

## Implementasi Algoritma *Fuzzy logic* untuk Klasifikasi Partikel Hidrometeorologi pada Radar Cuaca C-Band Sintang, Kalimantan Barat

Abdullah Ali<sup>1,\*</sup>, Umi Sa'adah<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bidang Pengelolaan Citra Inderaja BMKG, Jakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Stasiun Meteorologi Soekarno-Hatta BMKG, Tangerang, Indonesia

### Info Artikel

#### Histori Artikel:

Diajukan: 2 Oktober 2023  
Direvisi: 11 November 2023  
Diterima: 22 Desember 2023

#### Kata kunci:

Google Earth Engine  
LANDSAT  
Monitoring  
Random Forest  
Tutupan lahan

#### Keywords:

Google Earth Engine  
LANDSAT  
Monitoring  
Random Forest  
Land cover

#### Penulis Korespondensi:

Abdullah Ali  
Email: [abdullah.ali@bmgk.go.id](mailto:abdullah.ali@bmgk.go.id)

### ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan metode *fuzzy logic* dalam proses klasifikasi partikel hidrometeorologi pada radar cuaca BMKG tipe C-Band yang terpasang di Sintang dengan studi kasus hujan lebat tanggal 6 Juni 2022 di Kalimantan Barat. Seluruh tipe data radar dual polarisasi digunakan dalam proses klasifikasi. Hasil klasifikasi jenis *echo* radar cuaca dibagi menjadi dua kelas yaitu objek meteorologi dan non-meteorologi, sedangkan klasifikasi jenis partikel hidrometeorologi dibagi menjadi dua belas kelas yaitu *No Precipitation*, *Light rain*, *Moderate rain*, *Heavy rain*, *Large drops*, *Hail*, *Rain/Hail*, *Graupel/Hail*, *Dry Snow*, *Wet snow*, *H-Crystals*, dan *V-Crystals* dan disajikan dalam *vertical cross section* (dalam arah azimuth  $94^\circ$  dan  $102^\circ$  dimana terdapat awan konvektif) agar didapatkan perbedaan fase presipitasi yang lebih komprehensif. Objek meteorologi dan non-meteorologi dapat teridentifikasi dengan baik, termasuk *echo* interferensi yang bercampur dengan *echo* presipitasi yang sangat sulit dideteksi oleh radar non-polarimetric. Lapisan *melting layer* dimana partikel es mulai mencari dapat terdeteksi dengan baik pada ketinggian *freezing level*. Kategori *light/moderate/heavy rain* juga mampu teridentifikasi dengan baik. Hasil penelitian ini dapat dikembangkan untuk kebutuhan operasional BMKG maupun kegiatan teknologi modifikasi cuaca.

*This study aims to implement the fuzzy logic method in the hydrometeorological particle classification process on the C-Band BMKG weather radar installed in Sintang with a case study of heavy rain on June 6, 2022 in West Kalimantan. All dual polarization radar data types are used in the classification process. The results of the classification of weather radar echo types are divided into two classes, namely meteorological and non-meteorological objects, while the classification of hydrometeorological particle types is divided into twelve classes, namely No Precipitation, Light rain, Moderate rain, Heavy rain, Large drops, Hail, Rain/Hail, Graupel/Hail, Dry Snow, Wet snow, H-Crystals, and V-Crystals and presented in a vertical cross section (in the azimuth direction of  $94^\circ$  and  $102^\circ$  where there are convective clouds) in order to obtain a more comprehensive difference in precipitation phases. Meteorological and non-meteorological objects can be identified well, including interference echoes mixed with precipitation echoes which are very difficult to detect by non-polarimetric radar. The melting layer where the ice particles start looking can be detected well at the freezing level. The light/moderate/heavy rain categories are also well identified. The results of this study can be developed for BMKG operational needs and weather modification technology.*

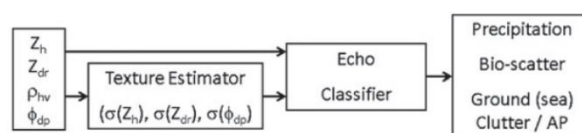
Copyright © 2024 Author(s). All rights reserved

