



## Analisis Hujan Es di Kabupaten Ngawi Berdasarkan Citra Satelit Himawari-8 dan Data Reanalisis Copernicus ECMWF

Estri Diniyati<sup>1\*</sup>, Dhiyaul Qalbi Syofyan<sup>2</sup>, Aditya Mulya<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Indonesia

<sup>2</sup>Stasiun Pemantau Atmosfer Global Bukit Kototabang, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Indonesia

### Article Info

#### Article History

Submitted 2020-12-25

Revised 2021-08-12

Accepted 2021-09-08

#### Keywords

Hail, Himawari-8 Satellite, Copernicus ECMWF

### Abstrak

Fenomena hujan es merupakan fenomena cuaca ekstrem yang merugikan manusia. Pada tanggal 11 November 2019 lalu, terjadi hujan es di Kabupaten Ngawi dimana hujan es mengguyur hingga Kabupaten Blora dan Kabupaten Bojonegoro, sehingga kerugian yang ditafsir lebih tinggi. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi atmosfer dan lautan sebelum hingga saat kejadian hujan es sehingga kedepannya dapat digunakan dalam menganalisis dan memberikan peringatan kepada masyarakat agar dapat mengantisipasi terjadinya kerugian yang lebih besar. Dalam penelitian ini menggunakan metode analisis dengan data citra satelit Himawari-8 yang diolah dengan aplikasi SATAID serta analisis data reanalisis Copernicus ECMWF yang diolah dengan aplikasi GrADS. Hasil penelitian menunjukkan pada saat hujan es terdapat belokan angin disekitar wilayah Ngawi serta suhu muka air laut yang hangat di sebelah Utara Perairan Pulau Jawa. Hal ini mendukung adanya pertumbuhan awan konvektif yang dibuktikan dengan adanya kelembapan udara yang tinggi, kondisi atmosfer yang tidak stabil dan terbentuknya awan jenis cumulonimbus.

### Abstract

Hail is an extreme weather phenomenon that harms humans. On November 11, 2019, there was hail in Ngawi Regency where hail flushed to Blora Regency and Bojonegoro Regency, so the losses were interpreted to be higher. This study aims to analyze the conditions of the atmosphere and oceans before the rain occurs so that in the future it can be used in analyzing and providing guidance to the public in order to anticipate greater losses. This research uses analysis method of Himawari-8 satellite image data processed with SATAID application and Copernicus ECMWF reanalysis data processed with GrADS application. The results showed that during the hail there were wind bends around the Ngawi area and warm sea surface temperatures in the northern waters of Java Island. This supports the growth of convective clouds as evidenced by the presence of high Relative Humidity (RH), unstable atmospheric conditions and the formation of cumulonimbus cloud types.

\* Address: Jalan Perhubungan I No.5 Pondok Betung, Bintaro, Kec. Pd. Aren, Kota Tangerang Selatan, Banten 15221  
 E-mail: estri.diniyati@gmail.com

## PENDAHULUAN

Hujan es (*hail*) adalah suatu bentuk presipitasi (hujan) yang berbentuk bola-bola es, potongan es atau dapat juga berupa serpihan-serpihan es berdiameter 5-50 mm atau dalam beberapa kejadian diameter dapat menjadi lebih besar (Fadholi, 2012). Hujan es umumnya disebabkan oleh awan konvektif jenis *Cumulonimbus* (Cb). Awan Cb dapat tumbuh menjulang tinggi hingga lapisan *tropopause* karena proses *updraft* akibat dari kondisi atmosfer yang tidak stabil (Wicaksono et al., 2019).

Awan Cb yang telah mencapai lapisan *tropopause* tidak akan dapat tumbuh lagi karena adanya inversi pada lapisan *tropopause*. Pada saat awan Cb matang, awan akan mendapat pengaruh gaya gravitasi bumi sehingga mengalami *downdraft* dan mencapai permukaan. Selanjutnya, didalam awan Cb sebagian kristal es mencair dan menjadi presipitasi (hujan). Namun, hal ini tergantung pada jarak partikel es ke permukaan dan suhu pada permukaan sehingga pada beberapa kejadian kristal es tidak mencair namun turun sebagai butiran es (*hail*). (Lestari et al., 2016)

Di dalam awan Cb mengandung kristal es dan butiran air yang kelewat dingin atau super jenuh apabila telah melewati *freezing level*. (Karmini, 2000) *hail* sangat jarang terjadi meskipun kilat (badai guntur *Freezing level* atau lapisan beku adalah lapisan dimana suhu pada awan mulai menyentuh angka dibawah 0°C sehingga mulai terbentuk kristal es (Wang, et al., 2014).

