

IDENTIFIKASI HAIL BERDASARKAN ANALISIS FAKTOR CUACA DAN PEMANFAATAN TEKNIK RGB SERTA SWA PADA CITRA SATELIT HIMAWARI 8 (STUDI KASUS KEJADIAN HUJAN ES DI KABUPATEN MALANG PADA 2 MARET 2021)

Identification of Hail based on Weather Factor Analysis and Utilization of RGB and SWA on Himawari-8 Satellite Imagery (Case Study of Hail on 2nd of March 2021 in Malang Regency)

Marinda Nur Auliya^{1)*}, Aditya Mulya²⁾

^{1), 2)} Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Perhubungan 1 No. 5 Komplek Meteorologi BMKG Pondok Betung, Bintaro-Tangerang Selatan, Banten, Indonesia, 15221

*E-mail : marindaauliya@gmail.com

Intisari

Fenomena hujan es di Malang terjadi di Kecamatan Sumbermanjing Wetan (8,1° LS dan 112,4° BT) pada 2 Maret 2021. Penelitian dilakukan dengan menganalisis faktor cuaca global, regional, lokal, dan menganalisis karakteristik awan dari data citra satelit menggunakan metode RGB dan SWA saat terjadi hujan es. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ENSO, anomali suhu permukaan laut, dan MJO tidak berpengaruh terhadap kejadian hujan es. Peta streamline menunjukkan adanya geser angin dan siklon tropis di sekitar Malang. Berdasarkan analisis cuaca permukaan menunjukkan adanya penurunan suhu, yaitu sebesar 4.4°C pada pukul 07.00 UTC hingga 08.00 UTC dan 3.6°C pada pukul 08.00 UTC hingga 09.00 UTC serta kenaikan kelembapan yang signifikan, sebesar 10% pada pukul 07.00 UTC hingga 09.00 UTC. Berdasarkan suhu puncak awan, dapat dianalisis bahwa tahap pertumbuhan terjadi pada pukul 06.00 UTC hingga 07.00 UTC. Tahap matang terjadi dari 07.00 UTC hingga 09.00 UTC. Tahap disipasi terjadi dari pukul 09.00 UTC hingga 10.00 UTC. Suhu puncak awan terendah terjadi pada pukul 07.40 UTC dan 8.40 UTC, yaitu -68,2°C. Berdasarkan metode RGB dan SWA menunjukkan bahwa pada pukul 06.40 UTC tidak banyak awan konvektif di lokasi kejadian, pada pukul 07.40 UTC dan 08.40 UTC terdapat banyak awan konvektif, yaitu cumulonimbus di lokasi kejadian, serta pada pukul 09.40 tutupan awan sudah banyak berkurang di lokasi kejadian. Kedua metode tersebut dapat menggambarkan adanya awan konvektif pada saat kejadian hujan es, namun metode SWA dapat lebih spesifik menunjukkan adanya awan konvektif jenis cumulonimbus.

Kata Kunci: hujan es, cumulonimbus, Himawari-8, RGB, SWA

Abstract

The hail phenomenon in Malang occurred in Sumbermanjing Wetan District (8.1° South Latitude and 112.4° East Longitude) on March 2, 2021. The study was conducted by analyzing global, regional, local weather factors, and analyzing cloud characteristics from satellite image data using the method RGB and SWA during hail. The results showed that ENSO, sea surface temperature anomalies, and MJO had no effect on the incidence of hail. The streamline map shows wind shear and tropical cyclones around Malang. Based on the analysis of the surface weather, it shows a decrease in temperature, which is 4.4°C at 07.00 UTC to 08.00 UTC and 3.6°C at 08.00 UTC to 09.00 UTC as well as a significant increase in humidity, by 10% at 07.00 UTC to 09.00 UTC. Based on the cloud top temperature, it can be analyzed that the growth stage occurs from 06.00 UTC to 07.00 UTC. The ripe stage occurs from 07.00 UTC to 09.00 UTC. The dissipation stage occurs from 09.00 UTC to 10.00 UTC. The lowest cloud top temperatures occurred at 07.40 UTC and 8.40 UTC, which was -68.2°C. Based on the RGB and SWA methods, it shows that at 06.40 UTC there were not many convective clouds at the incident location, at 07.40 UTC and 08.40 UTC there were many convective clouds, namely cumulonimbus at the scene, and at 09.40 the cloud cover had decreased a lot at the incident location. Both methods can describe the presence of convective clouds during hail events, but the SWA method can be more specific in showing the presence of cumulonimbus convective clouds.

Keywords: hail, cumulonimbus, Himawari-8, RGB, SWA

1. PENDAHULUAN

Secara astronomis Kabupaten Malang Jawa Timur terletak pada 7.7° LS – 8.4° LS dan 112.3° BT – 112.9° BT dan secara geografis Kabupaten Malang berbatasan dengan Pantai Selatan, Kabupaten Kediri, Kabupaten Lumajang, dan Kabupaten Pasuruan. Daerah ini termasuk dalam wilayah ekuator yang menerima radiasi matahari setiap tahun, sehingga memiliki suhu yang relatif tinggi. Kondisi atmosfer suatu daerah yang basah akan mendukung terbentuknya awan di daerah tersebut (Wirjohamidjojo dkk., 2013). Fenomena hujan es di Malang terjadi di Kecamatan Sumbermanjing Wetan (8.1° LS dan 112.4° BT) pada 2 Maret 2021. Hujan es adalah presipitasi berupa es, biasanya berbentuk bulat tidak beraturan yang dihasilkan oleh awan konvektif Cumulonimbus (AMS, 2019). Berbeda dengan hujan air, hujan es berbahaya dalam skala besar karena dapat menyebabkan kerusakan atap, pertanian, bahkan penerbangan (Hidayati, 2015). Pertumbuhan awan konvektif yang menjulang tinggi seperti cumulonimbus menunjukkan adanya updraft yang kuat di wilayah tersebut. Umumnya awan hanya akan terbentuk di troposfer dan berhenti tumbuh di stratosfer, namun ada awan dengan sel badai kuat yang dapat menembus stratosfer, yang disebut *overshooting cloud*. Semakin tinggi puncak awan dapat memungkinkan partikel awan melewati titik beku. Ketika awan telah tumbuh melewati titik beku, partikel air yang sangat dingin akan membeku menjadi partikel es. Partikel es ini jatuh karena downdraft dan efek gravitasi (Paski, dkk., 2017). Peningkatan ketinggian isoterm 0°C dapat mengubah tingkat titik leleh (Xie dkk., 2008) dan dapat meningkatkan potensi peristiwa kolisi-koalesensi, yaitu peristiwa tumbukan dan penggabungan antar droplet di dalam awan yang berperan penting dalam pembentukan hujan di awan hangat (Lin dkk., 2005). Berdasarkan penelitian Hidayat dkk., (2017), suhu puncak awan saat kejadian hujan es di Bandung pada 19 April 2017 adalah -74°C dan pada 23 April 2017 sebesar -60°C .

Beberapa faktor cuaca yang mempengaruhi pertumbuhan awan dapat dibedakan menjadi tiga, yaitu faktor cuaca skala global, regional, dan lokal. Faktor cuaca dalam skala lokal meliputi wilayah yang relatif sempit dan waktu yang relatif singkat, seperti suhu udara, kelembapan, dan angin. Faktor cuaca lokal tersebut dalam penelitian Pertiwi (2018) terhadap awan cumulonimbus di Banyuwangi menunjukkan bagian langit yang tertutup awan sekitar 6 hingga 8 oktaf, suhu udara berkisar antara 24.2°C hingga 32°C , dan kelembapan relatif berkisar antara 57% hingga 93%. Analisis skala regional meliputi analisis peta streamline dan *Madden Julian oscillation*. Analisis streamline dilakukan dengan

memperhatikan daerah-daerah yang berpotensi gangguan cuaca seperti daerah tekanan rendah (L), daerah *shearline*, ITCZ (konvergensi), siklon tropis, dan sirkulasi lainnya (Zakir, 2010). *Madden Julian Oscillation* (MJO) adalah fenomena rambatan gelombang osilasi yang bergerak ke arah timur hingga ke timur bumi dengan durasi perulangan 30–90 hari. Analisis skala global meliputi *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) dan suhu permukaan laut. Komponen dari ENSO adalah El Nino dan La Nina, sedangkan komponen atmosfer adalah *southern oscillation index* (Trenberth, 1997). Identifikasi ENSO didasarkan pada beberapa pengukuran, seperti *Southern Oscillation Index* (SOI) dan indeks NINO. Nilai SOI positif hingga kuat positif menunjukkan peristiwa La Nina, sedangkan nilai SOI negatif hingga kuat negatif menunjukkan peristiwa El Nino (Kirono dkk., 2004). Penelitian Dewi dan Marzuki (2020) menunjukkan bahwa indeks yang memiliki korelasi paling kuat dengan wilayah Indonesia adalah indeks Nino 3.4.