## I. PENDAHULUAN

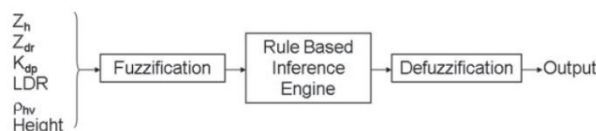
Dua teknologi radar cuaca yang saat ini sudah dimanfaatkan dalam tahap operasional yaitu radar cuaca *non-polarimetric* (*single polarization*) dan radar cuaca *polarimetric* (Ali et al., 2019). Radar cuaca *non-polarimetric* pada prinsipnya mentransmisikan gelombang EM dalam arah horizontal sehingga mampu memberikan informasi berupa lokasi dan intensitas presipitasi yang terjadi (Ali et al., 2021). Data yang dihasilkan oleh radar cuaca *non-polarimetric* ini belum memuat informasi yang cukup untuk kegiatan operasional pengamatan maupun riset meteorologi tertentu terutama dalam hal klasifikasi partikel hidrometeorologi (Guo et al., 2015). Kekurangan ini dapat diisi dengan data dari radar cuaca *polarimetric* (Guo et al., 2015). Radar cuaca polimetrik mampu mengestimasi curah hujan dengan akurasi yang lebih tinggi dan memprediksi presipitasi jangka pendek (*nowcasting*) dengan lebih presisi dibandingkan radar cuaca *non-polarimetric* (Ali et al., 2020). Gangguan interferensi gelombang radio juga dapat dimitigasi dengan baik menggunakan radar cuaca *polarimetric* tanpa menghilangkan *echo* presipitasi (Ali, Umam, et al., 2021).

Pengamatan radar cuaca *polarimetric* dalam arah horizontal dan vertikal sangat sensitif terhadap properti objek hidrometeorologi seperti bentuk, ukuran, orientasi, fase, dan karakteristik pergerakan sehingga memungkinkan untuk mengklasifikasikan jenis partikel hidrometeorologi dalam suatu sistem presipitasi (Chandrasekar et al., 2013). Terdapat beberapa algoritma klasifikasi tipe partikel hidrometeorologi menggunakan radar cuaca *non-polarimetric*, seperti *decision tree* dan *fuzzy logic* (Liu & Chandrasekar, 2000). Algoritma *fuzzy logic* paling banyak digunakan untuk mengidentifikasi partikel hidrometeorologi karena lebih mudah untuk diimplementasikan. Algoritma ini dapat mengklasifikasikan objek hidrometeorologi dengan baik bahkan pada data yang terkontaminasi berbagai noise (Liu & Chandrasekar, 2000); (Straka et al., 2000). Secara umum terdapat dua jenis klasifikasi yang dapat dilakukan menggunakan algoritma *fuzzy logic*, yaitu *echo classification* dan *hydrometeor classification*. Pada *echo classification*, *output* klasifikasi berupa *echo* meteorologi dan *echo non-meteorologi*, sedangkan pada *hydrometeor classification output* berupa jenis partikel. Bagan proses klasifikasi jenis *echo* dan jenis partikel hidrometeorologi secara umum digambarkan pada Gambar 1 dan Gambar 2.

Kegiatan modifikasi cuaca di China sangat mengandalkan output klasifikasi partikel hidrometeorologi dari radar cuaca *polarimetric* untuk mengoptimalkan penyemaian partikel higroskopis (Guo et al., 2015). Pemantauan sebaran asap kebakaran hutan di China juga dilakukan menggunakan *high resolution X-Band polarimetric weather radar* (Li et al., 2019). Proses mitigasi bencana juga dapat dilakukan secara efektif dan efisien menggunakan jaringan radar cuaca *polarimetric* yang rapat (Li et al., 2019). Radar cuaca *polarimetric* juga digunakan dalam pemantauan dispersi partikel letusan gunung berapi di Jepang (Sato et al., 2018) dan di Italy (Marzano et al., 2020).



**Gambar 1** Proses klasifikasi jenis *echo* pada radar cuaca *polarimetric*



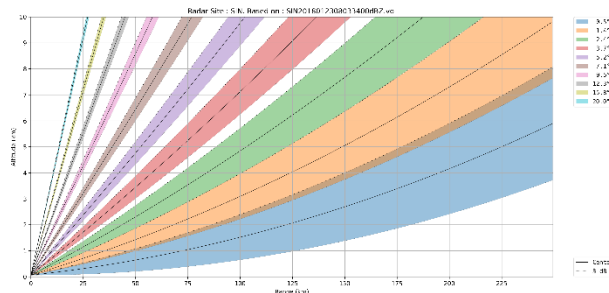
**Gambar 2** Gambaran umum klasifikasi partikel hidrometeorologi menggunakan *fuzzy logic*

BMKG hingga tahun 2022 memiliki 42 jaringan pengamatan radar cuaca dengan 6 radar cuaca *polarimetric*, 2 radar cuaca C-Band yang terpasang di Sintang, Palangkaraya dan Kupang, 3 radar cuaca X-Band yang terpasang di Majene, Masamba, dan Palu (Ali & Sa'adah, 2022). Pemanfaatan keunggulan radar cuaca *polarimetric* dalam melakukan klasifikasi partikel hidrometeorologi belum diimplementasikan secara optimal pada jaringan radar cuaca BMKG.

