

## IDENTIFIKASI KEJADIAN HUJAN ES MENGGUNAKAN CITRA RADAR DAN SATELIT CUACA

**Aries Kristianto<sup>1</sup>, Immanuel Jhonson Arizona Saragih<sup>1,2</sup>, Gabriella Larasati<sup>1</sup>,  
dan Kartika Akib<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Perhubungan I No. 5, Pondok Betung, Tangerang Selatan - 15221, Indonesia, email: aries4stmkg@gmail.com

<sup>2</sup>Pengamat Meteorologi, Stasiun Meteorologi Kualanamu, Jl. Tengku Heran Desa Kebun Kelapa, Lubuk Pakkam, Deli Serdang - 15221, Indonesia, email: immanuel.saragih@bmgk.go.id

### ABSTRACT

*Hail is one of the most difficult hydro-meteorological disasters to forecast. The best method for detecting hail events is to use radar and weather satellite imagery analysis. Radar and satellite are remote sensing methods that have different observation principles. Radar imagery and weather satellites are commonly used for now-casting forecast. One method of identifying hailstorms using weather radar images is the Severe Hail Index (SHI) method. The radar image parameters analysed are SHI, Possibility of Severe Hail (POSH), and Maximum Expected Hail Size (MEHS). Satellite weather imagery data is used to analyse temporally (time series) and spatial cloud temperature variations. This study analyses the occurrence of hail in Surabaya and Jakarta. The results show that radar images and weather satellites can identify hail events in Surabaya and Jakarta. Weather radar images detect hail events at  $-20^{\circ}\text{C}$ . On the other hand, satellite imagery detects the occurrence of hail at cloud peak temperatures of less than  $-60^{\circ}\text{C}$ .*

**Keywords :** overtopping, piping, QPMF, inundation, flood hazard categories

### ABSTRAK

*Hujan es (hail) merupakan salah satu bencana hidrometeorologis sulit diprakirakan karena berlangsung cepat. Metode terbaik untuk mendeteksi kejadian hujan es adalah menggunakan analisis citra radar dan satelit cuaca. Radar dan satelit merupakan metode penginderaan jauh (remote sensing) yang memiliki prinsip pengamatan yang berbeda. Citra radar dan satelit cuaca umumnya digunakan untuk prakiraan jangka pendek (nowcasting). Salah satu metode indentifikasi kejadian hujan es menggunakan citra radar cuaca adalah metode Severe Hail Index (SHI). Parameter citra radar yang dianalisis diantaranya adalah nilai SHI, Possibility of Severe Hail (POSH), dan Maximum Expected Hail Size (MEHS). Data citra satelit cuaca digunakan untuk menganalisis variasi suhu puncak awan secara temporal (time series) dan spasial. Dalam kajian ini dilakukan analisis kejadian hujan es di wilayah Surabaya dan Jakarta. Hasil kajian menunjukkan bahwa citra radar dan satelit cuaca dapat mengidentifikasi kejadian hujan es di wilayah Surabaya dan Jakarta. Citra radar cuaca mendeteksi kejadian hujan es pada ketinggian  $-20^{\circ}\text{C}$ . Di lain sisi, citra satelit mendeteksi kejadian hujan es pada suhu puncak awan kurang dari  $-80^{\circ}\text{C}$ .*

**Kata kunci :** overtopping, piping, QPMF, genangan, kategori bahaya banjir

## **1. PENDAHULUAN**

Hujan es (hail) merupakan presipitasi yang berbentuk batu es tak beraturan dengan diameter sekitar 5 mm yang terbentuk dari awan konvektif, biasanya awan Cumulonimbus (Tjasyono, 2004). Fenomena hujan es sebenarnya bukan fenomena cuaca yang baru di Indonesia, namun intensitasnya masih kurang. Hujan es bersifat lokal, tidak merata, terjadi sangat mendadak, dan sulit diperkirakan (Fadhli, 2012).

Fenomena hujan es yang terjadi secara mendadak ini sering kali mengakibatkan kerugian yang tidak sedikit bagi masyarakat, misalnya kerusakan pada bangunan maupun lahan pertanian. Berdasarkan peraturan Kepala BMKG Nomor Kep. 009 tahun 2010 tentang Prosedur Standar Operasional Pelaksanaan Peringatan Dini, Pelaporan, dan desiminasi Informasi Cuaca Ekstrem, hujan es termasuk dalam kategori cuaca ekstrem.