Himawari-8 merupakan satelit yang diluncurkan pada tahun 2015 dengan resolusi temporal 10 menit dan memiliki 16 kanal sebagai generasi terbaru dari MTSAT-2 (*Multi Transpose Satellite-2*) yang membuat pengamatan pertumbuhan awan konvektif dengan satelit lebih detail (JMA, 2015). Kanal pada Himawari-8 terdiri dari 3 kanal visibel, 3 kanal infra merah-dekat atau *near infrared* (NIR) dan 10 kanal *Infrared* (IR). setiap panjang gelombang memiliki kegunaan dan karakteristik tersendiri. Dengan banyaknya kanal yang tersedia pada satelit Himawari 8, maka para penggunanya dapat membuat produk RGB (merah hijau biru) dengan mengkombinasikan beberapa kanal (Kushardono, 2012). RGB (Red-Green- Blue) merupakan satu teknik interpretasi memanfaatkan konsep model warna dimana suatu warna yang dihasilkan untuk menganalisis kondisi tertentu yang ada berasal dari 3 warna primer (warna primer) yaitu merah (merah), hijau (hijau), dan biru (biru). Kombinasi dari 3 warna primer tersebut menghasilkan warna-warna turunan (*secondary color*) kuning, magenta, cyan, coklat, hitam dan putih. Dalam pengolahan data citra satelit, teknik RGB digunakan untuk menggabungkan beberapa kanal dengan panjang gelombang yang berbeda agar mendapatkan suatu produk citra yang berisi informasi yang lebih baik daripada yang didapatkan dari citra 1 kanal saja. Berdasarkan Akihiro, (2020) Ada beberapa produk teknik RGB yang dapat digunakan untuk menganalisis dinamika antara lain *Air Mass* yang digunakan untuk menganalisis massa udara dan penurunan udara stratosfer kering yang terkait dengan aliran jet dan anomali vortisitas potensial (PV) dalam sistem sinoptik, *Day Convective Storm* digunakan untuk melihat tutupan awan konvektif dengan updraft kuat saat terdapat radiasi matahari, dan *24-hour Microphysics*

digunakan untuk analisis jenis awan dengan thresholds tertentu saat terdapat maupun tidak terdapat radiasi matahari.

Selain menggunakan teknik RGB, untuk melakukan analisis jenis awan juga dapat menggunakan *Split Window Algorithm* (SWA). SWA merupakan algoritma yang digunakan untuk mendeteksi dan mengklasifikasikan awan air dan es di atmosfer menggunakan data satelit. Berdasarkan penelitian Purbantoro dkk., (2018) menunjukkan hasil verifikasi klasifikasi berdasarkan SWA13-15 dapat mendeteksi lebih banyak jenis awan dibandingkan dengan berdasarkan SWA15-16 pada musim panas dan musim dingin, meskipun SWA15-16 berguna untuk menggambarkan Cumulonimbus di bawah daerah Cirrus yang padat. Kemudian berdasarkan penelitian Tokuno dkk., (1994) verifikasi algoritma berdasarkan data dari 4 saluran VTIR (1 *visible*, 1 *water vapor absorption*, 2 *split window channel*) *onboard* MOS-1 menunjukkan bahwa algoritma bekerja dengan baik untuk mengidentifikasi Cumulonimbus yang berkembang dengan baik, awan tebal berlapis-lapis dan stratus/padat kabut tebal.

Salah satu ketidakpastian terbesar terletak pada evaluasi perubahan frekuensi hujan es, di mana perkembangan awan badai umumnya terjadi pada skala spasial dan temporal yang kecil (Kunz, 2007). Kelangkaan dan standardisasi sistem deteksi dan pemantauan hujan es yang buruk merupakan masalah penting dalam mengidentifikasi kejadian hujan es. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui karakteristik awan yang dianalisis melalui data citra satelit Himawari 8 dan untuk mengetahui kondisi cuaca, baik secara global, regional, maupun lokal pada saat kejadian hujan es di Malang serta menganalisis karakteristik awan menggunakan metode RGB dan SWA pada citra satelit Himawari-8.

2. METODE

Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Sumbermajing Wetan (8,1 LS dan 112,4 BT) Kabupaten Malang pada tanggal 2 Maret 2021. Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data faktor cuaca skala global, regional dan lokal serta data citra satelit Himawari 8. Faktor cuaca skala global yang akan dianalisis adalah data *El Nino Southern Oscillation* (ENSO) berupa grafik indeks Nino 3.4 dan data *Southern Oscillation Index* (SOI) yang diakses melalui <http://www.bom.gov.au>, serta data *sea surface temperature* (SST) yang diakses melalui <https://ncics.org/portfolio/monitor/mjo/>. Analisis pengaruh cuaca regional dilakukan dengan menggunakan data *Madden Julian Oscillation* (MJO) yang diperoleh dari <http://www.bom.gov.au/climate/mjo/> dan peta *streamline* yang diperoleh dari <http://www.bom.gov.au/australia/grafik/arsip/>.

Analisis pengaruh cuaca skala lokal dilakukan dengan menggunakan data pengamatan sinoptik dari Stasiun Geofisika Kelas III Karangkrates Malang Jawa Timur (8.15° LS dan 112.45° BT), yang meliputi tekanan, suhu, kelembapan, arah dan kecepatan angin.

Analisis menggunakan data citra satelit Himawari 8 dilakukan dengan menggunakan teknik RGB dan SWA. Tiga produk teknik RGB yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Air Mass*, *Day Convective Storm*, dan *24-hour Microphysics*, sedangkan pada metode SWA menggunakan algoritma yang dilakukan oleh penelitian Tokuno dkk., (1994) dan Purbantoro dkk., (2018). Adapun penjelasan dari ketiga teknik yang digunakan, yaitu:

- a. *Air Mass* digunakan untuk menganalisis massa udara dan penurunan udara stratosfer kering yang terkait dengan aliran jet dan anomali vortisitas potensial (PV) dalam sistem sinoptik. Warna merah menggunakan kanal S4 dengan gamma 1, warna hijau menggunakan kanal S6 dengan gamma 1, dan warna biru menggunakan kanal WV dengan gamma 1.
- b. *Day Convective Storm* digunakan untuk melihat tutupan awan konvektif dengan updraft kuat saat terdapat radiasi matahari. Warna merah menggunakan kanal S4 dengan gamma 1, warna hijau menggunakan kanal S2 dengan gamma 0.5, dan warna biru menggunakan kanal S7 dengan gamma 1.
- c. *24-hour Microphysics* digunakan untuk analisis jenis awan dengan thresholds tertentu saat terdapat maupun tidak terdapat radiasi matahari. Warna merah menggunakan kanal S1 dengan gamma 1, warna hijau menggunakan kanal S5 dengan gamma 1.3, dan warna biru menggunakan kanal IR dengan gamma 1.

Untuk mengidentifikasi cumulonimbus berdasarkan metode SWA digunakan acuan dua penelitian, yaitu berdasarkan penelitian Tokuno dkk., (1994) dengan mengatur rentang suhu kontur awan pada citra inframerah, yaitu 0°K hingga 0.9°K serta berdasarkan penelitian Purbantoro dkk., (2018) menggunakan data inframerah (IR), *water vapor* (WV), dan *image intensification* (I2). Data IR, WV, dan I2 tersebut dihitung berdasarkan *brightness temperature* (BT) seperti pada persamaan 1 dan 2. Pada persamaan 1, c_0 , c_1 , dan c_2 adalah konstanta yang dapat diperoleh dari header Himawari-8 untuk setiap band, sedangkan T_e dihitung menggunakan persamaan 2. I dihitung untuk setiap piksel dari band menggunakan, h adalah konstanta Planck, k adalah konstanta Boltzmann, λ adalah Panjang gelombang pusat dari band IR, dan c adalah kecepatan cahaya Untuk SWA 13-15, maka menggunakan BT13 (band 13) -15 (band 15) dan untuk SWA15-16 menggunakan BT15-16 (band 16).

$$BT = C_0 + C_1 T_e + C_2 T_e^2 \quad [1]$$

$$T_e = \frac{hc}{k\lambda} \left[\ln \left(\frac{2hc^2}{\lambda^5 I} + 1 \right) \right]^{-1} \quad [2]$$