## II. METODE

Studi kasus pada penelitian klasifikasi partikel hidrometer ini adalah kasus kejadian hujan lebat yang terdeteksi radar cuaca Sintang pada 6 Juni 2022. Lokasi penelitian yang digunakan adalah area

cakupan radar cuaca BMKG yang terpasang di Sintang Kalimantan Barat. Visualisasi skema sapuan antenna hasil pengamatan radar cuaca Sintang terdapat pada Gambar 3. Konfigurasi *scanning strategy* radar cuaca Sintang terdapat pada Tabel 1.



**Gambar 3** Visualisasi sapuan elevasi pengamatan radar cuaca Sintang

**Tabel 1** Konfigurasi *scanning strategy* radar cuaca Sintang

Parameter	Nilai Konfigurasi
Lintang	-0.0427° S
Bujur	111.45956° E
Altitud	28 m
Ketinggian tower	11 m
Frekuensi	5,64 GHz
Beam width	1°
Pulse width	0.5 μs; 2.0 μs
PRF	250 - 2000 Hz
Range step	500 m
Range max	250 km
Jumlah elevasi	10
Elevasi antenna	0.5°; 1.4°; 2.4°; 3.7°; 5.2°; 7.1°; 9.5°; 12.3°; 15.5°; 20.0°
VCP mode	VCP21

Format data yang digunakan merupakan data volumetrik (.vol) hasil sapuan 10 elevasi. Proses klasifikasi partikel hidrometeorologi dilakukan melalui dua proses, yaitu proses pemisahan *echo* meteorologi dan non-meteorologi, dan dilanjutkan dengan proses klasifikasi jenis partikel. Tipe data radar dual polarisasi yang digunakan dalam proses klasifikasi meliputi *correlation coefficient* (RhoHV), *differential phase shift* (PhiDP), *differential reflectivity* (ZDR), *specific differential phase* (KDP), *radial velocity* (V), *reflectivity* (Z), serta hasil identifikasi *clutter map* (CMAP) menggunakan algoritma Gabella (Gabella dan Notarpietro, 2002). Proses klasifikasi *echo* meteorologi dan non-meteorologi didasarkan pada hasil penelitian (Crisologo et al., 2014) dan (Overeem et al., 2020). Fungsi transformasi *trapezoidal*  $d(X_j)$  digunakan untuk mendefinisikan *degree of membership* pada setiap tipe data dalam mengklasifikasikan *echo* non-meteorologi. Fungsi transformasi *trapezoidal* dirumuskan (Vulpiani et al., 2012).

$$d(X_j) = \begin{cases} 0, & X_j < X_{1,j} \text{ or } X_j > X_{4,j} \\ \frac{(X_j - X_{1,j})}{(X_{2,j} - X_{1,j})} & X_{1,j} < X_j < X_{2,j} \\ \frac{(X_{4,j} - X_j)}{(X_{4,j} - X_{3,j})} & X_{3,j} < X_j < X_{4,j} \end{cases} \quad (1)$$

dengan  $X_{i,j}$  adalah *vertex* ke- $i$  dari *trapezoid* relatif terhadap *quality indicator* ke- $j$ .  $X_1$  adalah CMAP,  $X_2$  adalah V,  $X_3$  adalah ZDR,  $X_4$  adalah RhoHV, dan  $X_5$  adalah PhiDP. Parameter dan bobot pada setiap variabel terdapat pada Tabel 2, berdasarkan hasil penelitian (Vulpiani et al., 2012) dan (Crisologo et al., 2014).

