

PERINGATAN DINI POTENSI HUJAN ES MENGGUNAKAN METODE *SEVERE HAIL INDEX* BERDASARKAN PENGAMATAN RADAR CUACA DOPPLER

Abdullah Ali ^{*}), Sabitul Hidayati

Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jalan Perhubungan I No. 5 Komplek Meteorologi Pondok Betung
Tangerang Selatan

^{*}Email : abdullah.ali.230793@gmail.com

Abstrak

Salah satu fenomena cuaca ekstrem adalah hujan es. Indikator kejadian hujan es adalah sistem konvektif yang sangat kuat. Instrumentasi yang mempunyai resolusi waktu dan ruang dengan tingkat ketelitian tinggi untuk mendeteksi dan prediksi potensi hujan es adalah radar cuaca Doppler dan salah satu metode yang dapat digunakan adalah metode *Severe Hail Index* (SHI). Metode SHI menggunakan perhitungan empiris berdasarkan fluks energi kinetik hujan, reflektivitas, serta data ketinggian temperatur 0°C dan -20°C. Data pengamatan radar cuaca dan *radiosonde* tiga puluh menit sebelum kejadian hujan es Jakarta 22 April 2014 menghasilkan perhitungan SHI 140,6 Jm⁻¹s¹, POSH (*Probability of Severe Hail*) 52,54%, dan MEHS (*Maximum Expected Hail Size*) 32,9 mm. Sedangkan pada saat kejadian, dihasilkan perhitungan SHI 304,8 Jm⁻¹s¹, POSH 74,98%, dan MEHS 48,45 mm. Hujan es di Denpasar tanggal 16 Desember 2010 menghasilkan perhitungan SHI 136,7 Jm⁻¹s¹, POSH 52,21%, dan MEHS 33,8 mm pada saat dua puluh menit sebelum kejadian. Sedangkan pada saat kejadian, dihasilkan perhitungan SHI 383,2 Jm⁻¹s¹, 82,10%, dan MEHS 56,60 mm. Berdasarkan kejadian yang sebenarnya, nilai POSH cukup representatif dalam memperkirakan kejadian hujan es. Namun terdapat ketidaksesuaian dari nilai MEHS dengan keadaan yang sebenarnya. Dengan memanfaatkan metode SHI, peringatan dini dapat didiseminasikan guna mengurangi kerusakan akibat hujan es.

Abstract

Hail is one of many extreme weather categories. The Indicator of hail occurrence is strong convective system of cloud. Meteorological instrument that has high temporal and spatial resolution to detect and predict hail occurrence is Doppler weather radar, and one of many methods that can be used is *Severe Hail Index* (SHI). SHI values is calculated based on flux values of hail kinetic energy, reflectivity, 0°C temperature profile height and -20°C temperature profile height. Hail occurrence at Jakarta 22nd of April 2014 gives SHI values 140,6 Jm⁻¹s¹, POSH (*Probability of Severe Hail*) 52,54%, and MEHS (*Maximum Expected Hail Size*) 32,9 mm, all values is calculated thirty minutes before hail occurred. Hail occurrence at Denpasar 16th of December 2010 gives SHI values 136,7 Jm⁻¹s¹, POSH (*Probability of Severe Hail*) 52,21%, and MEHS (*Maximum Expected Hail Size*) 56,6 mm, all values is calculated twenty minutes before hail occurred. Based on filed observation, POSH values is representative enough to predict hail occurrence. But there is an inappropriate between MEHS values and real condition. By using SHI method, early warning can be disseminated to reduce hail damage.

Keywords : *hail, Doppler weather radar, Severe Hail Index, early warning*

1. Pendahuluan

Hujan es merupakan bentuk presipitasi berupa bola, potongan, maupun serpihan es yang diakibatkan oleh sistem konvektif yang sangat kuat [1]. Awan yang dapat menimbulkan hujan es adalah awan campuran yatu awan kumulonimbus, dimana terdapat campuran antara partikel kelewat dingin dengan butiran-butiran es [8]. Butiran es (*hailstone*) merupakan butiran es yang jatuh ke permukaan, dan

terbentuk oleh proses koalisi dan koalisiensi dari tetes awan kelewat jenuh [9].