Analisis suatu kejadian fenomena cuaca ekstrem perlu dilakukan sebagai langkah awal dalam memprediksi cuaca ekstrem tersebut kedepannya, sehingga dapat mengurangi dampak buruk yang ditimbulkan. Untuk mendeteksi potensi terjadinya hujan es ada beberapa alat, yaitu menggunakan data radiosonde, data satelit, dan data radar. Karena kejadian hujan es yang berlangsung cepat maka metode yang paling tepat digunakan adalah dengan menggunakan data radar.

Salah satu jenis radar yang dapat digunakan untuk memprediksi hujan es adalah radar single-polarization. Dalam menggunakan data radar single-polarization untuk estimasi hujan es ini sendiri ada beberapa metode yang dapat diterapkan, yaitu metode CAPPI, metode maxPPI, metode Auer, metode Waldvogel, metode Echotop, metode Severe Hail Index (SHI), metode Vertically Integrated Liquid (VIL), dan metode VIL density (Holleman, 2001).

Pemanfaatan data radar ini diharapkan dapat mendeteksi kondisi atmosfer sebelum terjadi maupun saat terjadinya hujan es di Indonesia, sehingga dapat dijadikan peringatan dini guna mengantisipasi dampak buruk yang diakibatkan.

## **2. METODOLOGI**

### **2.1 Lokasi Penelitian**

Wilayah yang dikaji pada penelitian ini adalah wilayah Surabaya dan Jakarta. Lokasi penelitian didasarkan pada data radar yang teramati oleh dua radar cuaca, yaitu radar cuaca Stasiun Meteorologi Kelas I Juanda - Surabaya yang terletak di Desa Pranti, Kecamatan Sedati, Kabupaten Sidoarjo, Provinsi Jawa Timur dan radar cuaca Stasiun Meteorologi Klas I Soekarno-Hatta - Cengkareng, Kota Tangerang, Provinsi Banten. Kejadian hujan es tanggal 20 Februari 2014 dan 20 Februari 2015 terjadi di Surabaya dan hujan es tanggal 22 April 2014 terjadi di Jakarta.

## 2.2 Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah POSH (Posibility of Severe Hail) dalam satuan persen (%) dan dihitung dengan rumus data radar cuaca volumetrik yang kemudian diolah menjadi data reflektivitas, data radiosonde, data satelit, dan data model reanalysis European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF).

## 2.3 Metode Penelitian

Ada beberapa indeks yang dihasilkan, yaitu SHI untuk indeks hujan es, POSH sebagai nilai probabilitas hujan es, dan MEHS sebagai nilai prakiraan ukuran maksimum hailstone (Witt, dkk., 1998).

Indeks SHI bergantung pada nilai fluks energi kinetik hujan es, nilai reflektivitas awan, dan nilai ketinggian temperatur 0°C dan -20°C yang kemudian diintegrasikan dari ketinggian freezing level hingga tinggi puncak awan. Indeks SHI dihitung dalam satuan J/m.detik dan dirumuskan sebagai berikut.

$$SHI = 0,1 \int_{H_0}^{H_T} W_T(H) \dot{E} dH \quad (1)$$

dengan  $H_0$  adalah freezing level dalam meter,  $H_T$  adalah tinggi puncak awan dalam meter,  $W_T(H)$  adalah temperature-based weighting function, dan  $\dot{E}$  adalah fluks energi kinetik hujan es. Nilai  $W_T(H)$  dirumuskan sebagai berikut.

$$W_T(H) = \begin{cases} 0; & \text{untuk } H \leq H_0 \\ \frac{H - H_0}{H_{m20} - H_0}; & \text{untuk } H_0 < H < H_{m20} \\ 1; & \text{untuk } H \geq H_{m20} \end{cases} \quad (2)$$

dimana  $H$  adalah ketinggian inti sel awan dilihat dari ketinggian maksimum profil reflektivitas 45 dBZ, dan  $H_{m20}$  adalah ketinggian suhu -20° C. Sedangkan nilai flux energi kinetik hujan es ( $\dot{E}$ ) dirumuskan dengan persamaan berikut.

$$\dot{E} = 5 \times 10^{-6} \times 10^{0,084Z} W(Z) \quad (3)$$

$$W(Z) = \begin{cases} 0; & \text{untuk } Z \leq Z_L \\ \frac{Z - Z_L}{Z_U - Z_L}; & \text{untuk } Z_L < Z < Z_U \\ 1; & \text{untuk } Z \geq Z_U \end{cases} \quad (4)$$

dimana  $Z$  adalah reflektivitas maksimum,  $Z_L$  adalah batas bawah reflektivitas (40 dBz) dan  $Z_U$  adalah batas atas reflektivitas (50 dBZ). Nilai reflektivitas maksimum ditentukan melalui analisis produk CMAX ( $Z$ ).