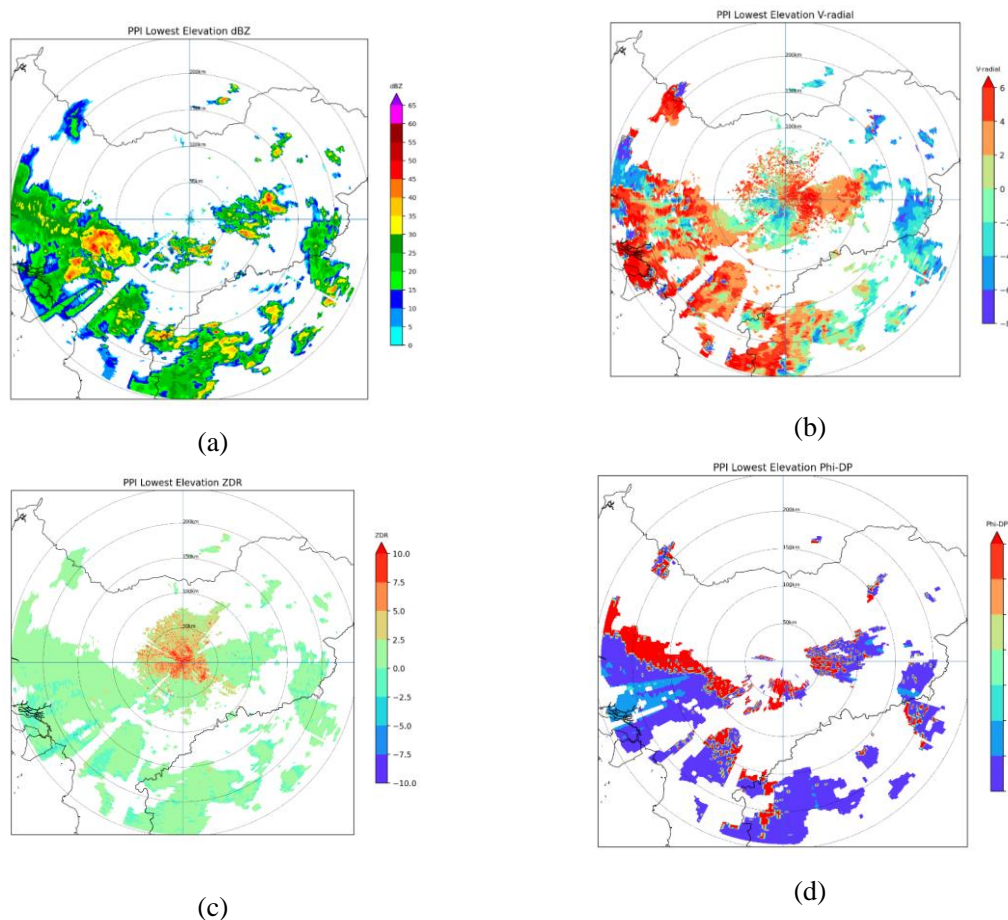
**Tabel 2.** Parameter dan bobot dalam prosedur klasifikasi *echo* menggunakan fuzzy logic

$X_j$	Bobot	$X_{1,j}$	$X_{2,j}$	$X_{3,j}$	$X_{4,j}$
CMAP	0.5	10	30	70	$\infty$
V	0.1	-0.2	-0.1	0.1	0.2
TxZDR	0.4	0.7	1.0	$\infty$	$\infty$
TxRho	0.4	0.1	0.15	$\infty$	$\infty$
TxPhi	0.1	15	20	$\infty$	$\infty$
Rho	0.4	$-\infty$	$-\infty$	0.9	0.95

Setelah didapatkan klasifikasi *echo* meteorologi dan non-meteorologi, klasifikasi partikel hidrometeorologi dilakukan menggunakan 2D *trapezoidal membership function* hasil penelitian (Znic et al., 2001) dan (Straka et al., 2000). Variabel temperatur vertikal juga diperlukan dalam *membership function* yang didapatkan dari hasil pengamatan radiosonde Stasiun Meteorologi Supadio Pontianak yang berada paling dekat dengan radar cuaca Sintang.

### III. HASIL DAN DISKUSI

Citra radar cuaca Sintang pada tanggal 6 Juni 2022 menunjukkan adanya sistem presipitasi yang cukup signifikan, yang terdiri dari awan konvektif dan stratiform. Kondisi ini cukup ideal untuk digunakan dalam pengklasifikasian tipe partikel hidrometeorologi karena pada tipe awan konvektif dan stratiform memiliki karakteristik partikel yang berbeda (Chandrasekar et al., 2013). Radar cuaca Sintang yang merupakan tipe C-Band memiliki keunggulan dalam mereduksi atenuasi gelombang elektromagnetik dibandingkan dengan tipe radar X-Band, sehingga hasil klasifikasi menjadi lebih akurat (Chandrasekar et al., 2013); (Crisologo et al., 2014).



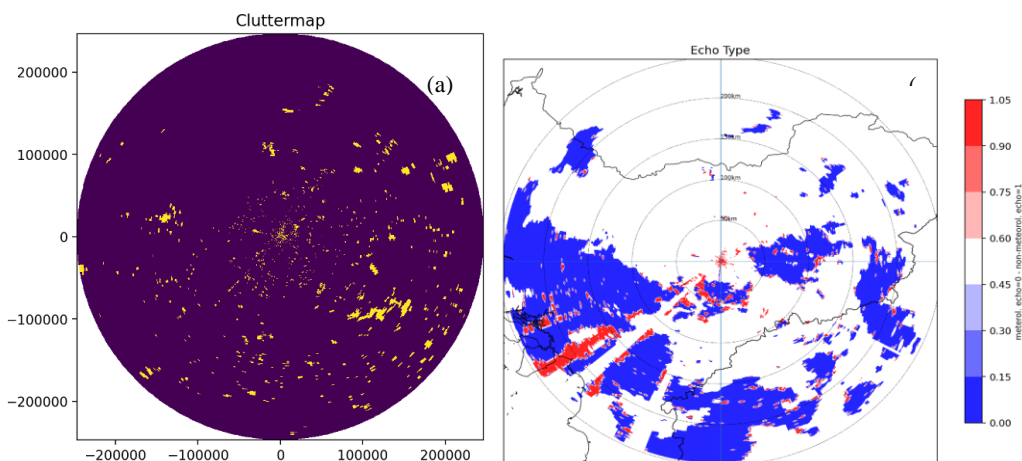
**Gambar 5** Distribusi spasial variabel (a) *reflectivity*, (b) *radial velocity*, (c) *differential reflectivity*, dan (d) *differential phase shift* pada hasil pengamatan radar cuaca Sintang elevasi terendah (0,5°)