Pertumbuhan partikel es di dalam awan Cb dapat disebabkan beberapa hal, diantaranya yaitu karena saat terjadi bersamaan dengan kristal es, butiran air super jenuh lebih cepat menguap dan mengendap pada kristal es sehingga pertumbuhan kristal es lebih cepat dibandingkan tetes air. Pertumbuhan kristal es juga dapat semakin cepat terjadi karena adanya tumbukan antar tetes air yang kelewat dingin kemudian membeku menjadi kristal es. Selain hal tersebut, pembentukan partikel es juga dapat terjadi karena adanya tumbukan dan penggabungan antar partikel es satu dengan yang lainnya yang memiliki kecepatan jatuh yang berbeda-beda, dimana biasanya pelekatan permukaan es akan sangat kuat jika terjadi pada suhu kurang dari -5°C. (Fadholi, 2012).

Hujan es pernah terjadi sebelumnya di beberapa wilayah di Indonesia, namun fenomena hujan es masih merupakan fenomena yang langka sehingga memiliki daya tarik tersendiri bagi masyarakat Indonesia. Kelangkaan fenomena ini terjadi karena wilayah Indonesia berada di ekuator yang memiliki penerimaan panas mata-

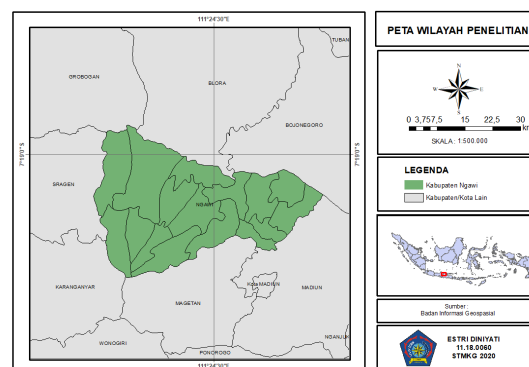
hari yang lebih banyak sehingga suhu lebih hangat dan *freezing level* lebih tinggi dibandingkan di wilayah subtropis. (Dewi & Munandar, 2017)

Hujan es umumnya turun sangat singkat dengan periode waktu sekitar kurang dari satu jam (Zakir, 2008). Meskipun singkat, didalam awan cb terdapat batu es (*hail*), guruh dan kilat sehingga membawa hujan lebat dan dapat juga terjadi puting beliung. (Haryoko, 2009). Oleh karena itu, fenomena hujan es dapat membawa kerugian bagi masyarakat, diantaranya kerusakan bangunan rumah, pohon tumbang, tiang listrik dan pemancar radio roboh bahkan dapat membahayakan nyawa apabila ukuran diameter es sangat besar (Schauwecker, et al., 2017).

Pada tanggal 11 November 2019 sekitar pukul 17.30 WIB, telah terjadi hujan es di Kabupaten Ngawi, Jawa Timur dan mengakibatkan beberapa rumah warga roboh. Hujan es pada wilayah Kabupaten Ngawi telah terjadi tiga kali yaitu pada tanggal 22 September 2019 (Kecamatan Ngrambe), 11 November 2019 (Kecamatan Bringin dan Kecamatan Kasreman) dan 24 November 2019 (Kecamatan Ngawi). Namun, kejadian pada tanggal 11 November ini lebih luas hingga Kabupaten Blora dan Kabupaten Bojonegoro, sehingga kerugian yang ditafsir lebih tinggi.

Tujuan penulis melakukan penelitian ini yaitu untuk mengkaji kondisi atmosfer dan lautan sebelum hingga saat kejadian hujan es sehingga kedepannya penelitian dapat digunakan dalam menganalisis dan memberikan peringatan kepada masyarakat agar dapat mengantisipasi terjadinya kerugian yang lebih besar.

