9 Juni 2018 dari http://severe.worldweather.wmo.int/TCFW/JMAworkshop/4-3.Himawari8-9_YIzumikawa.pdf
- Kompas, 2016, Satu Orang Tewas Akibat Bencana Longsor di Banjarnegara, diakses tanggal 9 Juni 2018 dari <http://regional.kompas.com/read/2016/09/25/17404251/satu.orang.tewas.akibat.bencana.longsor.di.banjarnegara>.
- Rogers, R.R. dan M.K.Yau, (1989). *A Short Course in Cloud Physics*. Oxford: Elsevier's Science & Technology.
- Rosyidah dan Sulistiyowati, (2016). Analisis Kejadian Tanah Longsor di Wilayah Pejawaran Banjarnegara Propinsi Jawa Tengah (25 September 2016). Semarang: Stasiun Klimatologi Semarang.
- Safri, A., Kristianto, A., Septiadi, D., Suwandi., Gustari, I., Ahadi, S., Pribadi, S., Rohadi, S., Munawar, Subakti, H., Mulsandi, A., Hapsoro, A.N, Haryanto, Suharni, Nuraini, N., Wardoyo, E., 2017, Monograf Penelitian Awal Sistem Peringatan Dini Longsor Berbasis Penguatan Sistem Prediksi Curah Hujan dan Gempa Bumi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Tangerang Selatan.
- Wirjohamidjojo, S., Swarinoto, Y, S., 2014, Indeks dan Peredaran Atmosfer Tropik, Puslibang BMKG, Jakarta.
- Yusuf, M., (2012). Peta Kecamatan Pejawaran, diunduh tanggal 8 Juni 2018 dari <http://desagiritirta.blogspot.com/2012/04/peta-kecamatan-pejawaran.html>.
- Wahyudi, P.R., dan Rani, N.A., (2016), Analisis Kondisi Atmosfer Pada Kejadian Hujan Lebat Di Ambon Tanggal 29 Juli 2016, Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya, FINS-03.