EFEKTIFITAS ELEVASI DAN PRODUK TERBAIK ESTIMASI CURAH HUJAN RADAR CUACA BERDASARKAN KLASIFIKASI AWAN

Laksita Widomurti[1)*], Denni Kartono Suswantoro[2)]
[1]Stasiun Meteorologi Sultan Muhammad Salahuddin Bima
[2]Stasiun Meteorologi Sultan Muhammad Salahuddin Bima

*email : laksitamurti@gmail.com

ABSTRACT

Weather radar is one of the remote sensing techniques that is used to provide weather information so that it has a very important role to facilitate services and information. In addition, another benefit of weather radar is that it can estimate rainfall so it is important to know the effectiveness of the Bima weather radar and the best radar product for estimating rainfall based on rain cloud classification. The method used in this research is descriptive analytic and statistically processed. Separation of cloud types by combining two methods, namely the rainfall limit value of 10 mm / hour and 38 dBZ, for clouds with rainfall ≥ 10 mm / hour and the reflectivity value ≥ 38 dBZ are categorized as convective clouds while for values <10mm / hour and < 38 dBZ is categorized as a stratiform cloud.Thera are three methods to determine the best product of weather radar,namely Mean Error (ME), Mean Absolute Error (MAE) and Probability of Detection (PoD). The results of this study shown that the Bima weather radar is effective for coverage the entire scanning area at an elevation of 11.7 °, so to get maximum coverage result of observation area. But not effective to knowing the cloud structure that only detected by radar on loest elevation 0.5^0. For the best product of Bima weather radar to estimating rainfall based on cloud classification with error value consideration is Surface Rainfall Intensity (SRI)

Keywords: *Weather Radar, Reflectivity, Convective, Stratiform, SRI.*

ABSTRAK

Radar cuaca merupakan salah satu teknik penginderaan jarak jauh yang dimanfaatkan untuk memberikan informasi cuaca sehingga memiliki peranan sangat penting untuk mempermudah pelayanan jasa dan informasi. Selain itu, manfaat lain dari radar cuaca adalah dapat mengestimasi curah hujan sehingga penting untuk mengetahui efektif atau tidak radar cuaca Bima dan produk terbaik radar untuk estimasi curah hujan berdasarkan klasifikasi awan hujan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah deskriptif analitik dan diolah secara statistik. Pemisahan jenis awan dengan menggabungkan dua metode yaitu dengan nilai batas curah hujan 10 mm/jam dan 38 dBZ, untuk awan dengan curah hujan ≥ 10 mm/jam dan nilai reflektifitas ≥ 38 dBZ di kategorikan awan konvektif sedangkan untuk nilai < 10mm/jam dan < 38 dBZ dikategorikan awan stratiform. Untuk menentukan model terbaik digunakan tiga metode yaitu *Mean Error (ME), Mean Absolute Error (MAE)* dan *Probability of Detection(PoD)*. Hasil dari penelitian diketahui bahwa radar cuaca Bima optimum untuk menyapu seluruh area *scanning* pada elevasi 11.7°, sehingga efektif untuk mendapatkan hasil maksimal cakupan yang teramati. Namun demikian tidak efektif untuk mengetahui struktur awan yang dapat dideteksi pada elevasi terendah 0.5^0. Untuk produk terbaik radar cuaca Bima dalam estimasi curah hujan berdasarkan klasifikasi awan melalui ukuran nilai *Error*nya adalah *Surface Rainfall Intensity (SRI)*.

Kata kunci: Radar Cuaca, Reflektifitas, Konvektif, Stratiform, SRI.

PENDAHULUAN

Radar cuaca merupakan salah satu teknik penginderaan jarak jauh yang dimanfaatkan untuk memberikan informasi cuaca, baik informasi cuaca publik yang berkaitan dengan prakiraan cuaca harian dan peringatan dini. Selain itu, radar cuaca juga dimanfaatkan untuk memberikan informasi cuaca untuk wilayah sekitar bandara. Peranan

radar cuaca pada operasional menjadi sangat penting dalam mempermudah pelayanan jasa dan informasi. Radar cuaca Bima merupakan salah satu jaringan radar cuaca yang berada di wilayah Indonesia. Radar cuaca Bima merupakan jenis radar cuaca Doppler C-Band yang mampu mendeteksi kecepatan *radial* di udara bersih maupun lokasi yang terjadi hujan lebat dan Radar C-Band memiliki keterbasan pada rekaman topografi yaitu berkurangnya keakuratan pada wilayah yang tertutupi gunung atau gangguan lainnya. (Tanjung, 2011).