Nilai SHI kemudian dibandingkan dengan nilai Warning Threshold (WT) sebagai batas ambang prediktor kejadian hujan es yang merupakan fungsi dari ketinggian freezing level. Lokasi dengan nilai SHI yang lebih besar daripada nilai WT adalah lokasi dimana kejadian hujan es terjadi. Nilai WT dan SHI kemudian digunakan untuk menghitung nilai POSH dan nilai MEHS yang dirumuskan. WT, POSH, dan MEHS dirumuskan sebagai berikut.

$$WT = 57,5H_0 - 121 \quad (5)$$

$$POSH = 29 \ln\left(\frac{SHI}{WT}\right) + 50 \quad (6)$$

$$MEHS = 2,54 SHI^{0,5} \quad (7)$$

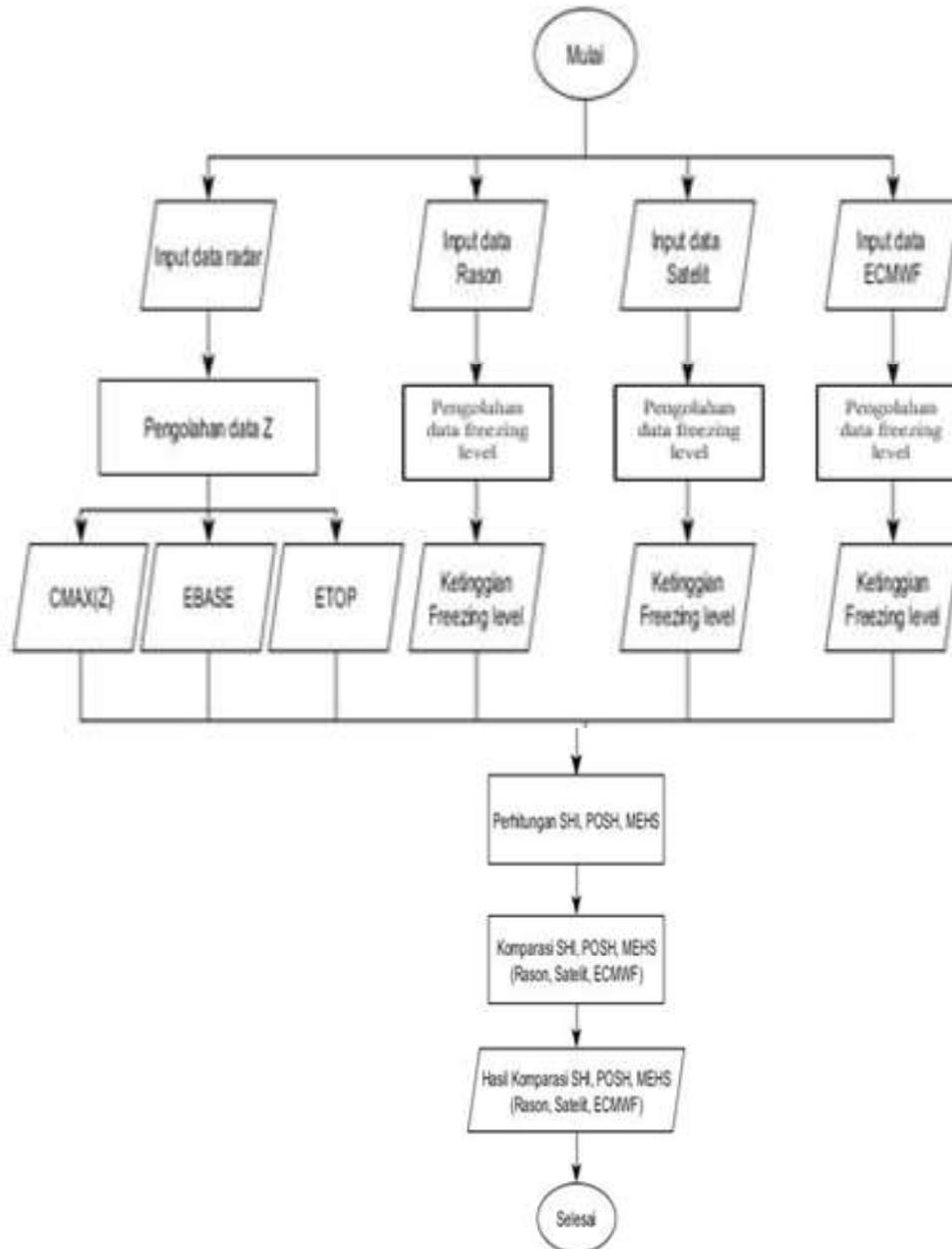
Teknik pengolahan data pada penelitian ini dijabarkan sebagai berikut:

- a. Mengolah data volumetric reflectivity menjadi produk CMAX (Z), EBAS dengan batas ambang 46 dBZ, serta produk ETOP.
- b. Mengonversikan produk CMAX (Z), EBAS, dan ETOP menjadi format .nc menggunakan aplikasi Rainbow 5.40.1.
- c. Menentukan ketinggian temperatur  $-20^{\circ}\text{C}$  (Hm20) dan freezing level (H0) berdasarkan analisis radiosonde menggunakan aplikasi Raob 5.7, analisis freezing level melalui data satelit menggunakan aplikasi SATAID, dan ketinggian freezing level melalui data model reanalysis ECMWF. Melakukan estimasi kejadian hujan es menggunakan indeks SHI (persamaan 1) dan WT (persamaan 5) berdasarkan data radar dalam format .nc dan data ketinggian freezing level berdasarkan radiosonde, satelit, dan model reanalysis ECMWF menggunakan aplikasi GrAds. Algoritma SHI ditulis dalam bahasa script GrAds.
- d. Menghitung POSH dan MEHS.

Hasil pengolahan data dilanjutkan dengan analisis data sebagai berikut:

- a. Menganalisis perbedaan hasil perhitungan SHI pada masing-masing nilai ketinggian freezing level yang ditentukan (berdasarkan radiosonde, satelit, dan model reanalysis ECMWF). Lokasi dimana nilai SHI lebih besar daripada nilai WT adalah lokasi dimana hujan es diestimasi terjadi. Hasil perbedaan perhitungan SHI yang dianalisis adalah luas areanya.
- b. Verifikasi area estimasi kejadian hujan es berdasarkan hasil perhitungan SHI dengan lokasi kejadian hujan es yang terdapat pada pemberitaan media.
- c. Menentukan nilai ketinggian freezing level yang paling tepat untuk menghitung nilai SHI.

## 2.4 Diagram Alir Penelitian

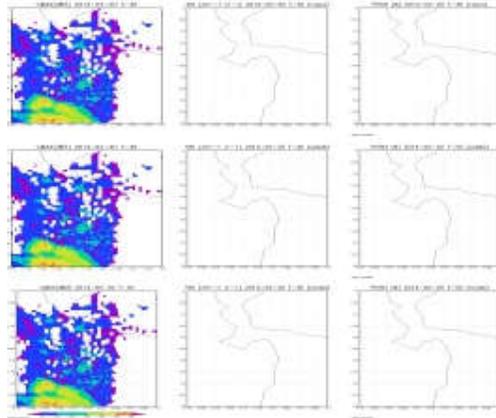


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

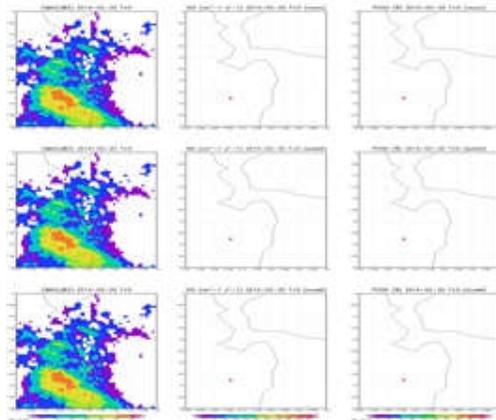
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Hujan Es Tanggal 20 Februari 2014 di Surabaya

Analisis kejadian dilakukan mulai dari tiga puluh menit sebelum kejadian. Pada analisis ditampilkan perbandingan perhitungan SHI tiga puluh menit sebelum dan saat kejadian pada masing-masing nilai freezing level yang ditentukan berdasarkan radiosonde, satelit, dan model reanalisis ECMWF.