Instrumentasi meteorologi dengan resolusi temporal dan spasial yang tinggi untuk mendeteksi fenomena meteorologi, termasuk hujan es, adalah radar cuaca Doppler. Parameter yang dapat diamati melalui radar cuaca Doppler adalah *echo* reflektivitas dan *radial velocity*. Nilai reflektivitas dipengaruhi oleh jumlah massa, volume, dan densitas pada suatu

sampling volume [7]. Sedangkan nilai *radial velocity* dihitung menggunakan prinsip Doppler, dengan merata-rata nilai kecepatan partikel pada suatu sampling volume [5]. Data reflektivitas dapat digunakan untuk mendeteksi kejadian hujan es [4]. Batas ambang nilai reflektivitas pada saat kejadian hujan es adalah 55 dBz [3].

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mendeteksi dan memprediksi potensi kejadian hujan es berdasarkan hasil pengamatan radar cuaca dan radiosonde adalah SHI (*Severe Hail Index*). Terdapat beberapa indeks yang dihasilkan, yaitu SHI sebagai indeks hujan es, POSH (*Possibility of Severe Hail*) sebagai nilai probabilitas hujan es, dan MEHS (*Maximum Expected Hail Size*) sebagai nilai prakiraan ukuran maksimum *hailstone* [2].

Peringatan dini kejadian hujan es dapat didasarkan pada nilai SHI dan POSH dengan batas-batas tertentu. Penelitian ini bertujuan mengaplikasikan metode SHI pada kejadian hujan es dan dibandingkan dengan kejadian konvektif yang tidak menghasilkan hujan es di Indonesia, dalam hal ini diwakili oleh Jakarta dan Denpasar. Dengan melihat hasil aplikasi metode SHI, peringatan dini dapat dibuat dan didiseminasikan guna mengurangi potensi kerusakan akibat hujan es.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah wilayah Jakarta, khususnya di wilayah Kebon Jeruk, Kembangan, Kedoya, Kemanggisan, dan Karawaci yang merupakan tempat kejadian hujan es Jakarta 22 April 2014. Kejadian hujan es Jakarta 9 Februari 2015 berlokasi di Tanjung Priok Jakarta Utara. Sedangkan pada saat kejadian hujan es tanggal 16 Desember 2010 berlokasi di Kecamatan Denpasar Barat Denpasar. Lokasi penelitian pada data pembandingan terletak di Jakarta.

2.2 Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data radar cuaca volumetrik yang kemudian diolah menjadi data reflektivitas dan data radiosonde. Data radar yang digunakan adalah data radar cuaca Stasiun Meteorologi Cengkareng tanggal 22 April 2014, 12 Juli 2014, 26 Juli 2014, 11 Agustus 2014, 12 Agustus

2014, dan 9 Februari 2015, serta data radar cuaca BBMKG Wilayah III Denpasar tanggal 16 Desember 2010. Data radiosonde yang digunakan adalah data radiosonde Stasiun Meteorologi Cengkareng tanggal 22 April 2014, 12 Juli 2014, 26 Juli 2014, 11 Agustus 2014, 12 Agustus 2014, dan 9 Februari 2015, serta data radiosonde Stasiun Meteorologi Juanda Surabaya tanggal 16 Desember 2010.