Penelitian ini didasarkan pada hasil penelitian Widomurti dan Pramujo (2019) yaitu terdapat perbedaan estimasi curah hujan radar dengan curah hujan pengamatan baik untuk tipe hujan konvektif dan *stratiform.* Hasil kajian oleh Holleman dkk. (2006) dan Zawadzki (1984) menjelaskan bahwa perbedaan hasil estimasi radar dengan permukaan disebabkan oleh limitasi radar. Wilayah Bima dan sekitarnya merupakan wilayah yang terdapat banyak gunung dan memungkinkan mengurangi keakuratan data Radar cuaca Bima. Selain itu, Radar cuaca Bima berada diatas bukit. Merujuk pada keterbatasan radar Doplller C-Band terhadap variasi topografi, maka perlu dilakukan penelitian untuk menguji efektifitas Radar cuaca Bima.

Penelitian mengenai pengklasifikasian awan hujan untuk mengestimasi curah hujan telah banyak dilakukan namun penelitian sejenis ini masih sangat sedikit di Indonesia. Penelitian yang dilakukan oleh Gamache dan Houze (1982) menjelaskan bahwa awan konvektif memiliki nilai *reflectivity* ≥ 38 dBZ dan beorientasi secara vertikal namun berbentuk landai atau miring. Sedangkan awan *stratiform* memiliki nilai reflektifias < 38 dBZ dan ditandai dengan pola *bright band*. Penelitian yang dilakukan oleh Tokay dan Short (1996) menggunakan data observasi dari TOGA COARE *(Tropical Ocean Global Atmosphere Couple Ocean-Atmospheric Experiment)*. Berdasarkan penelitian ini diketahui bahwa pada umunya kejadian hujan konvektif diikuti dengan hujan ringan yang cukup lama dan seluruh presipitasi memiliki nilai reflectivity diatas 40 dBZ dikategorikan sebagai awan konvektif. Namun dalam penelitian Nzeuko dan Seuvageot (2004) menunjukkan hasil yang berbeda. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis data disdrometer selama 4 tahun (148 kasus hujan dari 1997 hingga 2000) di Dakar (Cape Verde) Afrika Barat untuk mengetahui karakteristik distribusi ukuran tetespada daerah transisi (daratan dan lautan). Berdasarkan penelitian ini diketahui bahwa hujan yang memiliki *rain rate* ≥ 10 mm/jam dikategorikan dalam tipe hujan awan konvektifsedangkan untuk hujan tipe awan *stratiform* memiliki *rain rate* <10 mm/jam.

Sistem awan dikendalikan oleh gerak vertikal akibat konveksi, efek orografis, konvergensi, dan *front*. Klasifikasi awan yang didasarakan pada mekanisme gerak vertikal terbagi menjadi dua yaitu *stratiform* dan *cumuliform*/konvektif. Kedua tipe awan tersebut mengahasilkan hujan yang berbeda, awan *stratiform* menghasilkan hujan kontinyu dengan intensitas kecil hingga sedang, sedangkan awan *cumuliform* menghasilkan hujan besar (Tjasyono, 2008). Penelitian-penelitian terkait dengan pengklasifikasian tipe awan hujan dari awan konvektif dan awan *stratiform* menunjukkan adanya perbedaan nilai konstanta empiris dari tipe awan konvektif dan *stratiform* (Nzeukou & Sauvagot, 2004).

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan Radar cuaca Bima memberikan informasi cuaca pada wilayah pengamatannya, dan mengetahui produk terbaik radar cuaca Bima untuk estimasi curah hujan berdasarkan tipe awan hujan. Penelitian akan dilakukan secara deskriptif analisis dengan menggunakan data Radar cuaca Doppler C-Band (CDR)

METODE

1. Data

Data yang digunakan pada penenlitian ini adalah:

a. *Raw* data Radar cuaca Bima yang terletak pada 8,541683° LS dan 118,692276° BT. Data radar akan diolah menggunakan aplikasi 3Drave untuk mengetahui cakupan wilayah yang diamati radar dan estimasi curah hujan berdasarkan produk radar cuaca.
b. Peta rawan bencana wilayah Nusa Tengggara Barat (NTB) yang diperoleh dari Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD).

c. Data curah hujan yang digunakan adalah data curah hujan AWS (*Automatic Weather Station)*, AAWS, dan ARG*(Automatic Rain Gauge)* di 5 lokasi pada pengamatan radar cuaca Bima

2. Metode

Metode penelitian yang akan dilakukan adalah membandingkan estimasi curah hujan yang diperoleh oleh radar dan curah hujan observasi. Pemisahan tipe awan hujan konvektif dan *stratiform* dengan menggabungkan metode yang dijelaskan oleh Nzeuko dan Seuvageot (2004) yaitu menggunakan fluktuasi *rain rate* dengan nilai batas 10 mm/jam dengan penelitian Gamache dan Houze (1982) yaitu menggunakan nilai batas *reflectivity* 38 dBZ sebagai pemisah tipe awan hujan. Pengklasifikasian hujan dilakukan dengan cara membandingkan data angka dari data radar dan hujan pengamatan secara kuantitatif dan diolah secara statistik. Hasil penelitian dijelaskan secara deskriptif analisis.