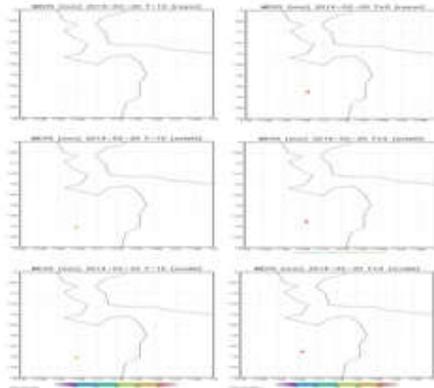
Gambar 2. Distribusi Spasial Nilai Reflectivitas, SHI, dan POSH. Dari kiri ke kanan yaitu rason, satelit, dan model; dari atas ke bawah yaitu 30 menit sebelum kejadian (T-30)



Gambar 3. Distribusi Spasial Nilai Reflectivitas, SHI, dan POSH. Dari kiri ke kanan yaitu rason, satelit, dan model; dari atas ke bawah yaitu pada saat kejadian (T+0)

Tiga puluh menit sebelum kejadian awan konvektif yang cukup signifikan tampak disebelah selatan Surabaya. Potensi hujan es masih belum tampak pada peta, hal ini disebabkan hasil perhitungan SHI dan POSH pada radiosonde, satelit, maupun model reanalysis yang memenuhi ambang batas berada di luar wilayah yang dibatasi.

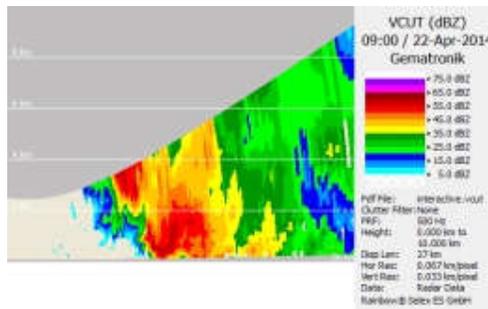
Hasil perhitungan SHI dan POSH saat kejadian pada radiosonde, satelit, serta model reanalysis memenuhi syarat ambang batas, sehingga potensi hujan es dapat ditampilkan dan tampak pada wilayah yang sama. Pada satelit dan model reanalysis wilayahnya tampak bergeser kearah utara bila dibandingkan dengan sepuluh menit sebelumnya. Nilai SHI yang didapatkan mencapai 200 J/m.detik dan nilai POSH mencapai 100%.



Gambar 4. Nilai MEHS pada T-10 dan T+0

Lokasi berpotensi hujan es yang terdeteksi berbeda dengan lokasi hujan es sebenarnya, lokasi terdeteksi berada di sebelah Barat Daya dari lokasi yang sebenarnya.

### 3.2 Hujan Es Tanggal 22 April 2014 di Jakarta

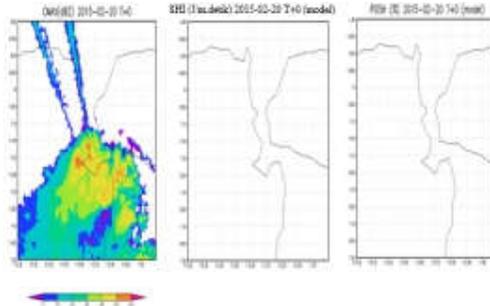


Gambar 5. Penampang Vertikal Awan

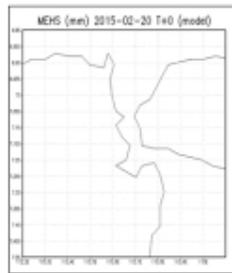
Potensi hujan es tidak dapat ditampilkan karena hasil perhitungan SHI dan POSH pada radiosonde, satelit, maupun model reanalysis tidak memenuhi syarat ambang batas. Hasil yang tidak memenuhi syarat ini disebabkan radar tidak mampu mencakup ketinggian puncak awan secara keseluruhan karena letak awan

terlalu dekat dengan radar, dimana ketinggian puncak awan yang tampak pada data radar hanya sekitar 4 km.

### 3.3 Hujan Es Tanggal 20 Februari 2015 di Surabaya



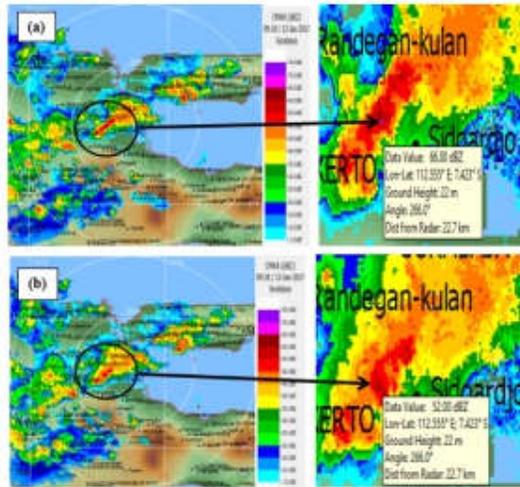
Gambar 6. Distribusi spasial nilai reflectivity, SHI, dan POSH (kiri ke kanan) pada saat kejadian (T+0)