Gambar 5 merupakan hasil plot variabel Z, V, ZDR, dan PhiDP pada elevasi 0,5°. Nilai maksimum *reflectivity* teramati mencapai 54,8 dBZ pada arah azimuth 166° radius 158 km. Distribusi spasial presipitasi dominan pada arah Selatan hingga Barat dari lokasi radar cuaca Sintang. Nilai radial *velocity* yang teramati berkisar antara -8 m/s hingga 8 m/s, dengan arah radial yang paling bervariasi di sebelah Barat radar cuaca. Hasil plot variabel ZDR yang merupakan perbandingan nilai *reflectivity* horizontal dan vertikal terdapat pada Gambar 5c. Besaran nilai ZDR memberikan informasi bentuk partikel hidrometeor. Kombinasi antara variabel Z dengan ZDR merupakan diskriminator yang baik untuk membedakan antara partikel presipitasi, es, dan objek non-meteorologi (Chandrasekar et al., 2013). Nilai ZDR pada elevasi 0,5° tidak terlalu bervariasi, yang artinya tipe partikel relatif homogen. Pada arah Barat Daya terdapat nilai ZDR dan PhiDP yang memiliki nilai anomali terhadap sekitarnya dengan pola *spike*. *Echo* tersebut kemungkinan merupakan objek non-meteorologi. Pada objek non-meteorologi, variabel PhiDP memiliki fluktuasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan objek presipitasi, karena tidak terdapat korelasi (atau sangat kecil) antara polarisasi horizontal dan vertikal. Hal ini konsisten dengan penelitian sebelumnya (Chandrasekar et al., 2013); (Overeem et al., 2020).

Keluaran klasifikasi jenis *echo* radar cuaca adalah objek meteorologi atau non-meteorologi. Proses klasifikasi didasarkan pada hasil penelitian (Crisologo et al., 2014) mengenai estimasi curah hujan menggunakan radar cuaca *dual*-polarisasi di Filipina dengan karakteristik iklim tropis. Sebelum dilakukan klasifikasi, dilakukan pemisahan *echo* yang berasal dari *ground-clutter* menggunakan metode Gabella (Gabella & Notarpietro, 2002) berdasarkan nilai dan karakteristik variabel *reflectivity*.

Hasil klasifikasi jenis *echo* radar cuaca terdapat pada Gambar 6. Objek meteorologi direpresentasikan dengan nilai 0 (warna biru), sedangkan objek non-meteorologi direpresentasikan dengan nilai 1 (warna merah). Disekitar wilayah radar cuaca masih terdapat sebaran objek non-meteorologi yang kemungkinan berasal dari bangunan/pepohonan di sekitar radar cuaca. Pada arah Selatan hingga Barat terdeteksi objek non-meteorologi dengan pola *spike* yang merupakan karakteristik dari pola interferensi gelombang radio (Yin et al., 2022). Distribusi spasial *echo* dengan pola *spike* tersebut bercampur dengan objek presipitasi. Hal ini sangat sulit dideteksi dengan radar cuaca polarisasi tunggal (Ali et al., 2022), namun dapat diidentifikasi dengan baik pada radar cuaca *dual* polarisasi Sintang. Hal tersebut juga ditemukan pada hasil penelitian (Schaper et al., 2022). Analisis spasial hasil klasifikasi objek meteorologi dan non-meteorologi menunjukkan kesesuaian dengan variabel Z, ZDR, dan PhiDP. Pada objek meteorologi, nilai ZDR berada pada nilai positif, sebaliknya pada objek non-meteorologi nilai ZDR bernilai negatif. Nilai differential phase shift pada objek meteorologi awan konvektif (>35 dBZ) terlihat memiliki nilai yang lebih tinggi. Hal tersebut terjadi karena awan konvektif memiliki pergerakan atau golokan yang lebih signifikan dibandingkan dengan awan stratiform.