Metode yang digunakan untuk menganalisis data adalah metode statistik deskriptif. Statistik deskriptif adalah metode yang berkaitan dengan pengumpulan dan penyajian data sehingga dapat memberikan informasi yang bermanfaat (Walpole, 1995). Statistik deskriptif berfungsi untuk menggambarkan atau memberikan gambaran tentang objek yang diteliti melalui data sampel atau populasi (Sugiyono, 2007). Tahapan analisis data adalah:

- Menganalisis faktor cuaca global, regional, dan lokal saat terjadi hujan es yaitu pada tanggal 2 Maret 2021.
 - Menganalisis tahapan perkembangan awan, mulai dari tahap pertumbuhan, kedewasaan, hingga disipasi dari data citra satelit terkait suhu puncak awan dan deret waktu pengembangan awan. Berdasarkan analisis tersebut, waktu-waktu selama tahap pertumbuhan, pematangan, dan disipasi awan konvektif akan diperoleh.
 - Menganalisis tipe awan pada saat awan dalam tahap pertumbuhan, matang, dan disipasi melalui analisis citra satelit Himawari 8 menggunakan metode RGB dan SWA.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisis Efek Cuaca Skala Global

3.1.1 El Nino Southern Oscillation (ENSO)

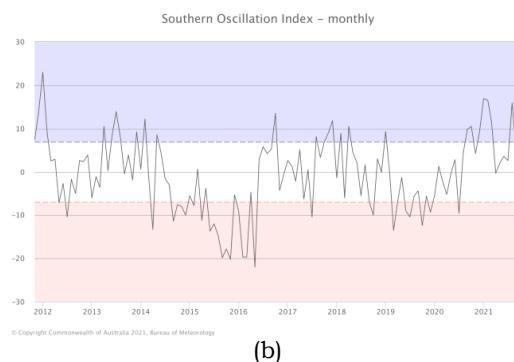
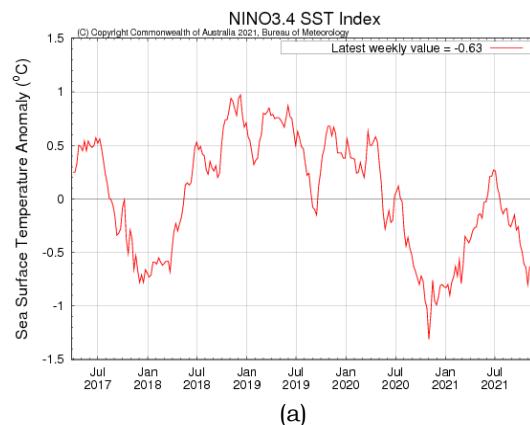
Berdasarkan Gambar 1, dapat dianalisis bahwa grafik ENSO untuk variabilitas indeks Nino 3.4 menunjukkan nilai negatif yang menunjukkan terjadinya El Nino. Nilai tersebut masih berada pada kisaran -1 hingga -0.5 yang mengindikasikan intensitas El Nino masih dalam kategori lemah. Sementara itu, nilai *Southern Oscillation Index* (SOI) Maret 2021 yang berkisar antara 0 hingga 6 secara umum masih dalam kategori normal. Sehingga dapat dianalisis bahwa selama periode hujan es di Malang tidak dipengaruhi oleh fenomena ENSO.

3.1.2 Analisis Suhu Permukaan Laut (SST)

Gambar 2 menunjukkan suhu permukaan laut total selama 7 hari. Suhu permukaan laut di Indonesia secara keseluruhan menunjukkan suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah yang berada pada garis lintang yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan Indonesia terletak di gariskhatulistiwa, sehingga menerima radiasi matahari yang tinggi setiap tahunnya. Kondisi suhu permukaan laut yang tinggi akan meningkatkan kemungkinan terjadinya penguapan yang dapat memberikan sumber uap air di udara sehingga dapat mengembun

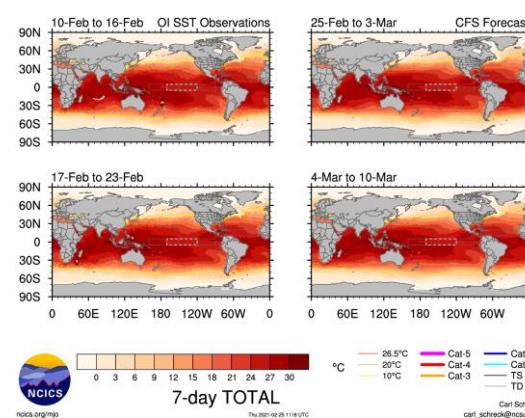
membentuk awan dan menimbulkan hujan.

Gambar 3 menunjukkan anomali suhu permukaan laut selama tiga bulan, yaitu Desember Januari Februari (DJF), Januari Februari Maret (JFM), Februari Maret April (FMA), dan Maret April Mei (MAM). Pada periode JFM dan FMA, dapat diketahui bahwa anomali suhu permukaan laut berkisar antara 0.2°C hingga 0.6°C . Kisaran nilai anomali tersebut menunjukkan bahwa faktor SST tidak mendukung laju evaporasi yang memicu terbentuknya awan konvektif di sekitar wilayah Malang.

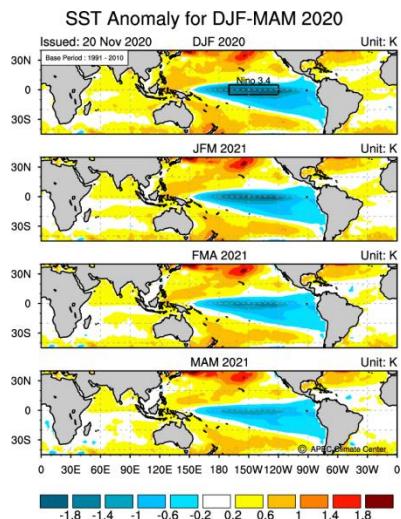


Gambar 1. Grafik (a) variabilitas indeks Nino 3.4 pada Januari 2017 hingga November 2021, dan (b) variabilitas indeks SOI pada Oktober 2011 hingga November 2021.

(Sumber: <http://www.bom.gov.au/>)



Gambar 2. Suhu Permukaan Laut total selama 7 hari dari 10 Februari hingga 10 Maret.
(Sumber: <https://ncics.org/portfolio/monitor/mjo/>)



Gambar 3. Anomali suhu permukaan laut.
(Sumber: <https://apcc21.org/>)

3.2 Analisis Efek Cuaca Skala Regional

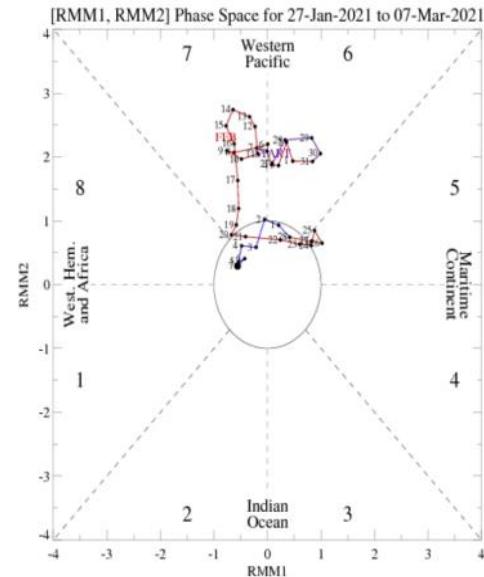
3.2.1 Analisis Madden Julian Oscillation (MJO)

Diagram fase MJO pada Gambar 4 menunjukkan pergerakan MJO. Dari tanggal 27 hingga 31 Januari MJO berada dalam fase 6 di wilayah Pasifik Barat. Kemudian, selama Februari, MJO berada di fase 7 yang juga aktif atau di kawasan Pasifik Barat. Selanjutnya, pada tanggal 1-7 Maret, nilai indeks berada pada lingkaran tengah, sehingga dapat dikatakan MJO Maret 2021 dikategorikan lemah/tidak aktif di wilayah Indonesia. Dengan kata lain, MJO tidak mempengaruhi pola cuaca di sekitar Indonesia.