Gambar 7. Nilai MEHS pada saat kejadian (T+0)

### 3.4 Hujan Es Tanggal 12 Januari 2017 di Surabaya

Pada Gambar 8 terlihat pertumbuhan sel konvektif yang terpantau radar di wilayah Sidoarjo lokasi dilaporkan terjadinya hujan es. Di wilayah tersebut terlihat awan konvektif yang tersebar sangat luas, dengan nilai reflectivity mencapai 50 - 66 dBZ pada pukul 09.10 UTC (16.10 WIB). Nilai tersebut menunjukkan adanya aktivitas konveksi yang kuat, mengindikasikan terjadinya hujan es.

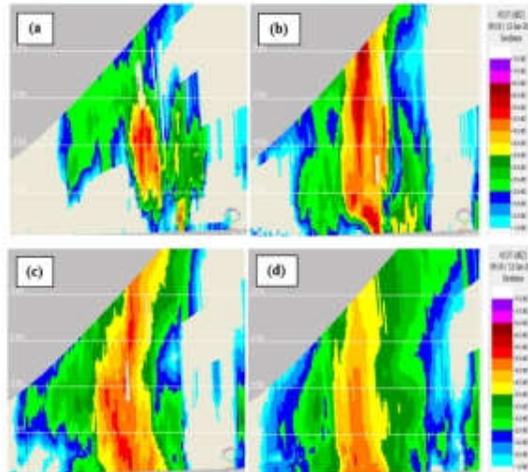


Gambar 8. Penampakan Produk CMAX; (a) 09.10 UTC dan (b) 09.20 UTC



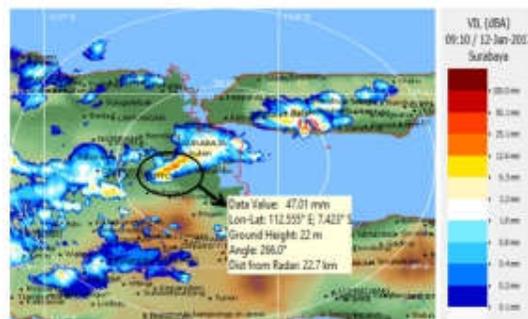
Gambar 9. Grafik Perkembangan Nilai dBZ

Berdasarkan Gambar 9 terlihat perkembangan nilai dBZ dari sel konvektif. Dimulai pada pukul 08.40 UTC belum terlihat adanya pertumbuhan awan konvektif, kemudian pada pukul 08.50 UTC sampai dengan 09.00 UTC pertumbuhan awan mulai terlihat dengan nilai reflectivity berkisar 12 – 30 dBZ. Dan pada pukul 09.10 UTC nilai reflectivity meningkat sangat signifikan mencapai nilai maksimum sebesar 66 dBZ, dimana pada saat itu dilaporkan terjadi hujan es. Kemudian, mengalami penurunan nilai reflectivity secara perlahan sekitar 50 dBZ – 40 dBZ. Peningkatan nilai reflectivity yang cukup besar dengan durasi yang sangat singkat ( $\leq 10$  menit) menunjukkan bahwa awan pada kejadian hujan es tersebut merupakan awan konvektif kuat pada saat fase tumbuh. Setelah hujan mengalami penurunan secara perlahan menandakan bahwa kejadian hujan es telah berakhir dan awan mulai mengalami fase peluruhan.



Gambar 10. Penampakan Produk VCUT; (a) 09.00 UTC, (b) 09.10 UTC, (c) 09.20 UTC, dan (d) 09.30 UTC

Berdasarkan hasil analisis produk VCUT pada Gambar 10 terlihat pertumbuhan awan konvektif dimulai pada pukul 09.00 UTC dengan ketinggian inti sel mencapai 6 km. Dalam jangka waktu 10 menit inti sel berkembang dan meluas hingga mencapai 8 km dengan intensitas yang mulai bertambah menyatakan bahwa awan konvektif berada pada fase matang. Jam 09.20 UTC atau pada 10 menit kemudian, inti sel awan konvektif mulai meluruh dengan intensitas berkurang dan mengalami penurunan ketinggian inti sel hingga 3 km. Dengan adanya penurunan ketinggian inti sel dan intensitas, awan konvektik dinyatakan berada pada fase peluruhan.