Metode penelitian terbagi menjadi 3 tahap yaitu:

a. Membandingkan cakupan wilayah yang teramati radar tiap elevasi dengan peta rawan bencana wilayah Nusa Tenggara Barat.
b. Data radar diolah menggunakan aplikasi *Rainbow*. Pengolahan data radar diolah untuk mengetahui tipe awan hujan dengan nilai batas *reflectivity* 38 dBZ dan akumulasi hujan selama 1 jam. Untuk menentukan nilai *reflectivity* menggunakan produk CMAX (*Maximum Display*). Sedangkan nilai akumalasi curah hujan 1 jam mengunakan produk PAC (*Precipitation Accumulation)* yang merupakan produk turunan dari produk yang akan diuji yaitu
    - *Maximum Display* (CMAX)
    - *Constant Altitude PPI* (CAPPI)
    - *Rain Tracking* (RTR)
    - *Surface Rainfall Intensity* (SRI)

    Kemudian data akumulasi curah hujan tiap jam diolah menggunakan Ms. Excel sehingga didapatkan produk terbaik untuk estimasi curah hujan berdasarkan metode statistik.
c. Data curah hujan hasil pengamatan diolah menggunakan aplikasi Ms. Excel untuk mengetahui tipe hujan berdasarkan nilai batas 10 mm/jam.
d. Verifikasi
    - *Mean Absolute Error (MAE)*

    Merupakan evaluasi statistik yang digunakan untuk mengetahui penyimpangan yang terjadi antar nilai curah hujan estimasi radar dengan dengan nilai curah hujan hasil pengamatan dengan bobot galat yang disamakan. Curah hujan hasil estimasi radar dan hasil pengamatan AWS/ARG/AAWS disusun dalam bentuk tabel (Tabel 3.2). Persamaan MAE adalah sebagai berikut:

$$MAE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}|(f_i - o_i)|$$

Keterangan :
N =Banyak Data
f_i= Curah hujan hasil estimasi ke-*i* (mm)
o_i= Curah hujan hasil observasi ke-*i*(mm)

- *Mean Eror (ME)*

Mean Error (ME) digunakan untuk menghitung nilai antara curah hujan pengamatan observasi dan curah hujan estimasi radar. COMET Program (2008) menjelaskan ME digunakan dalam menghitung nilai rata-rata dari perbedaan aritmetika antara observasi dan prakiraan. Berikut persamaan ME:

$$ME = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(f_i - o_i)$$

Keterangan :

fi = Estimasi *oi* = Pengamatan

- *Probability of detection* (PoD)

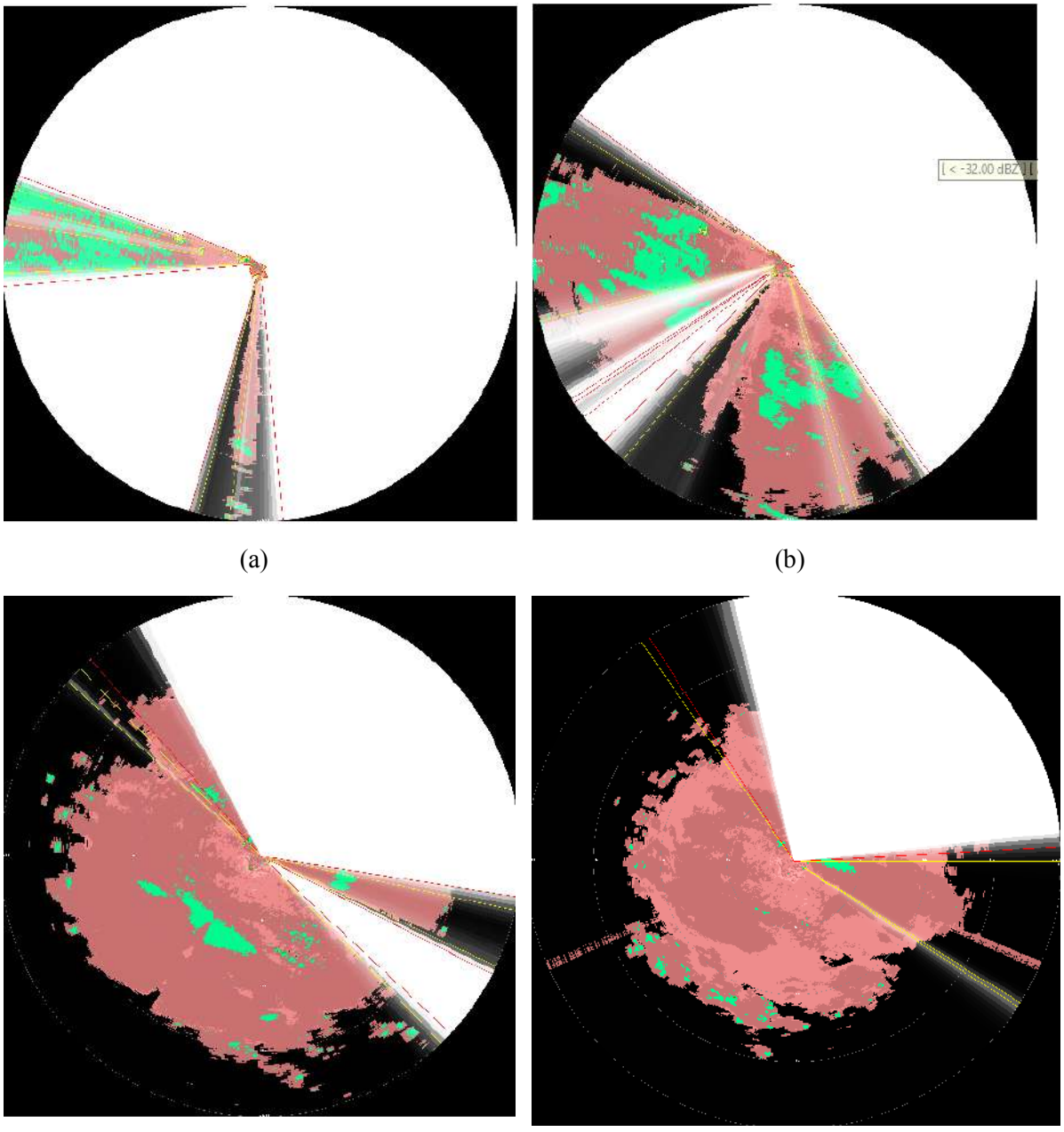
Probabilitas kejadian yang dapat dideteksi (Probability of detection,