3.2.2 Analisis Peta Streamline

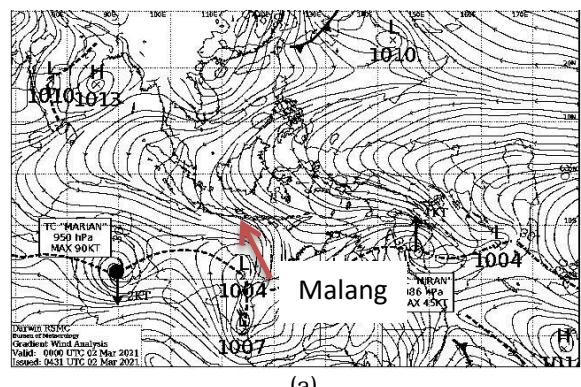
Peta streamline pada Gambar 5 menunjukkan adanya geser angin di sekitar wilayah Malang. Shearline adalah suatu daerah dimana terjadi perubahan arah dan kecepatan angin secara tiba-tiba dimana kecepatan angin cenderung menurun sehingga menyebabkan terjadinya penumpukan massa udara yang menyebabkan terjadinya cuaca ekstrim. Shearline penyebab hujan lebat memiliki kecepatan yang lebih rendah dibandingkan shearline penyebab hujan es (Tuovinen dkk., 2015). Pada peta streamline, dapat diidentifikasi adanya siklon tropis Marian dan Niran di Samudera Hindia. Letak siklon yang relatif dekat dengan Kota Malang ini bisa menjadi salah satu pemicu terjadinya cuaca ekstrim, seperti hujan es. Adanya pusat tekanan rendah pada siklon akan menyebabkan penumpukan massa udara di sekitarnya. Hal ini dapat mendorong pertumbuhan awan konvektif seperti Cumulonimbus sehingga dapat tumbuh lebih tinggi melebihi titik beku serta menyebabkan uap air mendingin menjadi kristal es. Selain itu, dengan proses yang terjadi pada awan dingin serta didukung oleh faktor lain, maka

hujan es dapat terjadi.

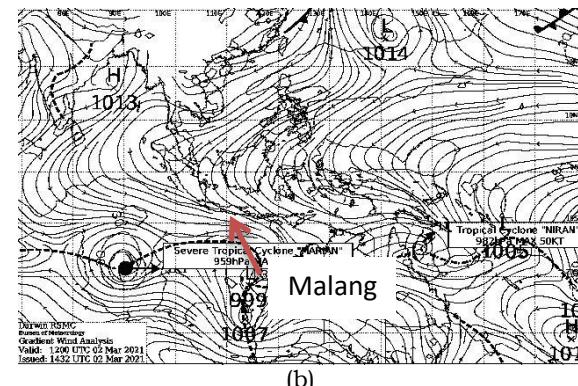


Gambar 4. Diagram fase MJO periode waktu 27 Januari 2021 s.d. 7 Maret 2021.

(Sumber: <https://www.cpc.ncep.noaa.gov/>)



(a)



(b)

Gambar 5. Peta streamline 2 Maret 2021. (a) 00.00 UTC (b) 12.00 UTC

(Sumber:
<http://www.bom.gov.au/australia/charts/index.shtml>)

3.3 Analisis Efek Cuaca Skala Lokal

Data unsur cuaca permukaan diperoleh dari Stasiun Geofisika Karangkrates Malang yang memiliki koordinat 8.1°LS dan 112.4°BT , sedangkan hujan es terjadi pada koordinat 8.1°LS – 112.6°BT . Meski tidak terjadi hujan es pada koordinat tersebut, namun kedekatan lokasi kejadian dengan Stasiun Geofisika Malang merupakan perluasan wilayah BMKG Malang di sekitar kawasan tersebut. Oleh karena itu dilakukan pendekatan melalui hasil observasi sinoptik pada pukul 00.00 UTC sampai dengan pukul 15.00 UTC sebagai data analisis dan ditunjukkan pada Tabel 1 di bawah ini.

Pada tanggal 2 Maret 2021 pukul 04.00 UTC hingga 07.00 UTC terjadi peningkatan suhu udara, namun tidak signifikan. Kemudian pada pukul 07.00 UTC sampai pukul 08.00 UTC terjadi penurunan suhu yang cukup signifikan dengan selisih 4.4°C . Penurunan suhu yang signifikan juga terjadi pada pukul 08.00 UTC hingga 09.00 UTC, yaitu 3.6°C . Penurunan suhu yang signifikan ini dapat terjadi karena panas laten yang dilepaskan selama pembentukan hujan es diserap kembali sehingga suhu hujan es akan beberapa derajat lebih hangat dari suhu awan di sekitarnya (Hidayati, 2015). Kemudian, pada pukul 07.00 UTC hingga 12.00 UTC, kelembapan terus meningkat. Peningkatannya cukup signifikan pada pukul 07.00 UTC menjadi pukul 08.00 UTC sebesar 10%. Penelitian lain juga menunjukkan penurunan yang disertai dengan peningkatan drastis kelembapan udara pada H-2 jam sebelum hujan es terjadi pada 22 Oktober 2011 di Bandung (Hidayati, 2015). Arah dan kecepatan angin pada tanggal 2 Maret 2021 cukup bervariasi, didominasi oleh arah timur dan kecepatan angin tidak signifikan.

Tabel 1. Hasil pengamatan sinoptik tanggal 2 Maret 2021 di Stasiun Geofisika Karangkrates Malang

Waktu (UTC)	Suhu (C)	RH (%)	Arah Angin	Kecepatan Angin (knot)
04	31,2	66	Calm	0
05	31,2	68	South East	4
06	32	61	South West	2
07	32,6	61	North West	2
08	28,2	71	West	6
09	24,6	81	Calm	0
10	23,4	86	East	1
11	22,8	89	East	2
12	22,6	90	East	2

3.4 Analisis Citra Satelit Himawari 8

3.4.1 Analisis Suhu Puncak Awan dan Perkembangan Awan

Berdasarkan analisis citra satelit tanggal 2 Maret 2021 pada Gambar 6 menunjukkan suhu puncak awan terendah terjadi pada pukul 07.40 dan 08.40 UTC, yaitu $-68,2^{\circ}\text{C}$ yang diidentifikasi sebagai kondisi saat tahap matang awan yang menjadi penyebab terjadinya hujan es. satu jam sebelum kejadian, yakni pukul 06.40, suhu puncak awan sebesar $-15,4^{\circ}\text{C}$ yang diidentifikasi sebagai tahap pertumbuhan awan. Kemudian pada pukul 09.40 suhu puncak awan mengalami peningkatan yang diidentifikasi sebagai tahap disipasi. Identifikasi awan cumulonimbus dilakukan dengan melihat daerah tutupan awan dengan suhu puncak awan yang sangat rendah yang dapat mencapai kurang dari $< -50^{\circ}\text{C}$. Sedangkan awan tinggi biasa seperti cirrus yang berada pada ketinggian yang sama dengan puncak awan konvektif biasanya bersuhu rendah, tetapi umumnya tidak sedingin puncak awan cumulonimbus. Kecerahan puncak awan cumulonimbus yang sangat terang menandakan bahwa awan tersebut telah mencapai ketinggian yang sangat tinggi dan ditunjukkan dengan suhu puncak awan yang jika dikonversikan mencapai minus puluhan derajat Celcius dan dapat dipastikan berada dalam fase padat (Karmini, 2000). Pada pukul 07.40 UTC dan 08.40 UTC terjadi pada siang hari di WIB. Hal ini sejalan dengan penelitian Tjasyono (2006) dimana sebagian besar hujan terjadi setelah konveksi maksimum. Hujan konvektif adalah hujan yang berasal dari awan konvektif yang terjadi setelah insolasi maksimum atau setelah pukul 12.00 waktu setempat. Awan konvektif sendiri dapat menimbulkan presipitasi berupa hujan lebat, hujan es, dan kilat.

Pada Gambar 7, tahap pertumbuhan awan ditandai dengan kotak merah, tahap matang ditunjukkan dengan kotak kuning, dan tahap disipasi ditunjukkan dengan kotak hijau. Hal tersebut didasarkan pada suhu puncak awan. Semakin rendah suhu, maka semakin banyak pula awan konvektif yang teridentifikasi. Puncak suhu terendah diidentifikasi sebagai tahap matang awan konvektif. Peningkatan suhu diidentifikasi sebagai tahap disipasi awan konvektif. Tahap pertumbuhan terjadi dari pukul 06.00 UTC hingga 07.00 UTC. Tahap matang terjadi dari 07.00 UTC hingga 09.00 UTC. Tahap disipasi terjadi dari pukul 09.00 UTC hingga 10.00 UTC.