## METODOLOGI



**Gambar 1.** Peta Wilayah Penelitian Kabupaten Ngawi

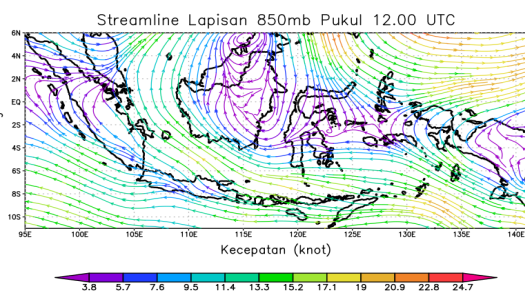
Lokasi penelitian terletak di Kabupaten Ngawi, Jawa Timur (Gambar 1). Berdasarkan letak astronomis Kabupaten Ngawi terletak pada koordinat 7°21'-7°31' LS dan 110°10'-111°40' BT.

Sementara untuk letak secara geografis, disebelah Utara Kabupaten Ngawi berbatasan dengan wilayah Kabupaten Grobogan, Kabupaten Bora (Jawa Tengah) dan Kabupaten Bojonegoro. Kemudian disebelah Selatan Kabupaten Ngawi, berbatasan dengan Kabupaten Madiun dan Kabupaten Magetan. Untuk sebelah Timur Kabupaten Ngawi, berbatasan dengan Kabupaten Madiun sedangkan disebelah Barat berbatasan dengan wilayah Kabupaten Karanganyar dan Kabupaten Sragen (Jawa Tengah) (*Letak Geografis - Pemerintah Kabupaten Ngawi*, n.d.).

Untuk data Reanalisis diunduh melalui *website* Copernicus ECMWF (<https://cds.climate.copernicus.eu/>) yang meliputi data divergensi, vortisitas, suhu muka air laut dan kelembapan udara kemudian diolah dengan aplikasi *The Grid Analysis and Display System (GrADS)*. Selain itu, untuk data suhu puncak awan, streamline dan indeks stabilitas atmosfer diperoleh dari data satelit Himawari-8 pada tanggal 11 November 2019 kemudian diolah menggunakan aplikasi perangkat lunak SATAID.

**HASIL DAN PEMBAHASAN**

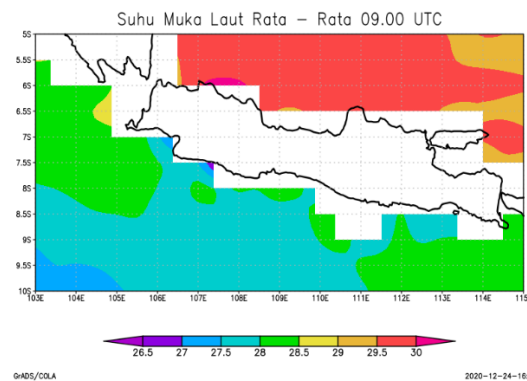
**Analisis Streamline**



**Gambar 2.** Peta *Streamline* Wilayah Indonesia 11 November 2020 Pukul 12.00 UTC

Berdasarkan *streamline* pukul 12.00 UTC (Gambar 2), pada lapisan 850 mb wilayah Ngawi lebih tepatnya pada perbatasan Provinsi Jawa Timur dan Jawa Tengah terdapat pola belokan angin. Pola belokan angin ini mengakibatkan penumpukkan massa udara sehingga potensi pembentukan awan konvektif semakin besar. (Putri, 2016)