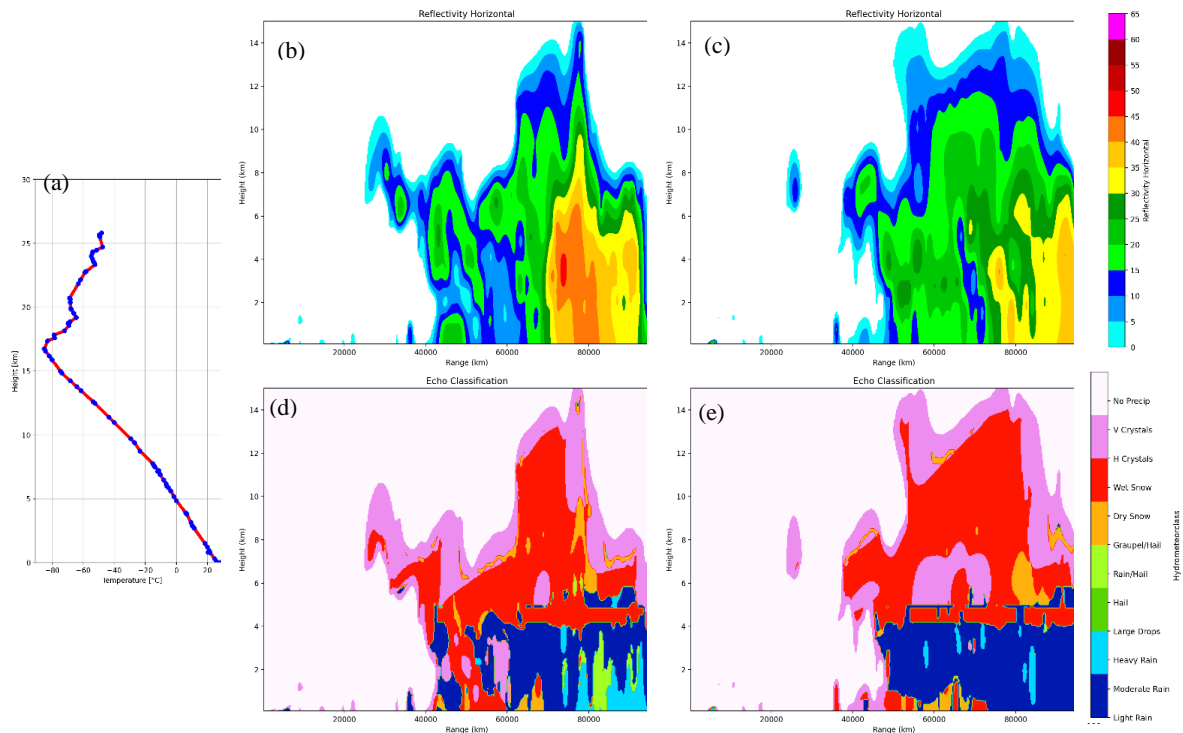


**Gambar 6** Hasil identifikasi *echo ground clutter* (a) dan klasifikasi objek meteorologi dan non-meteorologi (b).

Objek meteorologi yang teridentifikasi kemudian diklasifikasikan jenis partikel hidrometeorologinya berdasarkan hasil penelitian (Straka et al., 2000) dan (Zrnica et al., 2001). Data hasil pengamatan udara atas radiosonde juga digunakan untuk menentukan ketinggian suhu 0°C sebagai lapisan *freezing level*. Ketinggian *freezing level* sangat diperlukan untuk menentukan lokasi partikel es atau kristal es (Yang et al., 2019). Profil temperatur vertikal berdasarkan hasil pengamatan radiosonde

Stasiun Meteorologi Supadio Pontianak terdapat pada Gambar 7a. Lapisan *freezing level* teramati pada ketinggian sekitar 5km.

Klasifikasi jenis partikel hidrometeorologi pada penelitian ini disajikan dalam profil vertikal untuk memperjelas distribusi fase partikel. Profil vertikal diperoleh dengan melakukan *cross section* pada arah azimuth dimana terdapat awan konvektif karena awan konvektif memiliki variabilitas jenis partikel hidrometeorologi yang tinggi. Arah azimuth yang digunakan untuk melakukan analisis profil vertikal pada penelitian ini adalah  $94^\circ$  dan  $102^\circ$ .



**Gambar 7** (a) Profil vertikal temperatur hasil pengamatan radio sonde Stasiun Meteorologi Supadio Pontianak pada studi kasus penelitian (b) Profil vertikal pada arah azimuth  $102^\circ$  variabel *reflectivity* Sedangkan (c) Profil vertikal pada arah azimuth  $94^\circ$  variabel *reflectivity* (d) jenis hidrometeorologi. dan (e) Profil vertikal pada arah azimuth  $94^\circ$  variabel *reflectivity*