PoD) oleh model prediksi adalah bagian kejadian yang diamati terjadi ("ya") dan dapat diprediksi (Gustari, 2004). PoD dapat menghitung kejadian hujan yang diprediksi radar benar-benar terjadi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

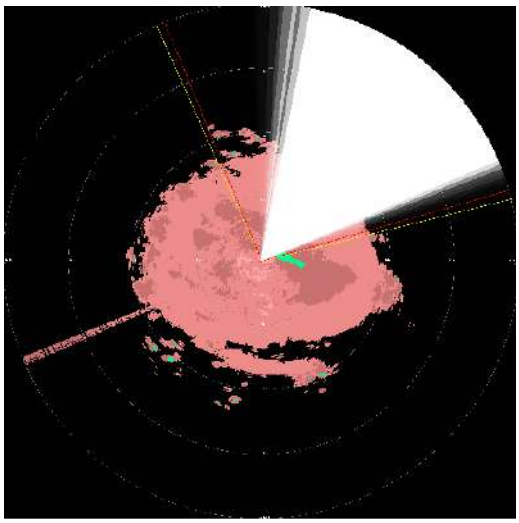
1. Cakupan wilayah yang teramati Radar cuaca

Cakupan wilayah yang teramati oleh Radar cuaca akan dilakukan tiap elevasi *scanning* sehingga dapat mengatahui luasan area yang teramati oleh Radar Cuaca. Elevasi *scanning* Radar cuaca Bima yaitu 0.5°, 1.7°, 3.2°, 4.8°, 6.8°, 9.1°, 11.7°, 14.8°, 18.4°, dan 22.7°. Analisis cakupan wilayah dilakukan setiap elevasi *scanning* Radar agar mengetahui elevasi optimum dari Radar cuaca Bima.

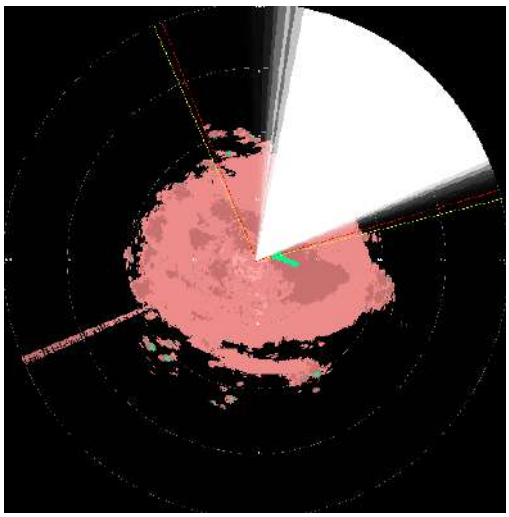


(a) (b)

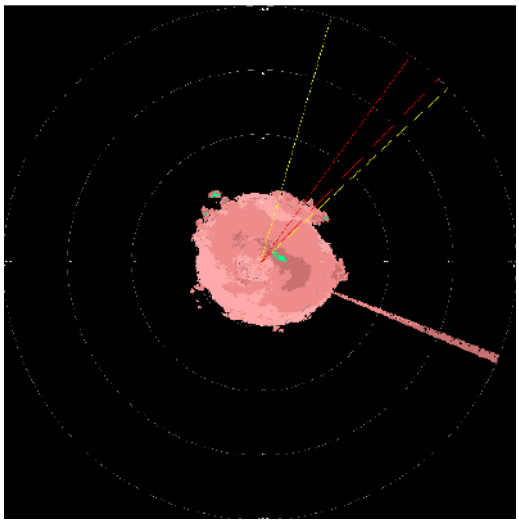
(c) (d)