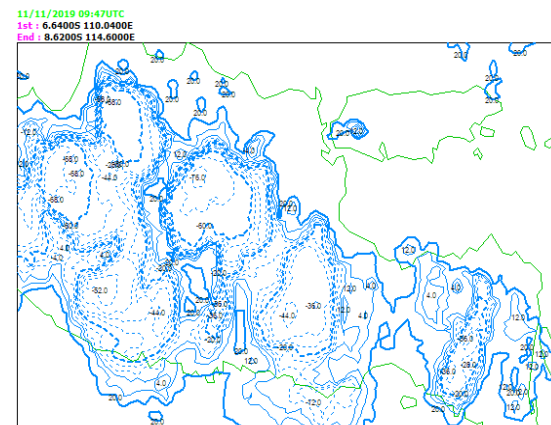
**Analisis Suhu Muka Laut**



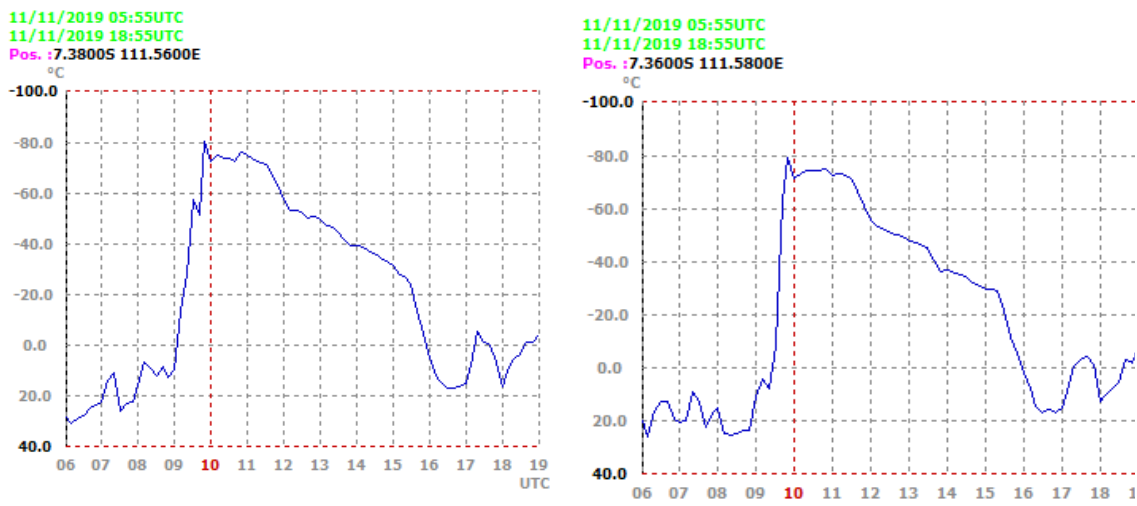
**Gambar 3.** Peta Normal Suhu Muka Laut (kanan) dan Peta Suhu Muka Laut (kiri) di Perairan Pulau Jawa 11 November Pukul 09.00 UTC

Suhu Muka Laut di Perairan Pulau Jawa (Gambar 3) pada saat kejadian hujan es tidak jauh berbeda dibandingkan rata-rata selama 30 tahun periode 1981-2010 (normal). Suhu Muka Laut menunjukkan bahwa dibagian Perairan sebelah Utara Pulau Jawa memiliki suhu yang lebih hangat berkisar 29,5-30°C dibandingkan Perairan sebelah Selatan. Suhu yang lebih hangat di Perairan sebelah Utara Pulau Jawa menghasilkan sumber uap air yang lebih banyak sehingga potensi pembentukkan awan konvektif semakin besar khususnya awan *cumulonimbus* yang mengandung partikel es. (Ariwibowo et al., 2018)

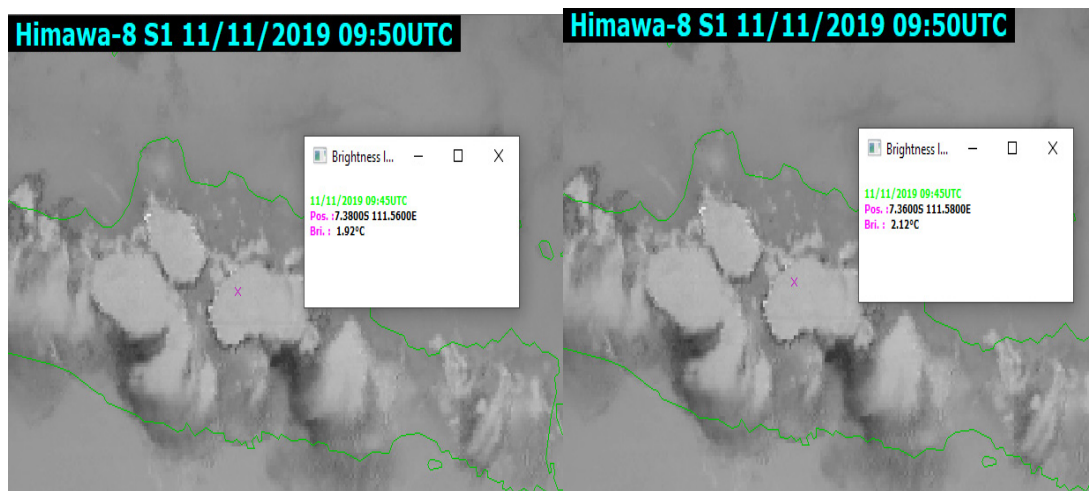
**Analisis Kontur Suhu Puncak Awan**



**Gambar 4.** Kontur Suhu Puncak Awan Wilayah Jawa Timur 11 November 2020 Pukul 09.47 UTC



Gambar 5. Time Series Wilayah Kecamatan Kraseman (kiri) dan Kecamatan Bringin (kanan)