2.3 Metode

2.3.1 Perhitungan Indeks Hujan Es

Indeks hujan es dinyatakan dalam SHI dengan satuan $Jm^{-1}s^{-1}$. Nilai SHI bergantung pada fluks energi kinetik hujan es, reflektivitas, serta ketinggian profil temperature $0^{\circ}C$ dan $-20^{\circ}C$. SHI dirumuskan

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

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

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

dimana H adalah ketinggian inti sel awan, dan H_{m20} adalah ketinggian suhu $-20^{\circ}C$. Sedangkan \dot{E} dirumuskan

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

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

dimana Z adalah reflektivitas maksimum, Z_L adalah batas bawah reflektivitas (40 dBz) dan Z_U adalah batas atas reflektivitas (50 dBz)

2.3.2 Perhitungan Probabilitas Kejadian Hujan Es

Probabilitas kejadian hujan es dinyatakan dalam POSH (*Possibility of Severe Hail*) dalam satuan persen (%) dan dihitung dengan rumus

$$POSH = 29 \ln \left(\frac{SHI}{WT} \right) + 50 \quad (5)$$

dimana

$$WT = 57,5H_0 - 121 \quad (6)$$

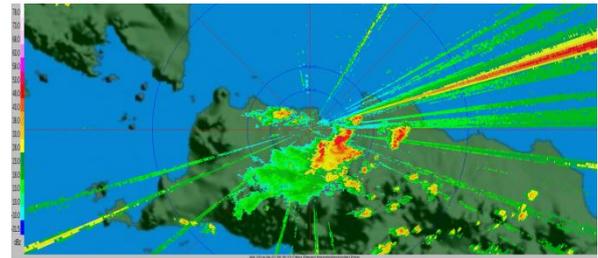
2.3.3 Perhitungan Prediksi Ukuran Maksimum Butiran Es

Prediksi ukuran maksimum butiran es dinyatakan dalam MEHS (*Maximum Expected Hail Size*) dalam satuan millimeter (mm). MEHS dirumuskan

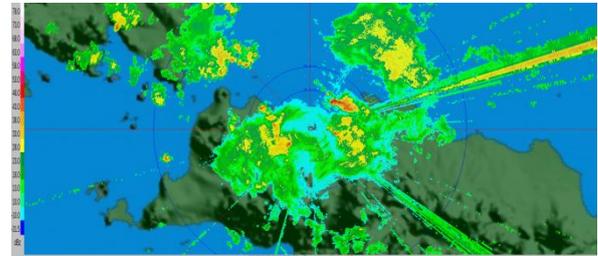
$$MEHS = 2,54 SHI^{0,5} \quad (7)$$

2.3.4 Peringatan Dini Kejadian Hujan Es

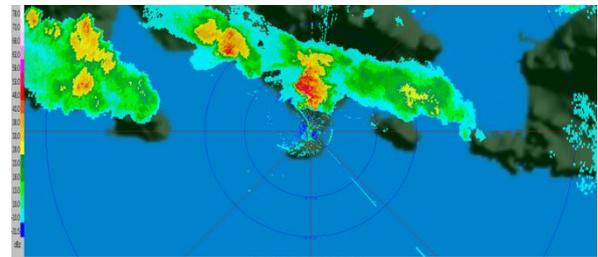
Metode SHI yang diterapkan oleh Witt tahun 1998 menghasilkan nilai rata-rata SHI pada saat kejadian hujan es adalah $373 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$ dengan nilai POSH rata-rata 65% dimana observasi dilakukan pada 314 kejadian hujan es di Oklahoma, Amerika. Terdapat perbedaan sistem konvektif antara kejadian hujan es di lintang tinggi dan daerah tropis sehingga akan memunculkan perbedaan nilai batas SHI pada setiap kejadian hujan es. Pada penelitian ini, peringatan dini kejadian hujan es didasarkan pada probabilitas kejadian hujan es yaitu nilai POSH dengan batas bawah 50%.



(a)



(b)



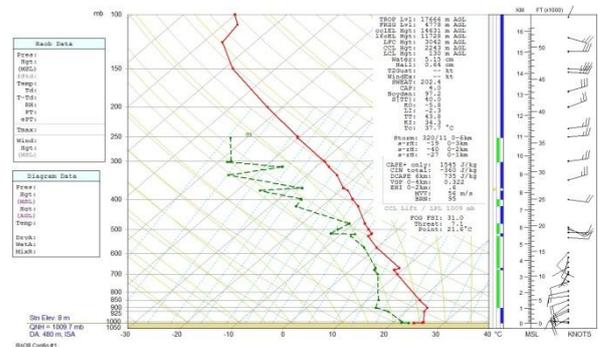
(c)

Gambar 1. (a) Produk CMAX(Z) Jakarta 22 April 2014 08.30Z.; (b) Produk CMAX(Z) Jakarta 9 Februari 2015 10.28Z.; (c) Produk CMAX(Z) Denpasar 16 Desember 2010 07.20Z.