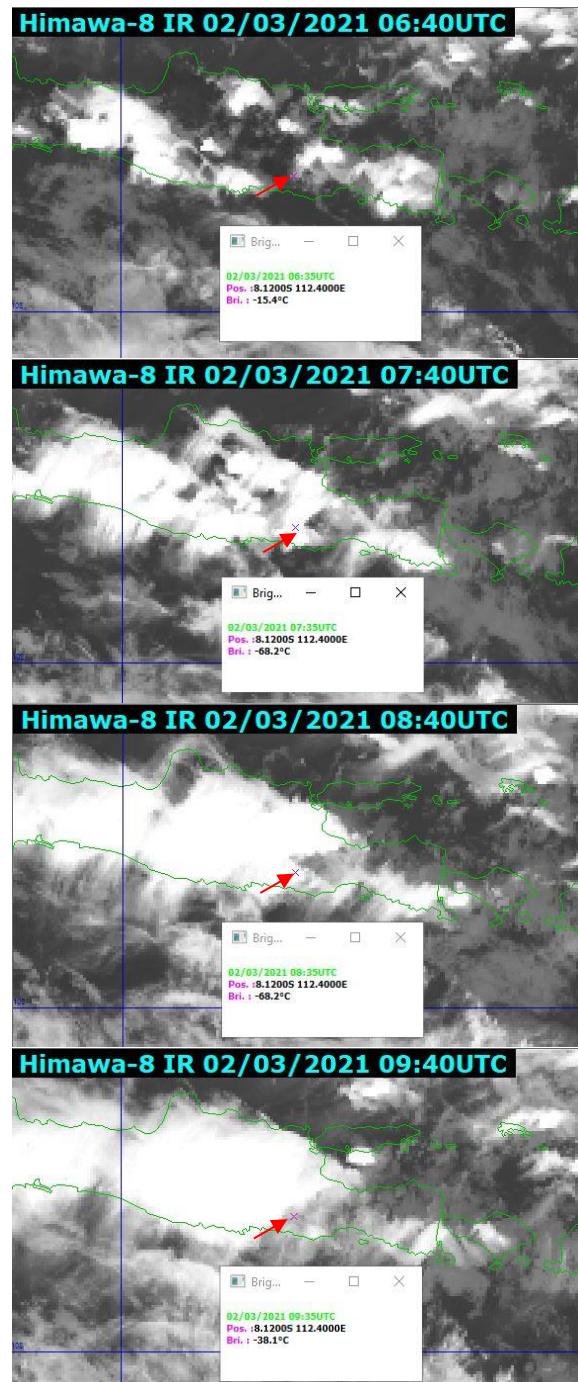
3.4.2 Analisis Awan Menggunakan Teknik RGB dan SWA

Berdasarkan analisis suhu puncak awan, didapatkan bahwa suhu terendah awan terjadi pada pukul 07.40 UTC, yaitu -68.2°C . Selain itu, berdasarkan deret waktu perkembangan awan konvektif, didapatkan bahwa awan berada dalam

tahap pertumbuhan terjadi dari pukul 06.00 UTC hingga 07.00 UTC. Tahap matang terjadi dari 07.00 UTC hingga 09.00 UTC. Tahap disipasi terjadi dari pukul 09.00 UTC hingga 10.00 UTC. Oleh karena itu, pada metode RGB dan SWA berikut, digunakan data pada pukul 06.40 UTC, 07.40 UTC, 08.40 UTC, dan 09.40 UTC untuk menganalisis karakteristik awan lebih lanjut terkait kejadian hujan es. Hasil dari metode RGB teknik Air Mass, Day Convective Storm, dan 24-hour Microphysics secara berurutan ditunjukkan oleh Gambar 8, 9, dan 10.

Berdasarkan metode RGB pada gambar 8, 9, dan 10 dapat dianalisis bahwa pada pukul 06.40 UTC, yaitu tahap pertumbuhan pada gambar 8 menunjukkan tidak terlalu banyak awan di sekitar lokasi kejadian dan umumnya didominasi oleh massa udara hangat dan awan menengah, pada gambar 9 menunjukkan tidak terlalu banyak awan di sekitar lokasi kejadian dan umumnya didominasi oleh awan presipitasi tebal dengan partikel es yang besar, serta pada gambar 10 menunjukkan tidak terlalu banyak awan di sekitar lokasi kejadian dan umumnya didominasi oleh awan Cumulonimbus yang tebal.

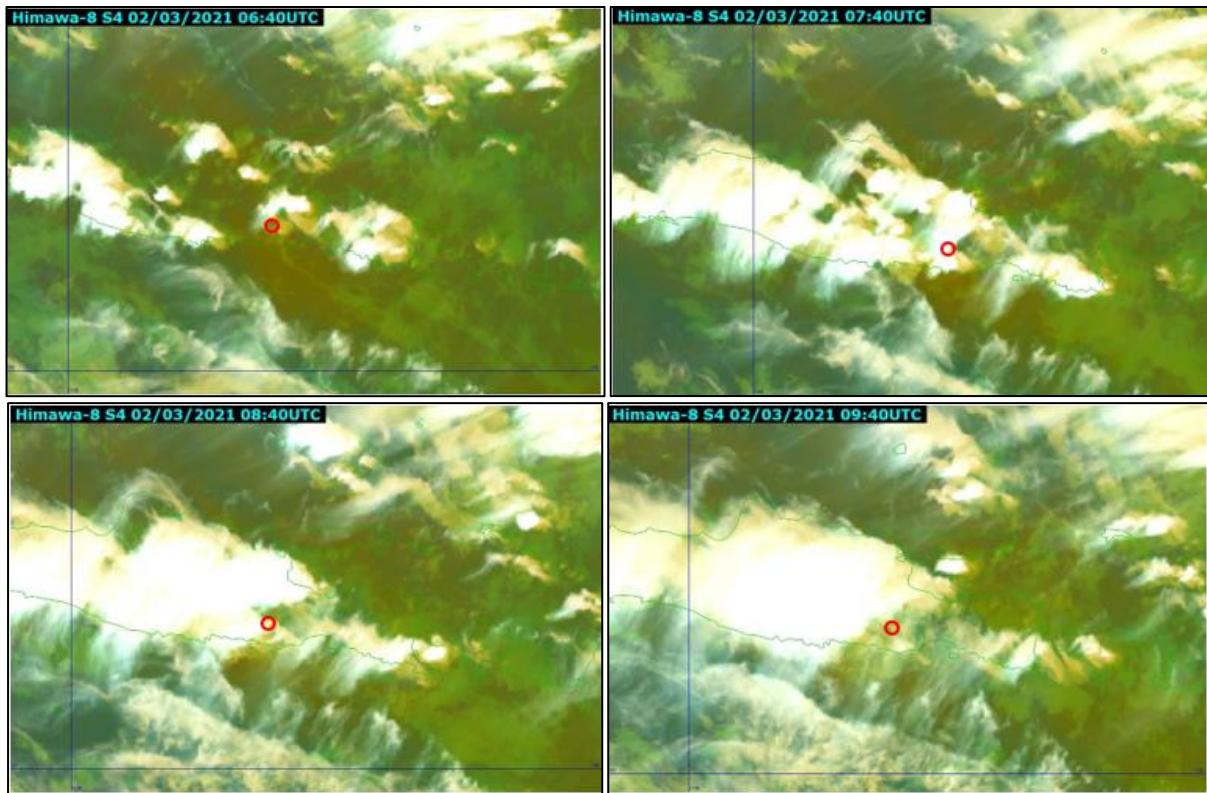
Pada tahap matang, yaitu pukul 07.40 UTC hingga 08.40 UTC pada gambar 8 menunjukkan adanya awan tebal hingga lapisan tinggi, pada gambar 9 menunjukkan adanya awan presipitasi tebal yang mengandung partikel es yang besar dan kecil, serta pada gambar 10 menunjukkan adanya awan Cumulonimbus tebal yang semakin berkembang di lokasi kejadian. Awan-awan tersebut dapat diidentifikasi sebagai awan konvektif penyebab hujan es di lokasi kejadian. Kemudian pada pukul 09.40 UTC, saat tahap disipasi pada gambar 8 menunjukkan awan mulai berkurang di lokasi kejadian yang ditunjukkan oleh warnanya yang tidak lagi putih, pada gambar 9 menunjukkan awan telah berkurang di lokasi kejadian yang ditunjukkan oleh warnanya tidak lagi merah atau kuning melainkan cenderung ungu yang mengindikasikan adanya awan Cirrus tipis, serta pada gambar 10 menunjukkan awan dominan masih Cumulonimbus tebal, namun sudah semakin berkurang tutupannya.