Gambar 6. Suhu Puncak Awan pada Kanal S1 Citra Satelit Himawari-8 di Kecamatan Kasreman (Kiri) dan Kecamatan Bringin (Kanan)

Pada kontur awan (Gambar 4) terlihat bahwa wilayah perbatasan Jawa Timur hingga Jawa Tengah tertutup oleh banyak awan. Namun suhu puncak awan paling rendah yaitu  $-76^{\circ}\text{C}$  terletak di sekitar Kabupaten Ngawi, dan sebagian wilayah Kabupaten Blora serta Kabupaten Bojonegoro dimana wilayah tersebut juga mengalami fenomena hujan es.

#### Analisis Time Series Suhu Puncak Awan

Berdasarkan *time series* (Gambar 5) pada lokasi hujan es di Kabupaten Ngawi lebih tepatnya di Kecamatan Bringin ( $-7.36$   $111.58$ ) dan Kecamatan Kasreman ( $-7.38$   $111.56$ ) awan menunjukkan fase tumbuh sekitar pukul 09.00 UTC (16.00 WIB). Fase tumbuh ditandai dengan penurunan suhu secara terus-menerus secara signifikan dari  $20^{\circ}\text{C}$  hingga  $-80^{\circ}\text{C}$ . Kemudian fase matang mulai terjadi sekitar pukul 09.50 UTC (16.50 WIB),

pada fase ini suhu awan sangat dingin hampir mencapai  $-80^{\circ}\text{C}$  yang menandakan adanya awan konvektif *cumulonimbus*. Kemudian suhu menurun pada pukul 10 UTC (17.00 WIB), yang menandakan hujan es berlangsung singkat hitungan menit saja. Pada pukul 12.00 UTC hingga pukul 17.00 UTC, suhu puncak awan mulai meningkat menjadi sekitar  $-20^{\circ}\text{C}$  yang menandakan awan mengalami fase purnah (Mardones & Garreaud, 2020).

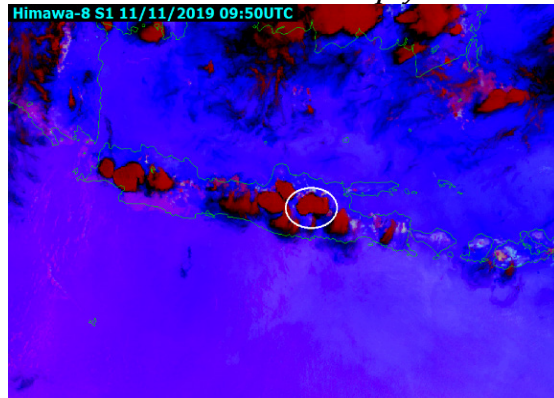
#### Analisis Kanal S1 Citra Satelit Himawari-8

Berdasarkan Gambar 6, kanal S1 (IR-IR2) citra satelit Himawari-8 saat hujan es pukul 09.50 UTC wilayah Kabupaten Ngawi di Kecamatan Bringin dan Kecamatan Kasreman memiliki *threshold* sebesar 1,92 K dan 2,12 K. Hal ini menandakan bahwa awan pada wilayah tersebut saat hujan es merupakan jenis awan konvektif *cu-*



*mulonimbus*.

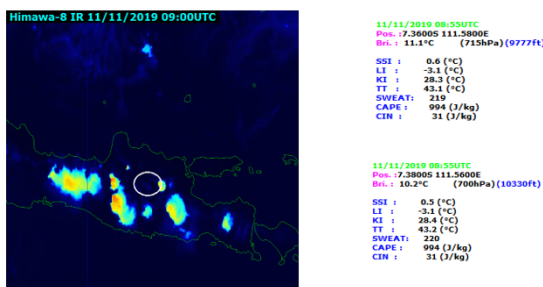
**Analisis Metode 24-Hours Microphysics RGB**