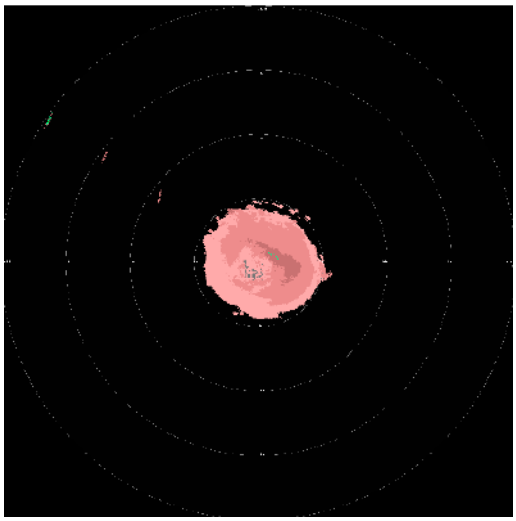
(e)



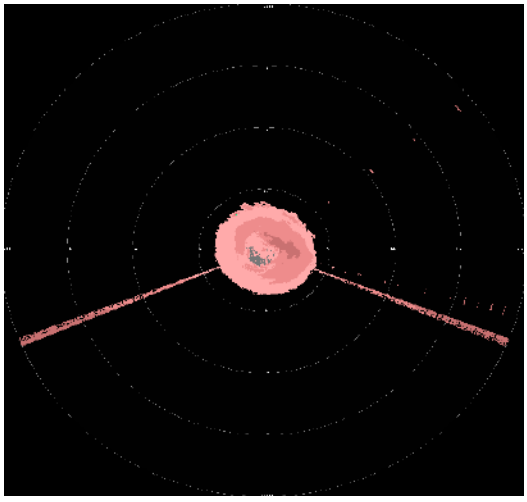
(f)



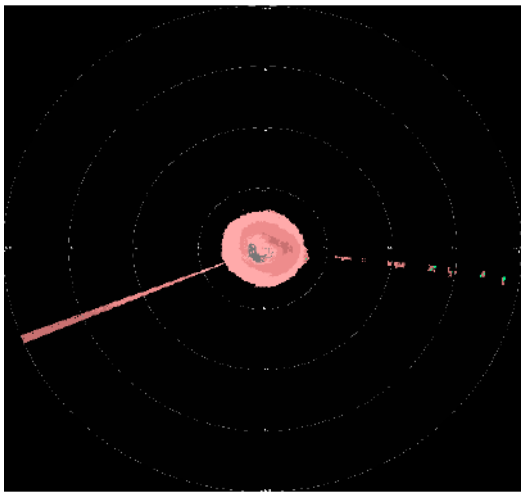
(g)



(h)



(i)

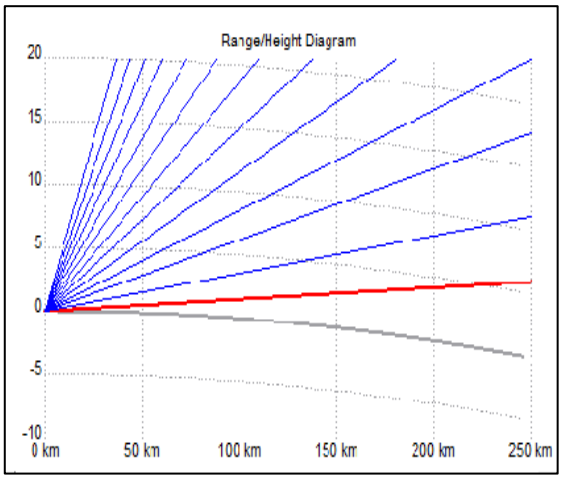


(j)

Gambar 2. *Scanning* Radar tiap elevasi; (a) 0.5°; (b) 1.7°; (c) 3.2°; (d) 4.8°; (e) 6.8°; (f) 9.1°; (g) 11.7°, (h) 14.8° ; (i) 18.4°; dan (j) 22.7°

Gambar 1. Merupakan gambar yang menunjukkan area yang teramati oleh Radar cuaca Bima. Berdasarkan Gambar 1. diketahui bahwa Radar cuaca Bima mengamati area pengamatan secara optimum berada pada elevasi 11.7°. Sedangkan, pada elevasi rendah Radar cuaca Bima tidak mengamati seluruh daerah pengamatan Radar Cuaca. Hal penting pada pengamatan radar cuaca adalah penambahan ketinggian terhadap jarak dari pusat Radar, semakin jauh dari pusat radar maka akan semaki tinggi hasil dari pengamatan Radar. Hal tersebut sesuai dengan Gambar 2.