Hasil klasifikasi partikel hidrometeorologi pada arah azimuth  $102^\circ$  terdapat pada Gambar 7d dan arah azimuth  $94^\circ$  pada Gambar 7e. Gambar 7b dan Gambar 7c merupakan profil *vertical reflectivity* pada arah azimuth  $102^\circ$  dan  $94^\circ$  sebagai komplemen analisis. Jenis partikel hidrometeorologi dibagi menjadi 12 kelas berdasarkan metode klasifikasi (Straka et al., 2000), yaitu *No Precip*, *Light rain*, *Moderate rain*, *Heavy rain*, *Large drops*, *Hail*, *Rain/Hail*, *Graupel/Hail*, *Dry Snow*, *Wet snow*, *H-Crystals*, dan *V-Crystals*. Sifat fisik presipitasi es yang terdeteksi dari radar dapat berasal dari beberapa mekanisme, seperti *water vapor deposition*, *riming*, *aggregation*, dan *ice multiplication process* (Zrnica et al., 2001). Di wilayah tropis, jenis presipitasi es tetap dapat terjadi dan terdeteksi. Terdapat beberapa metode pembagian kelas partikel hidrometeorologi. Pada penelitian ini, metode klasifikasi (Straka et al., 2000) dan (Zrnica et al., 2001) digunakan berdasarkan kemampuan *library wradlib* dalam mengolah data (Heistermann et al., 2015).

Hasil klasifikasi pada ketinggian di atas 5km memiliki fase es atau kristal es. Tipe klasifikasi *wet snow* (warna merah) teridentifikasi sepanjang penampang horizontal awan pada ketinggian sekitar 5km baik pada arah azimuth  $102^\circ$  maupun  $94^\circ$ . Objek tersebut merupakan *melting layer* dimana partikel es mulai mencair setelah melewati *freezing level*. Pada azimuth  $102^\circ$  dengan jarak antara 80-100km dari radar cuaca, objek yang teramati dipermukaan merupakan jenis *heavy rain*, *large drops* hingga *hail*. Hal tersebut sesuai dengan profil *vertical reflectivity* pada lokasi yang sama. Analisis profil vertikal pada variabel tunggal *reflectivity* (Gambar 7b dan Gambar 7c) tidak mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai jenis partikel hidrometeorologi. Jika hanya berdasarkan analisis nilai reflektivitas, lapisan *melting layer* tidak teridentifikasi dengan baik. Nilai reflektivitas yang tinggi tidak

selalu merupakan presipitasi dengan intensitas lebat, karena pada Gambar 7 terdapat nilai reflektivitas yang tinggi namun hasil klasifikasi menunjukkan tipe *light rain* hingga *moderate rain* (warna biru tua).