**Gambar 7.** Citra Satelit Himawari-8 dengan Teknik RGB 24-hour microphysics

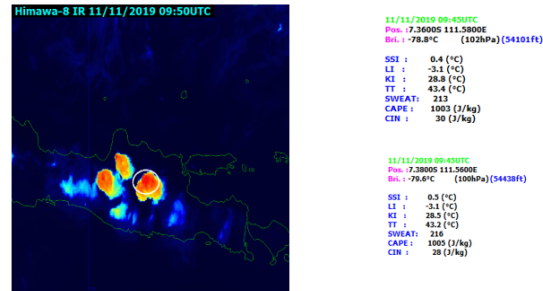
Berdasarkan citra satelit metode 24-hours microphysics (Gambar 7), sebagian besar wilayah Pulau Jawa tertutup awan es tebal dan tinggi yang di tandai dengan warna coklat tua. Awan es yang tebal dan tinggi atau awan *cumulonimbus* ini juga menutupi wilayah Kabupaten Ngawi pada saat hujan es pukul 09.50 UTC.

**Analisis Indeks Stabilitas Atmosfer**



**Gambar 8.** Indeks Stabilitas Atmosfer Pukul 09.00 UTC

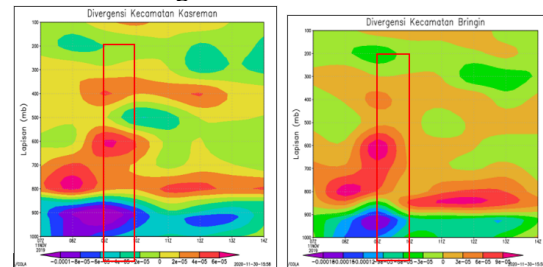
Pada saat sebelum kejadian hujan es pukul 09.00 UTC (Gambar 8), di Kecamatan Kasreman dan Kecamatan Bringin suhu puncak awan sekitar 10,2 °C dan 11,1°C. Hal ini menunjukkan awan masih belum melewati freezing level. Berdasarkan jurnal penelitian Hadiansyah et al., (2019), untuk indeks LI berkisar -3,1<sup>0</sup>C yang menandakan atmosfer tidak stabil dan kemungkinan terjadi badai. SWEAT berkisar 219 dan 220, K Indeks berkisar 28,3 dan 28,4 °C menunjukkan adanya potensi cuaca buruk kategori sedang. Kemudian untuk dan CAPE bernilai 994 J/kg yang menandakan adanya potensi badai. Secara keseluruhan, hal ini menandakan pada pukul 09.00 UTC diwilayah tersebut berpotensi adanya aktivitas badai.



**Gambar 9.** Indeks Stabilitas Atmosfer Pukul 09.50 UTC

Pada citra satelit kanal IR (Gambar 9) menunjukkan adanya awan konvektif berwarna merah yang menunjukkan suhu yang sangat dingin. Saat kejadian hujan es pukul 09.50 UTC, suhu puncak awan di Kecamatan Kasreman 79,6 °C dan Kecamatan Bringin suhu puncak awan -78,8<sup>0</sup>C. Untuk indeks LI berkisar -3,1<sup>0</sup>C yang menandakan atmosfer tidak stabil dan kemungkinan terjadi badai. SWEAT berkisar 213 dan 216 °C dan K Indeks berkisar 28,5 °C dan 28,8 °C menunjukkan adanya potensi cuaca buruk kategori sedang. Kemudian untuk dan CAPE bernilai 1003 J/kg dan 1005 J/kg yang menandakan adanya potensi badai. Sehingga secara keseluruhan, hal ini menandakan pada pukul 09.50 UTC diwilayah tersebut berpotensi adanya aktivitas badai.

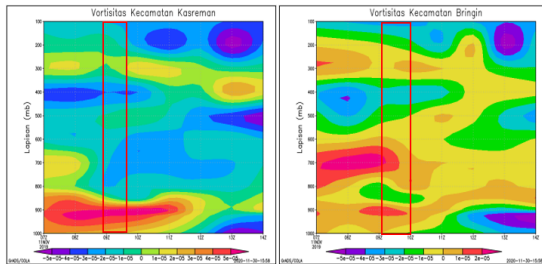
**Analisis Divergensi**



**Gambar 10.** Divergensi lapisan 1000 mb hingga 100 mb di Kecamatan Kasreman (kiri) dan Kecamatan Bringin (kanan)

Pada saat kejadian hujan es di wilayah Ngawi Kecamatan Kasreman dan Kecamatan Bringin (Gambar 10), mulai pukul 07.30 UTC terdapat pola divergensi bernilai negatif di lapisan antara 1000 - 850mb. Hal ini menandakan adanya konvergensi pada wilayah tersebut dilapisan permukaan, yang memperbesar potensi pembentukan awan konvektif penyebab hujan es (Nugroho, 2020). Kemudian pada lapisan sekitar 850-200 mb terdapat pola divergensi yang positif yang juga mendukung adanya proses pertumbuhan awan konvektif.