Gambar 10. Penampakan Produk VIL

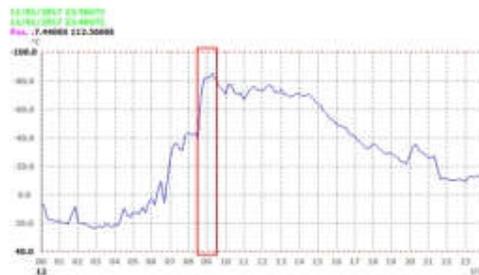
Berdasarkan analisis produk VIL, banyaknya kandungan uap air yang beradar pada awan konvektif di wilayah kejadian hujan es ( $-7.433^{\circ}\text{N}$   $112.555^{\circ}\text{E}$ ) menunjukkan nilai maksimum 47 mm. Menurut Amburn dan Wolf (1997), nilai VIL sebagai

indikator untuk terjadinya hujan es mencapai 25 kg/m<sup>2</sup>. Ditinjau dari nilai kandungan uap air awan konvektif tersebut mendukung terjadinya hujan es.

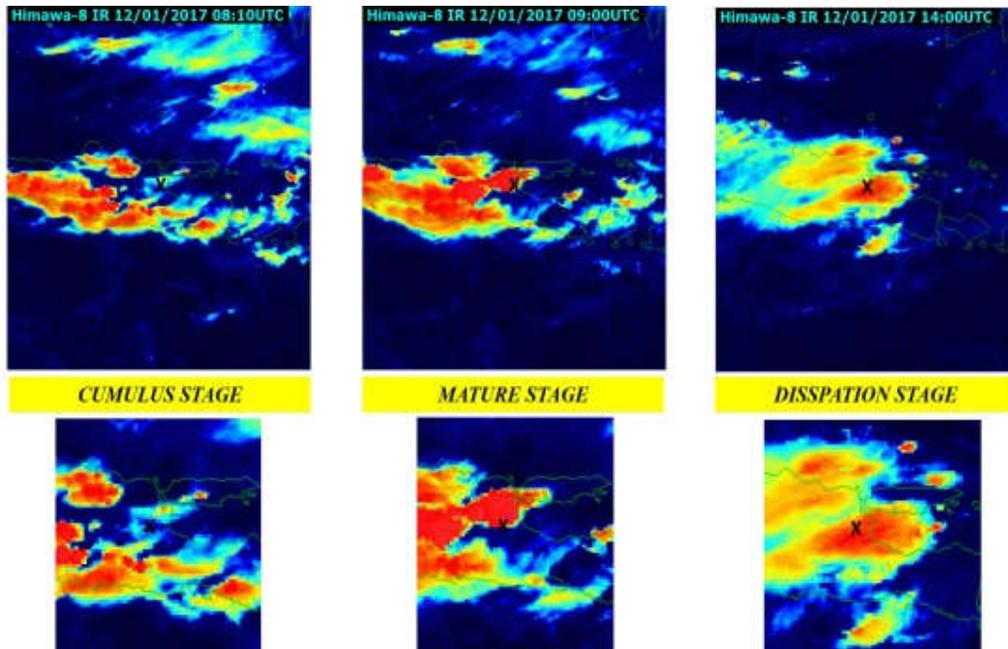


Gambar 11. Penampakan Produk ZHAIL

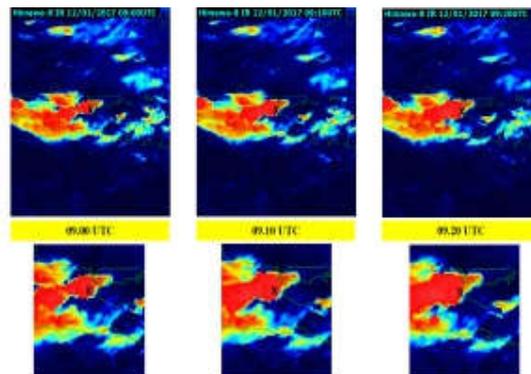
Berdasarkan Gambar 11, hasil analisis zhail probability dengan menggunakan threshold 55 dBZ menunjukkan potensi untuk terjadinya hujan es mencapai 100 % pada pukul 09.10 UTC di wilayah lokasi terjadinya hujan (-7.433°N 112.555°E).