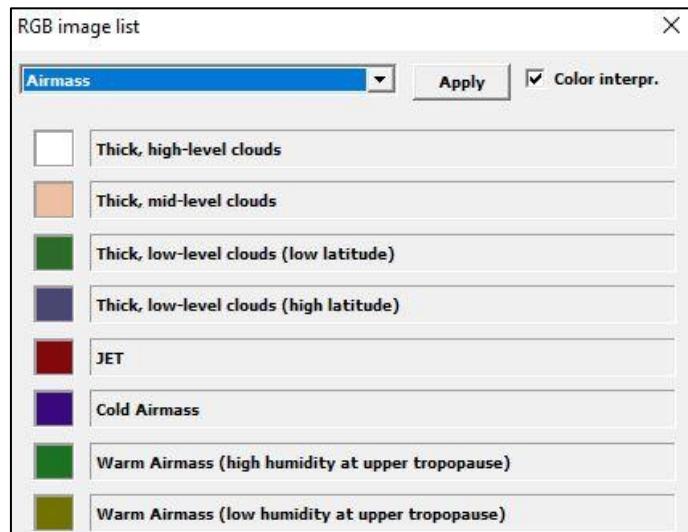
Gambar 6. Perkembangan suhu puncak awan pada 2 Maret 2021 pukul 06.40 UTC hingga 09.40 UTC



Gambar 7. Deret Waktu perkembangan suhu puncak awan konvektif pada 2 Maret 2021 di lokasi kejadian hujan es

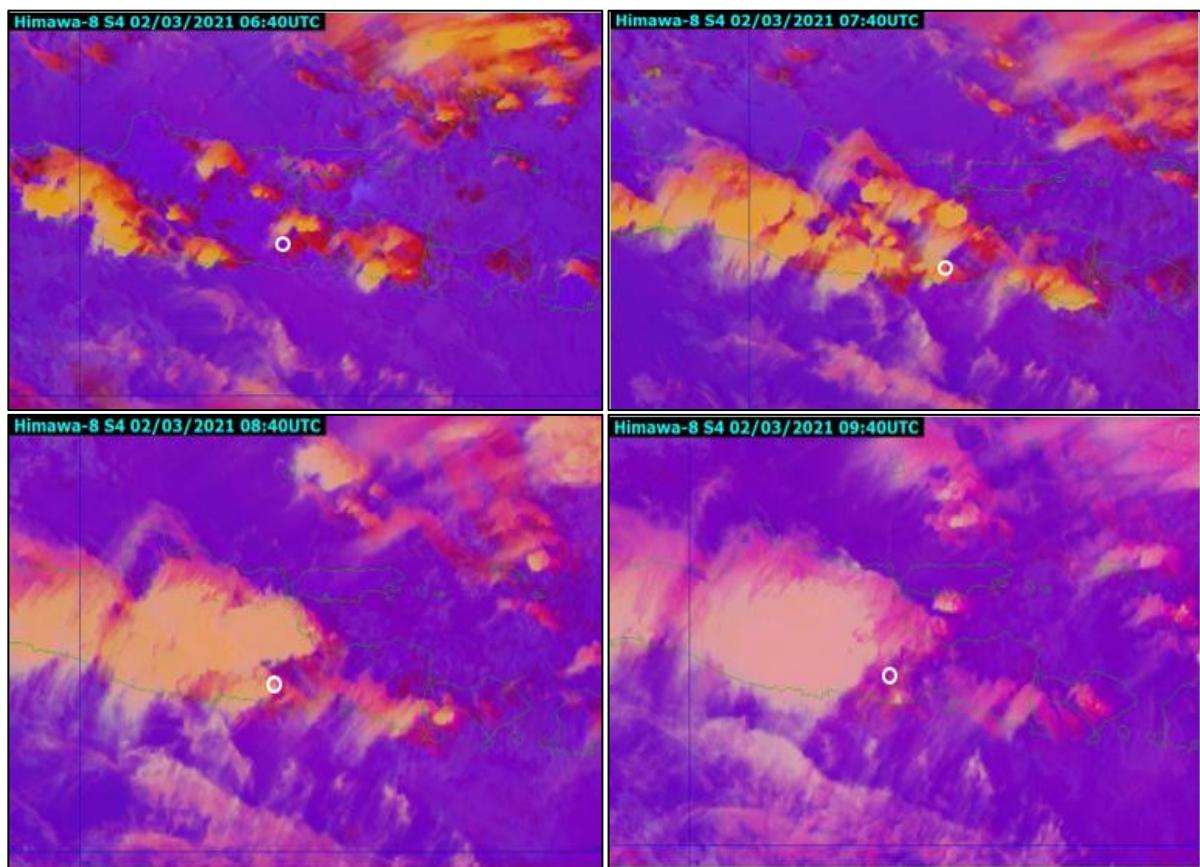


(a)

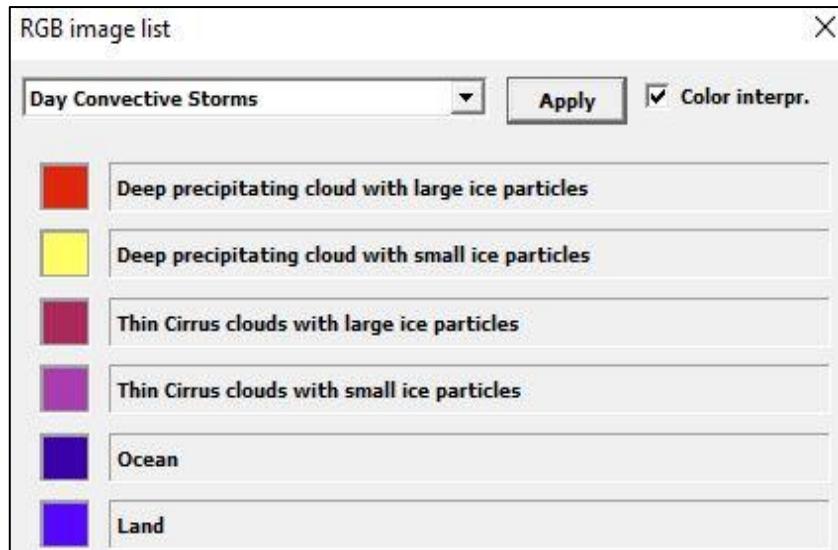


(b)

Gambar 8. Perkembangan awan (a) menggunakan teknik Air Mass pada tanggal 2 Maret 2021 pukul 06.40 UTC hingga 09.40 UTC (b) interpretasi teknik Air Mass

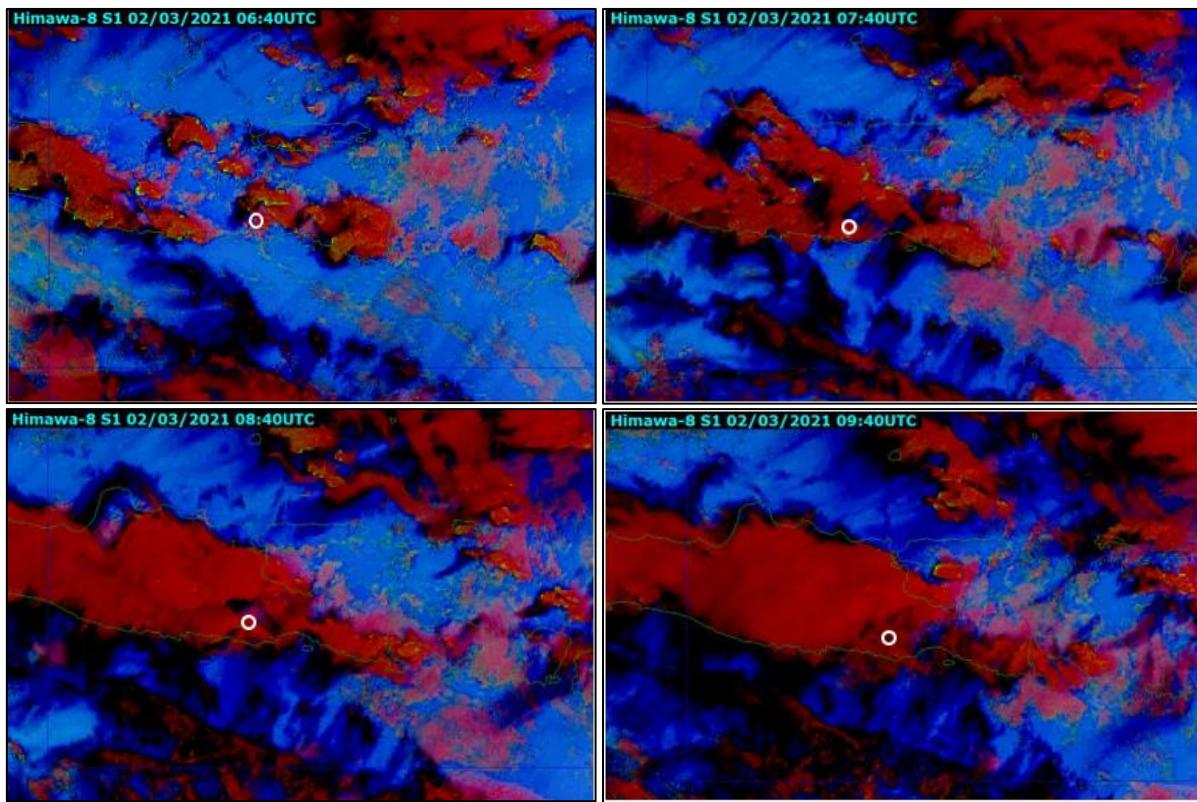


(a)