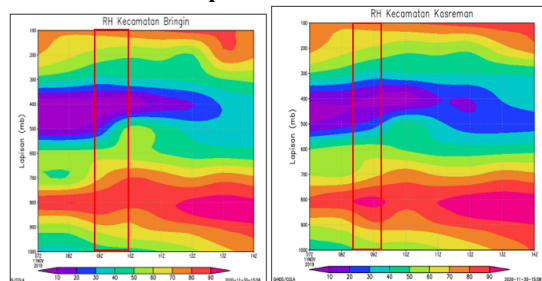
### Analisis Vortisitas



**Gambar 11.** Vortisitas lapisan 1000 mb hingga 100 mb di Kecamatan Kasreman (kiri) dan Kecamatan Bringin (kanan)

Berdasarkan vortisitas (Gambar 11), pada saat kejadian hujan es wilayah Kecamatan Bringin memiliki vortisitas yang fluktuatif. Vortisitas bernilai negatif pada lapisan permukaan hingga sekitar 975mb, lapisan 850-800 mb dan lapisan 600-300 mb. Sedangkan sekitar lapisan 950 mb-850 mb dan lapisan 800mb-600mb bernilai nol hingga positif. Untuk wilayah Kecamatan Kasreman, vortisitas bernilai negatif pada lapisan 825-350 mb. Secara keseluruhan hal ini menandakan bahwa pada saat kejadian hujan es terdapat gaya angkat keatas yang mendukung adanya pembentukan awan konvektif pada sekitar lapisan 850mb hingga 300 mb.

### Analisis Kelembapan Udara



**Gambar 12.** Kelembapan Udara lapisan 1000 mb hingga 100 mb di Kecamatan Kasreman (kiri) dan Kecamatan Bringin (kanan)

Berdasarkan kelembapan secara vertikal (Gambar 12), pada pukul 09.50 UTC saat terjadinya hujan es, di lapisan 1000-850 mb kelembapan udara berkisar 50-80% di Kecamatan Kasreman dan 40-80% di Kecamatan Bringin. Sekitar lapisan 800 mb kelembapan 80 hingga diatas 90% mendominasi pada kedua wilayah tersebut. Kelembapan pada lapisan 750-600 mb berkisar 50-70%, setelah itu kelembapan menurun hingga sekitar lapisan 350mb. Hal ini menandakan bahwa banyak uap air pada lapisan permukaan hingga lapisan 600 mb, terutama pada lapisan 800 mb yang memiliki kelembapan paling tinggi yang

dapat menandakan adanya pembentukan awan konvektif (Sumargo, et al., 2020).

### KESIMPULAN

Berdasarkan analisis streamline, pada saat hujan es terjadi terdapat belokan angin yang melewati Jawa Tengah dan Jawa Timur sehingga menyebabkan adanya pertumbuhan awan konvektif di sekitar wilayah tersebut termasuk di wilayah Kabupaten Ngawi. Pertumbuhan awan konvektif saat hujan es, dibuktikan dengan adanya kondisi atmosfer yang tidak stabil kemudian terjadi daya angkat ke atas atau konvergensi dan terbentuknya awan jenis *cumulonimbus* dengan suhu puncak awan yang sangat dingin di wilayah Kecamatan Kasreman (79,6°C) dan Kecamatan Bringin (78,8°C). Selain itu, berdasarkan analisis suhu muka laut, wilayah Perairan Utara Pulau Jawa memiliki suhu yang lebih hangat sekitar 29,5-30°C dibandingkan Perairan Selatan Pulau Jawa. Oleh karena itu, Perairan Utara Pulau Jawa dapat menghasilkan uap air yang lebih banyak dan mendukung adanya pembentukan awan konvektif *cumulonimbus* yang mengandung kristal es. Banyaknya uap air dapat dibuktikan dengan adanya kelembapan yang tinggi di lapisan 800 mb saat hujan es.