Gambar 12. Grafik Time Series Suhu Puncak Awan di Surabaya (titik -7.44°N 112.56°E) tanggal 12 Januari 2017



Gambar 13. Penampakan Citra Satelit Kanal IR1; gambar bagian kiri adalah fase tumbuh (Cumulus Stage), bagian tengah adalah fase matang (Mature Stage), dan bagian kanan adalah fase purnya (Dissipation Stage)



Gambar 14. Penampakan Tutupan Awan Berdasarkan Citra Satelit Himawari-8 Kanal IR1 di wilayah Surabaya pada saat diperkirakan terjadinya hujan es (09.00 – 09.20 UTC)

Dari grafik *time series* suhu puncak awan pada Gambar 12 diketahui bahwa suhu puncak awan terendah terjadi pada pukul 09.15 UTC yaitu  $-85^{\circ}\text{C}$ . Berdasarkan nilai suhu puncak awan diperkirakan hujan es terjadi pada sekitar pukul 09.15 UTC. Dari grafik *time series* suhu puncak awan diketahui bahwa terdapat gugusan awan konvektif (awan Cumulonimbus/CB) yang merupakan sumber kejadian hujan es dengan fase pertumbuhan ditunjukkan pada Gambar 13. Fase *cumulus* (tumbuh) awan CB diperkirakan terjadi pada sekitar pukul 08.10 UTC, mencapai fase *mature*

(matang) pada sekitar pukul 09.15 UTC, dan mulai memasuki fase *dissipation* (punah) pada sekitar pukul 14.00 UTC.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan studi kasus kejadian hujan es yang telah dilakukan maka disimpulkan bahwa dalam penentuan ketinggian freezing level dan ketinggian pada suhu  $-20^{\circ}\text{C}$  untuk mendeteksi potensi hujan es, sumber data yang paling baik digunakan adalah satelit cuaca. Metode SHI memiliki 3 faktor penentu, yaitu ketinggian freezing level, ketinggian puncak awan dan selisih ketinggian freezing level dan ketinggian pada suhu  $-20^{\circ}\text{C}$  yang memengaruhi dalam mendeteksi hujan es. Deteksi hujan es di Indonesia menggunakan metode SHI bisa dilakukan, tetapi untuk beberapa kasus yang lokasi kejadiannya terlalu dekat dengan radar potensi hujan es tidak bisa terdeteksi. Sementara itu, data satelit Himawari-8 kanal IR1 dapat digunakan untuk menganalisis daerah tutupan awan CB untuk memprakirakan luasan wilayah yang berpotensi terjadinya hujan es serta analisis grafik time series suhu puncak awan untuk memprakirakan waktu kejadian hujan es.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., dan Hidayati, S., 2015, *Peringatan Dini Potensi Hujan Es Menggunakan Metode Severe Hail Index Berdasarkan Pengamatan Radar Cuaca Doppler*, Seminar Nasional Fisika 2015 Jurusan Fisika, Fakultas MIPA, Universitas Negeri Jakarta, Vol IV, 25–30.
- BMKG, 2010, Peraturan KBMKG Nomor: Kep. 009 Tahun 2010 tentang *Prosedur Standar Operasional Pelaksanaan Peringatan Dini, Pelaporan, Dan Diseminasi Informasi Cuaca Ekstrem*.
- Fadholi, A., 2012. *Analisa Kondisi Atmosfer pada Kejadian Cuaca Ekstrem Hujan Es (Hail)*, Simetri: Jurnal Ilmu Fisika Indonesia Vol 1 No 2D, 74–80.
- Holleman, I., 2001, *Hail Detection using Single-Polarization Radar*, Knmi Wr-2001-01, 72.
- Kolarič, D., Skok, G., dan Rakovec, J., 2013. *Hail Detection Methods Using Radar Data*, Ljubljana.
- Rauber, R. M., Walsh, J. E., dan Charlevoix, D. J., 2009, *Severe and Hazardous Weather: An Introduction to High Impact Meteorology*, 3rd Edition, Kendall Hunt Publ Co (1-800-228-0810).
- SELEX, 2013, *Software Manual Rainbow 5 Product & Algorithms*, Germany: Selex SI GmbH
- Tjasyono, B.H.K., 2004, *Klimatologi*, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Wardoyo, E., 2016, *Radar Meteorologi*, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika Jakarta.

- Witt, A., Eilts, M. D., Stumpf, G. J., Johnson, J. T., Mitchell, E. D. W., dan Thomas, K. W. (1998), *An Enhanced Hail Detection Algorithm for the WSR-88D*. *Weather and Forecasting*, 13(2), 286–303.