Cuaca ekstrem disebabkan oleh awan *Cumulonimbus* (Cb), dalam mengamati awan Cb sangat penting untuk diamati pada setiap elevasi-nya. Jika, hasil optimum *scanning* Radar cuaca Bima pada elevasi 11.7° maka struktur awan pada lapisan bawah baik jarak yang dekat dan jauh dengan Radar tidak teramati. Berbeda dengan elevasi 11.7°, pada elevasi 0.5° (terendah) radar mampu memperoleh struktur awan bagian bawah, namun perlu diperhatikan posisi objek karena dipengaruhi oleh penambahan ketinggian terhadap jarak (Gambar 2). Daerah-daerah yang tidak teramati Radar disebabkan oleh adanya *blocking* yang menutupi area pengamatan data

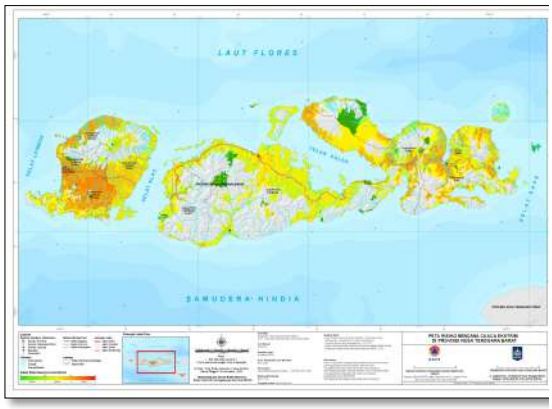


Gambar 3. Penambahan ketinggian terhadap jarak dari pusat Radar Cuaca Bima.

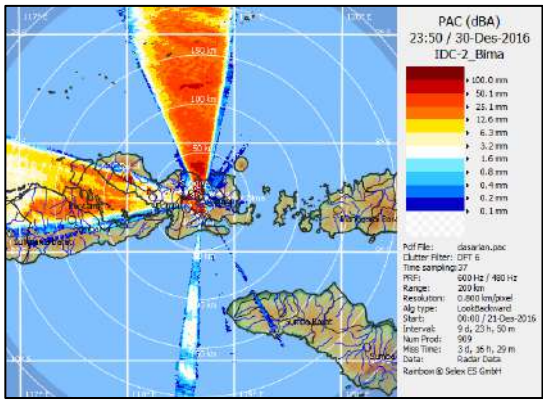
yang lebih besar pada pengamatan Radar cuaca Bima.

2. Komparasi wilayah yang teramati Radar dengan kejadian Bencana.

Membandingkan area yang teramati oleh Radar cuaca dengan peta resiko banjir di wilayah NTB bertujuan untuk melihat efektifitas pengamatan Radar cuaca Bima dalam mendiseminasikan informasi terkait dengan peringatan dini cuaca ekstrem.



Gambar 3 (a) Peta Risiko Bencana Cuaca Ekstrem
Sumber: www.inarisk.bnpb.go.id



Gambar 4. (b) Pengamatan Radar elevasi 0.5°

Gambar 3 (a) merupakan peta risiko bencana cuaca ekstrem. Resiko kejadian banjir dijelaskan berdasarkan indeks warna. Indeks warna hijau menunjukkan resiko kejadian banjir rendah, kuning sedang, dan merah adalah tinggi.

Gambar 3 (b) merupakan pengamatan hujan dasarian 3 radar bulan Desember 2016 pada elevasi 0.5°, dasarian 3 Desember 2016 terdapat kejadian hujan lebat yang menyebabkan banjir pada tanggal 21 dan 23 Desember 2016. Berdasarkan Gambar 3 (b) diketahui bahwa tidak seluruh wilayah pengamatan Radar cuaca teramati. Wilayah

yang teramati radar berada diwilayah barat dan utara radar. Hal tersebut disebabkan oleh *blocking* yang menutupi *beam* Radar. sehingga, untuk mendiseminasikan informasi cuaca yang memanfaatkan Radar cuaca hanya optimal pada wilayah yang teramati Radar, sedangkan yang tidak teramati akan mengurangi keakuratan Radar cuaca.

3. Kualitas, Kontinuitas, dan Sebaran Data Banding

Dari 5 titik lokasi yang digunakan sebagai data banding dalam rentang waktu 1 Januari 2016 hingga 31 Desember 2016 terdapat variasi ketersediaan dan kualitas data banding yaitu data AWS/AAWS/ARG tertera pada tabel 1.