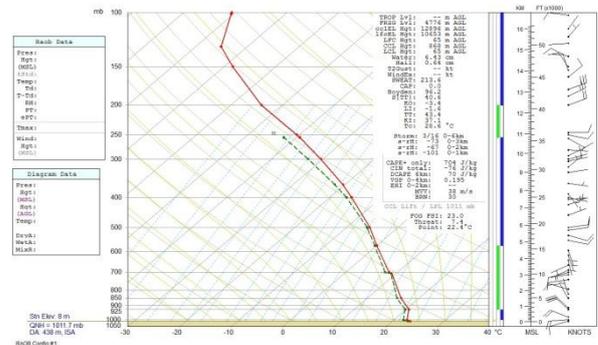
3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Indeks Hujan Es

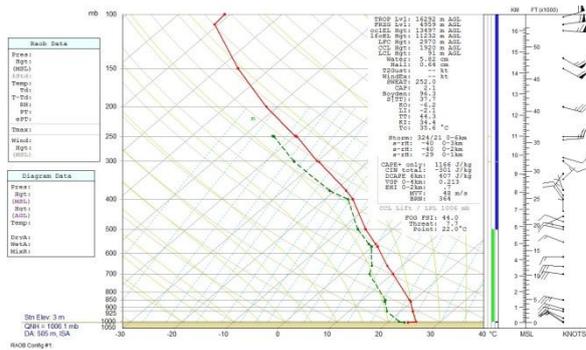
Perhitungan SHI dilakukan pada tiga kejadian hujan es, yaitu kejadian hujan es di Jakarta tanggal 22 April 2014 dan 9 Februari 2015 serta di Denpasar tanggal 16 Desember 2010. Hasil perhitungan dibandingkan dengan empat sistem konvektif yang tidak menghasilkan hujan es yaitu pada tanggal 12 dan 26 Juli 2014, serta 11 dan 12 Agustus 2014 di Jakarta. Hasil pengamatan radar cuaca dan radiosonde tiga puluh menit sebelum kejadian hujan es di Jakarta dan dua puluh menit sebelum kejadian di Denpasar ditunjukkan oleh gambar (1) dan gambar (2).



(a)



(b)



(c)

Gambar 2. (a) Pengamatan radiosonde Jakarta 22 April 2014 00Z.; (b) Pengamatan radiosonde Jakarta 9 Februari 2015 00Z.; (c) Pengamatan radiosonde Denpasar 16 Desember 2010 00Z.

Parameter pengamatan radar cuaca dan radiosonde yang digunakan dalam perhitungan SHI ditunjukkan tabel (1) dan (2).

| Kejadian | H ₀ | H _{m20} | H | H _T | Z |
|---------------------------|----------------|------------------|------|----------------|------|
| Jakarta 22 April 2014 | 4778 | 8000 | 6500 | 10600 | 59 |
| Jakarta 9 Februari 2015 | 4776 | 8528 | 3000 | 5000 | 56 |
| Denpasar 16 Desember 2010 | 4959 | 8386 | 5300 | 9800 | 68,5 |

Tabel 1. Data pengamatan radar cuaca dan radiosonde Jakarta (tiga puluh menit sebelum kejadian) dan Denpasar (dua puluh menit sebelum kejadian).

| Kejadian | H ₀ | H _{m20} | H | H _T | Z |
|---------------------------|----------------|------------------|------|----------------|------|
| Jakarta 22 April 2014 | 4778 | 8000 | 6500 | 10600 | 63 |
| Jakarta 9 Februari 2015 | 4776 | 8528 | 3000 | 5000 | 60 |
| Denpasar 16 Desember 2010 | 4959 | 8386 | 5300 | 9800 | 72,5 |

Tabel 2. Data pengamatan radar cuaca dan radiosonde pada saat kejadian hujan es di Jakarta dan Denpasar.