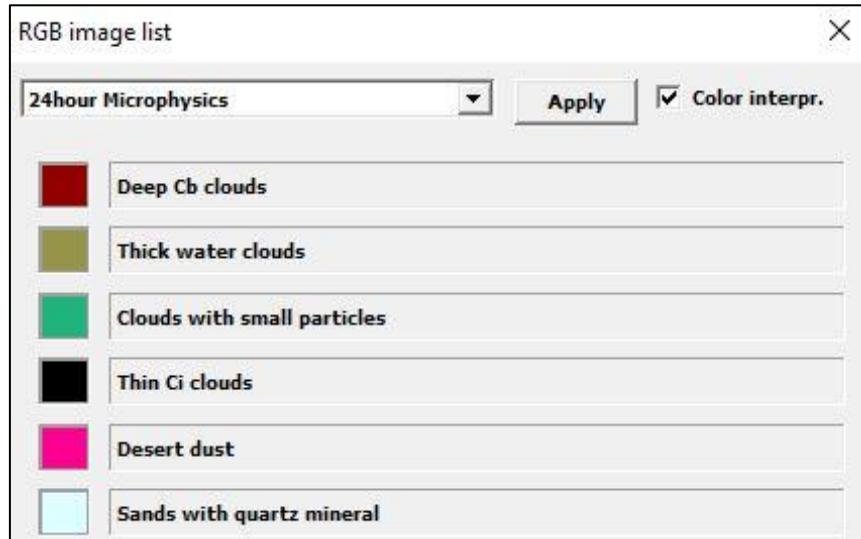


(b)

Gambar 9. Perkembangan awan (a) menggunakan teknik Day Convective Storm pada tanggal 2 Maret 2021 pukul 06.40 UTC hingga 09.40 UTC (b) interpretasi teknik Day Convective Storm



(a)

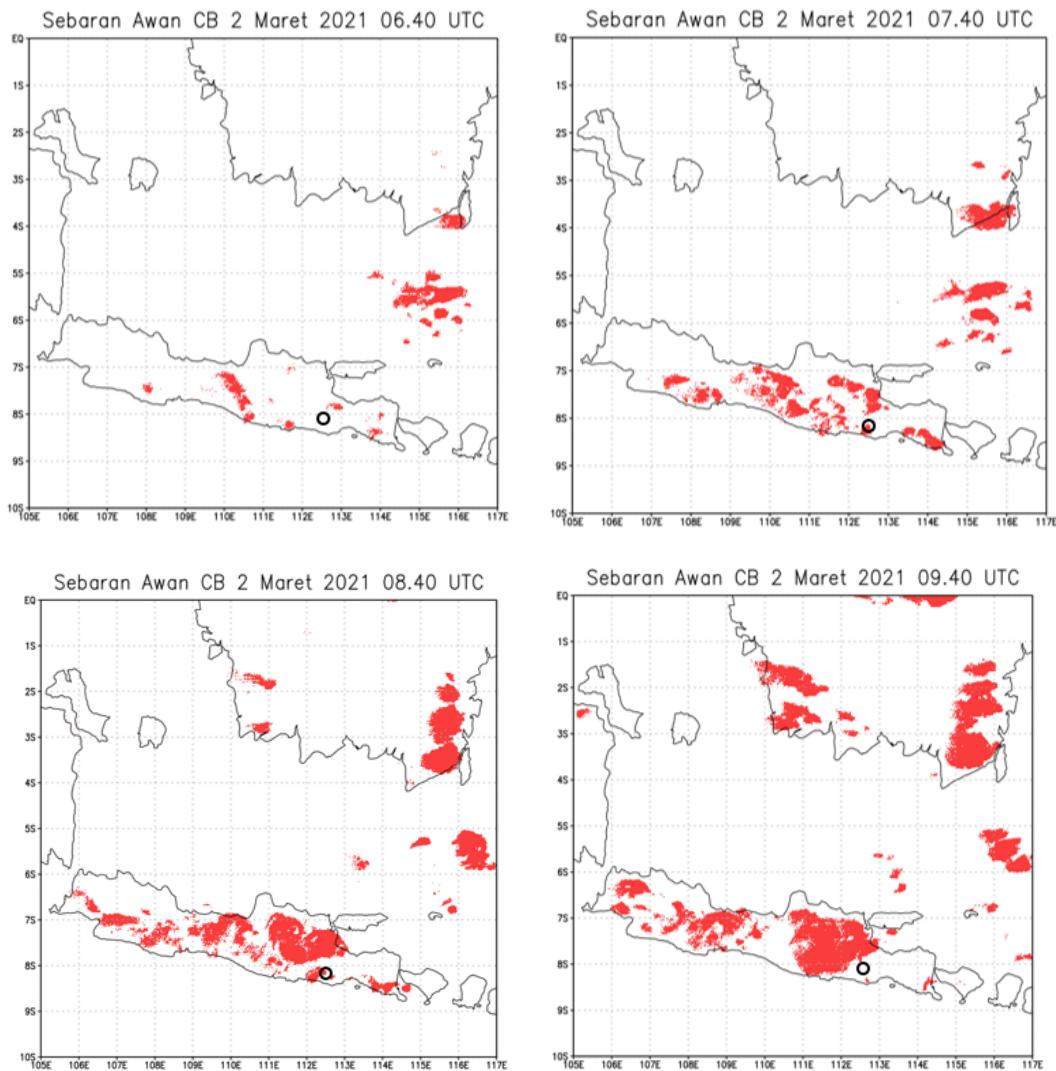


(b)

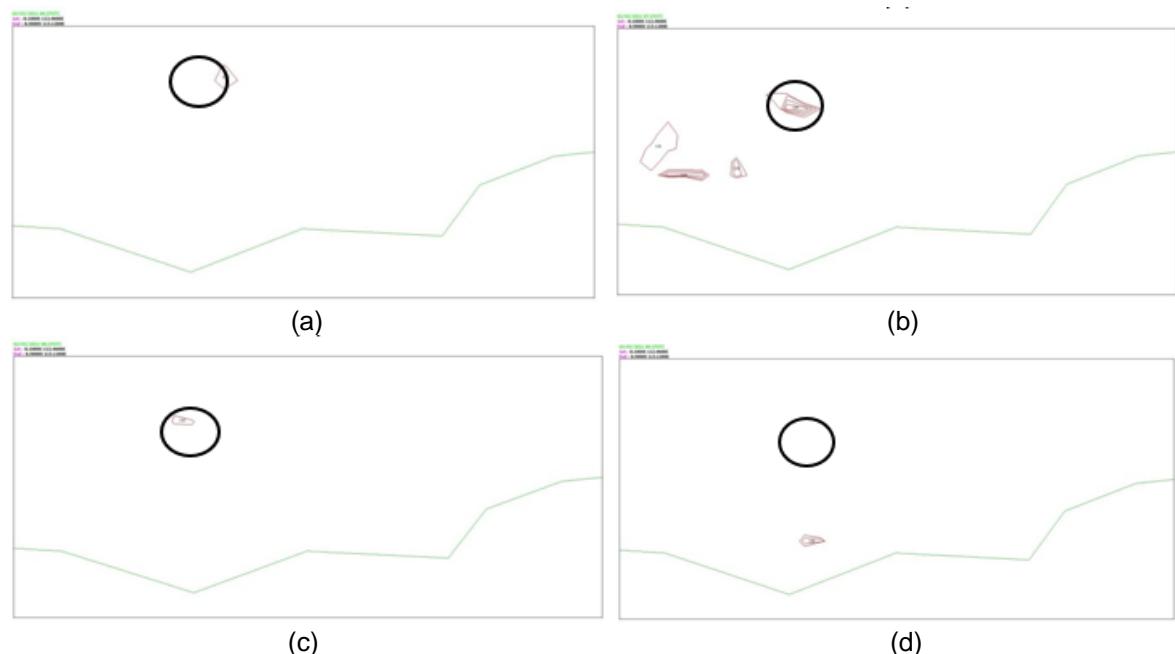
Gambar 10. Perkembangan awan (a) menggunakan teknik 24-hour Microphysics pada tanggal 2 Maret 2021 pukul 06.40 UTC hingga 09.40 UTC (b) interpretasi teknik 24-hour Microphysics

Berdasarkan metode SWA untuk menganalisis awan cumulonimbus pada Gambar 11 dan awan cumulonimbus tinggi saat musim panas pada Gambar 12 dapat dianalisis bahwa pada pukul 06.40 UTC, yaitu tahap pertumbuhan pada gambar 11 menunjukkan tidak ada awan cumulonimbus di sekitar lokasi kejadian serta pada Gambar 12 menunjukkan terdapat awan cumulonimbus tebal di sekitar lokasi kejadian. Pada tahap matang, yaitu pukul 07.40 UTC

hingga 08.40 UTC pada Gambar 11 dan 12 menunjukkan adanya awan cumulonimbus di lokasi kejadian yang ditunjukkan oleh adanya garis kontur pada Gambar 13. Kemudian pada pukul 09.40 UTC, saat tahap disipasi pada Gambar 11 dan 12 menunjukkan awan Cumulonimbus sudah tidak ada di lokasi kejadian.