Tabel 1. Kontinuitas data banding di 5 lokasi AWS/AAWS/ARG

No	Lokasi Data Banding	2016										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	AAWS Dompu											
2	ARG Pekat											
3	ARG Hu'u											
4	AWS Stamet Bima											
5	AWS Manggelewa											

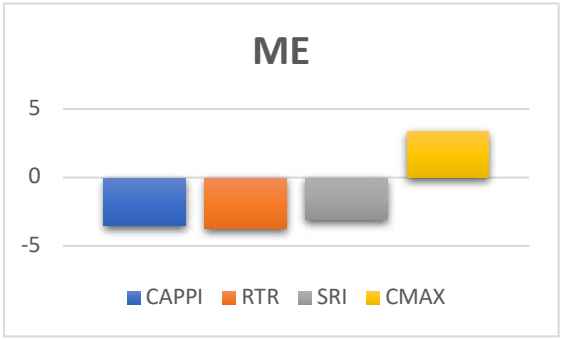
Berdasarkan Tabel 1. terlihat bahwa dari 12 bulan data yang digunakan, hanya terdapat 2 titik yang memiliki data kontinyu yaitu pada AWS Stasiun Meteorologi Muhammad Salahuddin Bima dan ARG Pekat. Data hujan pada bulan-bulan kosong disebabkan oleh tidak tersedianya data dan kualitas data yang buruk yaitu data yang kurang dari 1 jam. Data AWS/AAWS/ARG menghasilkan data setiap 10 menit dan pada penelitian ini akan menggunakan data akumulasi 1 jam. Sehingga data AWS/AAWS/ARG yang mencatat kurang dari 1 jam dianggap sebagai data kualitas buruk.Data curah hujan yang digunakan pada penelitian ini adalah tiga kasus hujan pada setiap kriteria hujan dan bulan pada tiap titik ARG/AAWS/ARD di lokasi penelitian. Pemilihan data hujan yang digunakan adalah 3 kasus pada tiap kriteria dan bulan. Data radar cuaca yang digunakan pada saat operasional adalah *mode scanning* VCP21 dengan 13 elevasi yaitu 0,5° hingga 40°.

4. Pemilihan Produk Terbaik

Pemilihan produk radar bertujuan untuk mengetahui produk terbaik yang digunakan pada pengamatan radar cuaca. Pada penelitian ini menggunakan produk PAC dari produk RTR, CAPPI, SRI, dan CMAX. (jelaskan masing-masing proudk) Pemilihan produk terbaik didasarkan pada metode statistik yaitu ME, MAE, dan PoD sehingga diperoleh produk terbaik untuk estimasi curah hujan.

a. *Mean Error* (ME)

Berdasarkan nilai ME yang tertera pada gambar 4.1. dapat terlihat bahwa dari semua kasus hujan diseluruh lokasi untuk produk CAPPI, RTR, dan SRI menghasilkan estimasi curah hujan *underestimate*, namun untuk produk estimasi curah hujan CMAX menghasilkan data yang berbeda yaitu *overestimate*.



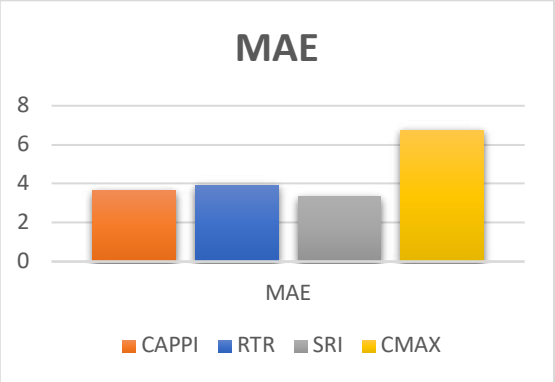
Gambar 4. Nilai ME

Gambar 4. juga menjelaskan bahwa estimasi curah hujan dari produk SRI memiliki nilai galat paling kecil sedangkan produk RTR memiliki nilai galat paling besar. Sehingga berdasarkan nilai ME tersebut menjelaskan bahwa produk SRI dapat diduga sebagai produk terbaik untuk estimasi curah hujan. Nilai ME dapat dimanfaatkan untuk mengetahui kecenderungan dari hasil estimasi dari produk radar secara umum memiliki kecenderungan *overestimate* atau *underestimate*. Namun, nilai galat yang dirata-ratakan tidak dapat menjelaskan

nilai galat yang sebenarnya yang disebabkan oleh nilai galat negatif maupun positif saling melemahkan.

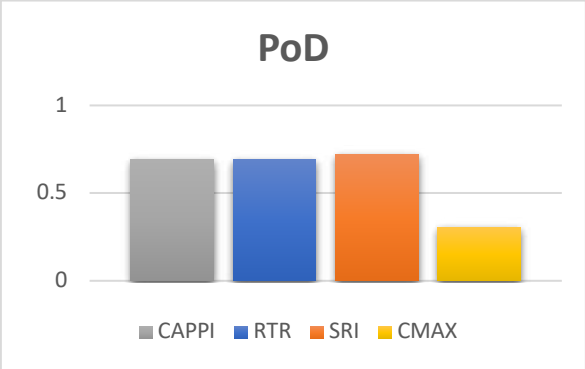
b. *Mean Absolute Error* (MAE)

MAE digunakan untuk mengetahui nilai galat yang sebenarnya sehingga mampu menutupi kekurangan dari nilai ME. Berdasarkan nilai MAE yang tertera pada Gambar 5. dapat dilihat secara umum dari semua kasus hujan yang digunakan.