#### IV. KESIMPULAN

Hasil klasifikasi jenis *echo* radar menunjukkan radar cuaca Sintang dapat mengidentifikasi objek non-meteorologi dengan baik, termasuk *echo* interferensi yang bercampur dengan *echo* presipitasi. Kondisi tersebut sangat sulit dideteksi pada radar cuaca polarisasi tunggal. Dalam proses klasifikasi jenis partikel hidrometeorologi, radar cuaca Sintang mampu mendeteksi berbagai fase presipitasi. Lapisan *melting layer* dapat terdeteksi dengan baik pada ketinggian *freezing level*. Kategori *light/moderate/heavy rain* juga mampu teridentifikasi dengan baik. Hasil penelitian ini dapat dikembangkan untuk kebutuhan operasional BMKG, khususnya dalam hal peringatan dini cuaca.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., Adrianto, R., & Saepudin, M. (2019). Preliminary Study of Horizontal and Vertical Wind Profile of Quasi-Linear Convective Utilizing Weather Radar Over Western Java Region, Indonesia. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 15(2), 177.
- Ali, A., Deranadyan, G., & Hairuly Umam, I. (2020). An Enhancement to The Quantitative Precipitation Estimation Using Radar-Gauge Merging. *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 17(1), 65. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2020.v17.a3316>
- Ali, A., Hairully Umam, I., Heningtyas, H., Charolidya, R., Sanditya, B., Cempaka, A. P., Setyawan, T., & Ali, K. (2022). Pengembangan Sistem Peringatan Dini Cuaca Ekstrem Terintegrasi Berbasis Y-Model Webgis Development Methodology (Y-WDM). *Jurnal Geografi, Edukasi Dan Lingkungan (JGEL)*, 6(2), 87–100. <https://doi.org/10.22236/jgel.v6i2.8222>
- Ali, A., & Sa'adah, U. (2022). Implementasi Metode Deteksi Hujan Es Berbasis Data Radar Cuaca Menggunakan Algoritma Severe Hail Index (SHI). *Jurnal Fisika Unand*, 11(3), 380–386. <https://doi.org/10.25077/jfu.11.3.380-386.2022>
- Ali, A., Supriatna, S., & Sa'adah, U. (2021). Radar-Based Stochastic Precipitation Nowcasting Using the Short-Term Ensemble Prediction System (Steps) (Case Study: Pangkalan Bun Weather Radar). *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences (IJReSES)*, 18(1), 91. <https://doi.org/10.30536/j.ijreses.2021.v18.a3527>
- Ali, A., Umam, I. H., Leijnse, H., & Sa'adah, U. (2021). Preliminary Study of a Radio Frequency Interference Filter for Non-Polarimetric C-Band Weather Radar in Indonesia (Case Study: Tangerang Weather Radar). *International Journal of Remote Sensing and Earth Sciences*, 18(2), 189–202. <http://dx.doi.org/10.30536/j.ijreses.2021.v18.a3727>
- Chandrasekar, V., Keränen, R., Lim, S., & Moisseev, D. (2013). Recent advances in classification of observations from dual polarization weather radars. *Atmospheric Research*, 119, 97–111. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2011.08.014>
- Crisologo, I., Vulpiani, G., Abon, C. C., David, C. P. C., Bronstert, A., & Heistermann, M. (2014). Polarimetric rainfall retrieval from a C-Band weather radar in a tropical environment (The Philippines). *Asia-Pacific Journal of Atmospheric Sciences*, 50(1), 595–607.
- Gabella, M., & Notarpietro, R. (2002). Ground clutter characterization and elimination in mountainous terrain. In: *Proceedings of ERAD*, 305–311. <https://iris.polito.it/handle/11583/1411995>
- Guo, X., Fu, D., Li, X., Hu, Z., Lei, H., Xiao, H., & Hong, Y. (2015). Advances in cloud physics and weather modification in China. *Advances in Atmospheric Sciences*, 32(2), 230–249.
- Heistermann, M., Collis, S., Dixon, M. J., Giangrande, S., Helmus, J. J., Kelley, B., Koistinen, J., Michelson, D. B., Peura, M., Pfaff, T., & Wolff, D. B. (2015). The emergence of open-source software for the weather radar community. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 96(1), 117–128. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-13-00240.1>
- Li, Z., Chen, H., Chu, H., Chandrasekar, V., Chen, H., Lei, H., & Yu, L. (2019). Monitoring wildfire using high-resolution compact X-band dual-polarization radar: A case study in southern China. *Atmospheric Research*, 225, 165–171. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2019.04.007>
- Liu, H., & Chandrasekar, V. (2000). Classification of hydrometeors based on polarimetric radar measurements: Development of fuzzy logic and neuro-fuzzy systems, and in situ verification. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 17(2), 140–164.

- Marzano, F. S., Mereu, L., Scollo, S., Donnadieu, F., & Bonadonna, C. (2020). Tephra Mass Eruption Rate from Ground-Based X-Band and L-Band Microwave Radars during the November 23, 2013, Etna Paroxysm. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 58(5), 3314–3327. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2019.2953167>
- Overeem, A., Uijlenhoet, R., & Leijnse, H. (2020). Full-year evaluation of nonmeteorological Echo removal with dual-polarization fuzzy logic for two C-band radars in a temperate climate. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 37(9), 1643–1660.
- Sato, E., Fukui, K., & Shimbori, T. (2018). Aso volcano eruption on October 8, 2016, observed by weather radars. *Earth, Planets and Space*, 70(1), 1–8.
- Schaper, M., Frech, M., Michaelis, D., Hald, C., & Rohrdantz, B. (2022). Radio frequency interference detection and mitigation in the DWD C-band weather radar network. *Atmospheric Measurement Techniques*, 15(22), 6625–6642. <https://doi.org/10.5194/amt-15-6625-2022>
- Straka, J. M., Zrnic, D. S., & Ryzhkov, A. V. (2000). Bulk hydrometeor classification and quantification using polarimetric radar data: Synthesis of relations. *Journal of Applied Meteorology*, 39(8), 1341–1372. [https://doi.org/10.1175/1520-0450\(2000\)039<1341:BHCAQU>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0450(2000)039<1341:BHCAQU>2.0.CO;2)
- Vulpiani, G., Montopoli, M., Passeri, L. D., Gioia, A. G., Giordano, P., & Marzano, F. S. (2012). On the use of dual-polarized c-band radar for operational rainfall retrieval in mountainous areas. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 51(2), 405–425.
- Yang, J., Zhao, K., Zhang, G., Chen, G., Huang, H., & Chen, H. (2019). A Bayesian hydrometeor classification algorithm for C-band polarimetric radar. *Remote Sensing*, 11(16), 1–18.
- Yin, J., Hoogeboom, P., Unal, C., & Russchenberg, H. (2022). Radio Frequency Interference Characterization and Mitigation for Polarimetric Weather Radar: A Study Case. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 60(July).
- Zrnic, D. S., Ryzhkov, A., Straka, J., Liu, Y., & Vivekanandan, J. (2001). Testing a procedure for automatic classification of hydrometeor types. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 18(6), 892–913.