Gambar 11. Sebaran awan cumulonimbus menggunakan metode SWA dari penelitian Tokuno dkk., (1994) pada tanggal 2 Maret 2021 pukul 06.40 UTC hingga 09.40 UTC



Gambar 12. Sebaran awan cumulonimbus menggunakan metode SWA dari penelitian Purbantoro dkk., (2018) pada tanggal 2 Maret 2021 pukul (a) 06.40 UTC (b) 07.40 UTC (c) 08.40 UTC (d) 09.40 UTC

4. KESIMPULAN

Pada faktor cuaca global, fenomena ENSO dan anomali suhu permukaan laut tidak berpengaruh terhadap terjadinya hujan es. Pada faktor cuaca regional, fenomena MJO tidak mempengaruhi hujan es dan pada peta streamline menunjukkan adanya shearline dan terdapat siklon tropis di sekitar wilayah Malang yang dianalisis dapat mempengaruhi kejadian hujan es. Pada faktor cuaca lokal terjadi penurunan suhu yang signifikan dari pukul 07.00 UTC hingga 09.00 UTC, yaitu sebesar 4.4°C dan 3.6°C serta peningkatan kelembaban udara dari pukul 07.00 UTC menjadi pukul 08.00 UTC sebesar 10%. Berdasarkan suhu puncak awan dianalisis bahwa tahap pertumbuhan terjadi pada pukul 06.00 UTC hingga 07.00 UTC. Tahap matang terjadi dari 07.00 UTC hingga 09.00 UTC. Tahap disipasi terjadi dari pukul 09.00 UTC hingga 10.00 UTC. Suhu puncak awan pada 07.40 UTC dan 8.40 UTC adalah -68.2°C . Berdasarkan Metode RGB dapat disimpulkan bahwa pada tahap pertumbuhan, yaitu pukul 06.40 UTC tidak banyak awan konvektif di lokasi kejadian dan cukup banyak awan di sekitar lokasi kejadian. Pada tahap matang, yaitu pukul 07.40 UTC dan 08.40 UTC terdapat banyak awan konvektif, yaitu Cumulonimbus di lokasi kejadian. Pada tahap disipasi, yaitu pukul 09.40 tutupan awan sudah banyak berkurang di lokasi kejadian. Berdasarkan metode SWA dapat disimpulkan bahwa pada tahap pertumbuhan, yaitu pukul 06.40 UTC tidak ada awan Cumulonimbus di lokasi kejadian. Pada tahap matang, yaitu pukul 07.40 UTC dan 08.40 UTC terdapat awan Cumulonimbus di lokasi kejadian. Pada tahap disipasi, yaitu pukul 09.40 awan Cumulonimbus sudah tidak ada di lokasi kejadian. Metode RGB dan SWA tersebut dapat menggambarkan adanya awan konvektif pada saat kejadian hujan es, namun dengan metode SWA dapat lebih spesifik menunjukkan adanya awan konvektif jenis Cumulonimbus.

5. DAFTAR PUSTAKA

- American Meteorology Society., (2019), *Glossary of Meteorology*. (http://glossary.ametsoc.org/wiki/Main_Page).
- Akihiro, S. (2020). *Introduction to Himawari-8 RGB composite imagery*. Meteorological Satellite Center Technical Note. 65.
- Dewi, S.M., Marzuki. Analisis Pengaruh Pergeseran Lokasi ENSO terhadap Curah Hujan di Indonesia, Jurnal Fisika Unand, Vol. 9, no 2 pp 176 – 182. doi: 10.25077/jfu.9.2.176-182.2020.
- Hidayat, A. M., Efendi, U., Rahmadini H. N. (2017). Identifikasi Kejadian Hujan Es Berbasis Analisis Faktor Cuaca, Citra Satelit dan Model Numerik dengan Aplikasi GrADS (Studi Kasus: Kejadian Hujan Es Tanggal 19 dan 23 April 2017 di Bandung). Seminar Nasional Penginderaan Jauh ke-4 Tahun 2017, 429-440.
- Hidayati, R. (2015), Analisis Kejadian Hujan Es di Wilayah Bandung Berdasarkan Kondisi Atmosfer dan Citra Satelit. Fibusi (JoF) 3(1)
- JMA, (2015), *Himawari User's Guide*, 9^{http://www.jmanet.go.jp/msc/en/support/index.htm}
- Karmini, M. (2000). Hujan Es (Hail) di Jakarta, 20 April 2000. Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca 1(1), 27-31. doi: 10.29122/jstmc.v1i1.2102
- Kirono, D. G. C., Hadi, M. P., Nurjani, E. (2004). Laporan Komprehensif Hasil Penelitian Hibah Bersaing XI Tahun Anggaran 2003-2004 Pengembangan Sistem Prakiraan Penyimpangan Musim Untuk Peringatan Dini Bencana Kekeringan dan Banjir di Indonesia.
- Kunz, M. (2007). The skill of convective parameters and indices to predict isolated and severe thunderstorms. Nat. Hazards Earth Syst. Sci. 7, 327–342. doi: 10.5194/nhess-7-327-2007.
- Kushardono, D. (2012). Kajian Satelit Penginderaan Jauh Cuaca Generasi Baru Himawari 8 dan 9. Jurnal Inderaja Vol. 3 No.5, Desember 2012.
- Lin, H. M., Wang, P. K., Schlesinger, R. E. (2005). *Three-dimensional nonhydrostatic simulations of summer thunderstorms in the humid subtropics versus high plains*. Atmos. Res. 78, 103–145. doi: 10.1016/j.atmosres.2005.03.005.
- Paski, J. A. I., Permana, D. S., Sepriando, A., dan Pertiwi, D. A. S. (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, October 2017.
- Pertiwi, B. D. (2018). Analisis Karakteristik Awan Cumulonimbus Menggunakan Citra Satelit dan Data Cuaca Permukaan Wilayah Banyuwangi. Skripsi. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Purbantoro, B., Aminuddin, J., Manago, N., Toyoshima, K., Lagrosas, N., Sumantyo, J.T.S. and Kuze, H. (2018) *Comparison of Cloud Type Classification with Split Window Algorithm Based on Different Infrared Band Combinations of Himawari-8 Satellite*. Advances in Remote Sensing, 7, 218-234. doi: 10.4236/ars.2018.73015.
- Sugiyono. (2007). Statistika Untuk Penelitian. Bandung: Penerbit Alfabeta.
- Tjasjono, B. (2004). Klimatologi. Bandung: ITB.
- Tokuno, M., Tsuchiya, K. (1994). *Classification of cloud types based on data of multiple satellite sensors*. Advance in Space

- Research. 14, 199-206. doi: 10.1016/0273-1177(94)90216-X.
- Trenberth, K. E., Caron, J. M. (2000). The Southern Oscillation Revisited: Sea Level Pressures, Surface Temperatures and Precipitation. *Journal of Climate*. 13,4358–4365. doi: 10.1175/1520-0442(2000)013<4358:TSORSL>2.0.CO;2.
- Tuovinen, J., Rauhala, J., Schultz, D. M. (2015). *Significant-Hail-Producing Storms in Finland: Convective-Storm Environment and Mode*. American Meteorological Society. 30(4), 1064-1076. doi: 10.1175/WAF-D-14-00159.1.
- Walpole, R. E., Myers, R. H. (1995). Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan Edisi ke-4. Bandung: Penerbit ITB.
- Wirjohamidjojo., Soerjadi., Yunus, S. (2013), Meteorologi Sinoptik. Jakarta: Puslitbang BMKG.
- Xie, B., Zhang, Q., Wang, Y. (2008). Trends in hail in China during, *Geophys. Res. Lett.* 35, 1960-2005. doi: 10.1029/2008GL034067.
- Zakir, A. (2010). Modul Diklat Meteorologi Publik. Jakarta: Pusat Pendidikan dan Pelatihan BMKG.