### DAFTAR PUSTAKA

- Fadholi, A. (2012). Analisa Kondisi Atmosfer pada Kejadian Cuaca Ekstrem Hujan Es (Hail). *Simetri, Jurnal Ilmu Fisika Indonesia*, 1(September), 74–80.
- Wicaksono, H., Sadarang, F. R., & Fadlan, A. (2019). Analisis Hujan Es Di Kota Lubuklinggau Dengan Memanfaatkan Data Citra Satelit Himawari-8 Dan Radiosonde. *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika Dan Aplikasinya)*, 3, 130. <https://doi.org/10.20961/prosidingsnfa.v3i0.28526>
- Lestari, R. E., Siadari, E. L., & Putri, A. R. (2016). Analisis Kejadian Cuaca Ekstrem Hujan Es di Kota Medan (Studi Kasus Tanggal 26 Juli 2015 dan 12 September 2016). *Prosiding Seminar Nasional Fisika Dan Aplikasinya*, November.
- Karmini, M. (2000). Hujan Es (Hail) Di Jakarta, 20 April 2000. In *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca* (Vol. 1, Issue 1). <https://doi.org/10.29122/JSTMC.V1I1.2102>
- Dewi, N. K. T., & Munandar, M. A. (2017). Analisis Kondisi Atmosfer Pada Kejadian Hujan Es di Surabaya (Studi Kasus 12 Januari 2017). *Seminar Nasional Fisika Dan Aplikasinya*, 22–27.
- Haryoko, U. (2009). *Laporan Kejadian Angin Kencang di Wilayah DKI Jakarta Tanggal 22 April 2009*. <https://docplayer.info/31531882-Laporan-ke->

- jadian-angin-kencang-di-wilayah-dki-jakarta-tanggal-22-april-2009.html
- Letak Geografis - Pemerintah Kabupaten Ngawi. (n.d.). Retrieved December 23, 2020, from <https://ngawikab.go.id/letak-geografis/>
- Putri, R. J. A. (2016). Pemanfaatan Data Satelit Himawari - 8 Untuk Analisis Kejadian Hujan Sangat Lebat di Kabupaten Nabire, Papua Tengah (Tanggal 12, 21, dan 22 Maret 2016). *Prosiding SNSA*, 195–204.
- Ariwibowo, F. S., Nur, A. A. K., & Indra. (2018). Identifikasi Fenomena Hujan Es Berbasis Analisis Faktor Cuaca Menggunakan Citra Satelit Himawari-8 dan Data Upper Air Sounding (Studi Kasus: Kejadian Hujan Es Tanggal 20 Maret 2018 di Depok). *Jurnal Ilmu Dan Inovasi Fisika*, 2(2), 145–154. <https://doi.org/10.24198/jiif.v2i2.19729>
- Hadiansyah, R., Indranata, A. L., Silitonga, A. K., & Winarso, P. A. (2019). Kajian Kondisi Atmosfer Saat Kejadian Hujan Ekstrem di Padang Sumatera Barat (Studi Kasus Tanggal 14 Februari 2018). *Prosiding SNFA (Seminar Nasional Fisika Dan Aplikasinya)*, 3(0), 246. <https://doi.org/10.20961/prosidingsnfa.v3i0.28556>
- Nugroho, A. D. (2020). Analisis Kejadian Hujan Es Berdasarkan Kondisi Atmosfer dan Citra Satelit Satelit Himawari-8 (Studi Kasus : Banyumas, 25 Desember 2019). *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Geografi Uhamka 2020*. <https://doi.org/10.24198/jiif.v2i2.19711>
- Wang, S., Zhang, M., Pepin, N. C., Li, Z., Sun, M., Huang, X., & Wang, Q. (2014). Recent changes in freezing level heights in High Asia and their impact on glacier changes. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(4), 1753-1765.
- Schauwecker, S., Rohrer, M., Huggel, C., Endries, J., Montoya, N., Neukom, R., ... & Suarez, W. (2017). The freezing level in the tropical Andes, Peru: An indicator for present and future glacier extents. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 122(10), 5172-5189.
- Sumargo, E., Cannon, F., Ralph, F. M., & Henn, B. (2020). Freezing level forecast error can consume reservoir flood control storage: Potentials for Lake Oroville and New Bullards Bar reservoirs in California. *Water Resources Research*, 56(8), e2020WR027072.
- Mardones, P., & Garreaud, R. D. (2020). Future Changes in the Free Tropospheric Freezing Level and Rain-Snow Limit: The Case of Central Chile. *Atmosphere*, 11(11), 1259.