Berdasarkan hasil pengamatan pada tabel (1) diperoleh nilai SHI untuk kejadian di Jakarta 22 April 2014 sebesar $140,6 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$; Jakarta 9 Februari 2015 sebesar $0 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$; dan Denpasar 16 Desember 2010 sebesar $136,7 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$. Sedangkan berdasarkan hasil pengamatan pada tabel (2) diperoleh nilai SHI untuk kejadian di Jakarta 22 April 2014 sebesar $304,8 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$; Jakarta 9 Februari 2015 sebesar $0 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$; dan Denpasar 16 Desember 2010 sebesar $383,2 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$.

Data pembandingan menghasilkan nilai SHI pada sistem konvektif di Jakarta tanggal 12 Juli 2014 sebesar $5,1 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$; 26 Juli 2014 sebesar $13,0 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$; 11 Agustus 2014 sebesar $26,8 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$; dan 12 Agustus 2014 sebesar $103,2 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$.

Hasil perhitungan SHI menunjukkan perbedaan nilai yang signifikan antara sistem konvektif yang menghasilkan hujan es dan tidak. Namun, kejadian hujan es tanggal 9 Februari 2015 menunjukkan nilai SHI yang tidak sesuai dengan teori, yaitu $0 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$, hal tersebut disebabkan ketinggian inti sel awan lebih rendah dari *freezing level*. Hal ini menunjukkan adanya parameter lain yang perlu ditambahkan dalam perhitungan agar menghasilkan kesesuaian antara hasil observasi dengan teori.

3.2 Probabilitas Hujan Es

Probabilitas hujan es atau POSH dihitung berdasarkan hasil perhitungan SHI dan WT. Nilai POSH pada kejadian hujan es di Jakarta 22 April 2014 sebesar 52,5% tiga puluh menit sebelum kejadian, kemudian meningkat menjadi 74,97% pada saat kejadian; Jakarta 9 Februari 2015 sebesar 0%; dan Denpasar 16 Desember 2010 sebesar 45,6% dua puluh menit sebelum kejadian, kemudian meningkat 82,1% pada saat kejadian.

Data pembandingan menunjukkan nilai POSH pada sistem konvektif di Jakarta tanggal 12 Juli 2014 sebesar 0%; 26 Juli 2014 sebesar 0%; 11 Agustus 2014 sebesar 0%; dan 12 Agustus 2014 sebesar 35,27%.

Terdapat kesesuaian antara hasil observasi di lapangan dengan perhitungan nilai POSH pada saat kejadian hujan es serta pada data pembandingan, kecuali pada tanggal 9 Februari 2015 karena SHI bernilai $0 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$. Hal ini menunjukkan perhitungan POSH yang didasarkan pada nilai SHI dapat digunakan dalam pembuatan peringatan dini kejadian hujan es.

3.3 Prediksi Ukuran Maksimum Butiran Es

Prediksi ukuran maksimum butiran es dapat dihitung melalui MEHS. Hasil perhitungan pada kejadian hujan es Jakarta tanggal 22 April 2014 menghasilkan prediksi ukuran maksimal butiran es 48,44 mm, sedangkan kejadian hujan es di Denpasar 16 Desember 2010 prediksi ukuran maksimal butiran es 56,6 mm. Perhitungan yang dihasilkan tidak sesuai dengan hasil observasi di lapangan. Butiran-butiran es

yang jatuh ke permukaan berukuran kurang dari 20 mm. Hal ini menunjukkan perhitungan pada MEHS tidak bisa diterapkan pada kejadian hujan es di Jakarta dan Denpasar.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan, nilai SHI tiga puluh menit sebelum kejadian hujan es di Jakarta dan dua puluh menit sebelum kejadian di Denpasar menunjukkan nilai di atas $130 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$ dan meningkat pada saat kejadian menjadi di atas $300 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$. Nilai perhitungan tersebut berbeda dengan standar yang ditetapkan oleh Witt (1998) yaitu $373 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$. Sedangkan pada kejadian hujan es di Jakarta tanggal 9 Februari 2015 menghasilkan nilai SHI $0 \text{ Jm}^{-1}\text{s}^{-1}$ karena ketinggian inti sel berada dibawah *freezing level*. Hal ini menunjukkan perlunya penyesuaian standar untuk menentukan batas minimal SHI pada sistem konvektif yang menyebabkan hujan es di Indonesia dan perlunya penambahan parameter baru sebagai pertimbangan perhitungan SHI.

Nilai POSH menunjukkan kesesuaian antara perhitungan dengan hasil observasi di lapangan. Pada dua kejadian hujan es di Jakarta dan Denpasar nilai POSH dua puluh hingga tiga puluh menit sebelum kejadian menunjukkan nilai probabilitas di atas 50% dan meningkat menjadi di atas 80% pada saat kejadian. Berdasarkan kesesuaian ini, peringatan dini kejadian hujan es di Indonesia dapat didasarkan pada nilai POSH.

Prediksi ukuran maksimum butiran es melalui perhitungan MEHS menunjukkan ketidaksesuaian dengan hasil observasi di lapangan. Hal ini menunjukkan metode SHI tidak dapat digunakan untuk memprakirakan ukuran maksimum butiran es pada sistem konvektif di Indonesia yang menyebabkan hujan es.

Pemanfaatan metode SHI dalam peringatan dini kejadian hujan es di Indonesia dapat dilakukan berdasarkan perhitungan nilai POSH, dimana perhitungan tersebut hanya menunjukkan deteksi potensi terjadinya hujan es tanpa disertai durasi kejadian. Sedangkan ukuran maksimum butiran es (*hailstone*) belum dapat diprediksi melalui pemanfaatan metode SHI. Sehingga dapat disimpulkan metode SHI dapat digunakan sebagai peringatan dini potensi kejadian hujan es di Indonesia.

5. Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika atas penyediaan sistem aplikasi pengolahan data radar cuaca *Doppler* yang digunakan dalam penelitian ini. Selain itu penulis ucapkan terima kasih pula kepada panitia penulisan Prosiding Seminar Fisika UNJ atas kesempatan yang diberikan untuk memuat dan mempresentasikan penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

- [1] Fadholi, Akhmad. 2012. *Analisa Kondisi Atmosfer pada Kejadian Cuaca Ekstrem Hujan Es (HAIL)*. Simetri: Jurnal Ilmu Fisika Indonesia Vol 1 No 2D
- [2] Witt, A. 1998. *An Enhanced Hail Detection Algorithm for the WSR-88D*. American Meteorological Society Journal *Wea. Forecasting*, 13, 286-303
- [3] Holleman, Iwan. 2001. *Hail Detection Using Single Polarization Radar*. Netherland:KNMI
- [4] Nelson, S and Wiit, A. 1991. *The Use of Single Doppler Radar for Estimating Maximum Hailstone Size*. *J. Meteor*, 30, 402-431
- [5] Rinehard, Ronald E. 2010. *Radar for Meteorologist fifth Edition*: Hal 146-160. Nevada Missouri.
- [6] Sauvageot, Henri. 1991. *Radar Meteorology*. London : Artech House
- [7] Wardoyo, Eko. 2012. *Pengantar III Modul Radar Cuaca*. Jakarta: BMKG.
- [8] Tjasyono, B.H.K., 2007, *Mikrofisika Awan dan Hujan*: Hal 150. Jakarta: Badan Meteorologi dan Geofisika.
- [9] Rogers, R.R., Yau, M.K, 2006, *A Short Course in Cloud Physics (Third Edition)*: Hal 235. Burlington: Elsevier Science.