Gambar 5. Nilai MAE

SRI memiliki nilai galat yang paling kecil sedangkan produk CMAX memiliki nilai galat yang paling besar. Sehingga produk SRI diduga sebagai produk terbaik radar untuk estimasi curah hujan.



Gambar 5. Nilai PoD

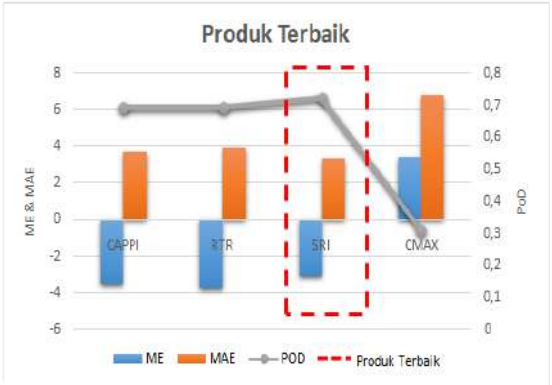
c. *Probablity of Detection* (PoD)

PoD digunakan untuk mengetahui probabilitas kejadian yang dapat dideteksi. Nilai 1 merupakan nilai probabilitas 100% dan 0 adalah 0%. Berdasarkan Gambar 4.3. diketahui bahwa produk SRI memiliki nilai PoD besar yaitu 0.72 sehingga kemampuan dari produksi SRI untuk estimasi curah hujan sebesar 72%, sedangkan produk radar yang memiliki nilai kecil adalah CMAX yaitu 0.31 sehingga kemampuan produk CMAX hanya sebesar 31%. Oleh karena itu, produk SRI diduga sebagai produk terbaik untuk estimasi curah hujan di wilayah pengamatan Radar Cuaca Bima.

5. Produk Terbaik

Pemilihan produk terbaik didasarkan pada nilai dari setiap metode statistik yang digunakan. Penentuan produk terbaik untuk estimasi curah hujan pada penelitian ini menggunakan 3 metode statistik yaitu ME, MAE, dan PoD. Teknik pengambilan kesimpulan produk terbaik harus memenuhi kriteria yaitu nilai galat ME dan MAE kecil, sedangkan nilai yang dihasilkan PoD besar.

Gambar 6. menjelaskan produk terbaik untuk estimasi curah hujan dari produk CAPPI, RTR, SRI, dan CMAX. Berdasarkan Gambar 6. diketahui bahwa produk radar terbaik untuk estimasi curah hujan di wilayah Bima adalah SRI, karena memenuhi kriteria nilai galat ME dan MAE paling kecil dan nilai PoD paling besar dibandingkan produk lainnya. Berdasarkan Gambar 6. produk SRI memiliki kecenderungan estimasi yang *underestimate* dengan nilai galat sebesar 3,3 dan keakuratan prediksi sekitar 72%.



Gambar 6. Produk Terbaik

Penentuan produk radar terbaik untuk estimasi curah hujan sangat bergantung pada jarak dari pusat radar. SRI merupakan produk

radar terbaik untuk estimasi curah hujan dan sangat baik untuk wilayah yang dekat dengan pusat radar sedangkan untuk wilayah yang jauh dari pusat radar, produk SRI tidak mampu memberikan nilai yang mendekati nilai curah hujan permukaan. Sehingga dibutuhkan penelitian lebih lanjut tentang produk terbaik curah hujan berdasarkan jarak dari pusat radar.

KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan untuk mencapai tujuan penelitian yaitu mengetahui kemampuan radar cuaca Bima dalam memberikan informasi cuaca dan produk terbaik radar cuaca Bima untuk estimasi curah hujan, sehingga dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil *scanning* untuk setiap elevasi diketahui bahwa radar cuaca Bima mampu untuk menyapu seluruh area *scanning* di elevasi 11,7°. Pada elevasi ini Radar mampu memberikan informasi cuaca pada cakupan optimum teramati, namun demikian tidak efektif untuk mengatahui struktur awan.
2. Hasil perhitungan beberapa *error*, maka produk radar cuaca terbaik untuk estimasi curah hujan berdasarkan tipe awan hujan adalah SRI, namun butuh kajian lebih lanjut untuk mengetahui produk radar cuaca untuk estimasi curah hujan berdasarkan jarak dari pusat radar.

DAFTAR PUSTAKA

BNPB. (2018). Indeks Risiko Bencana Indonesia 2018 [online]. http://inarisk.bnpb.go.id/, diakses tanggal 31 Januari 2020.

COMET Program. (2008). *Introduction to verification of hydrologic forecasts* [online]. http://meted.ucar.edu, diakses tanggal 28 Januari 2020.

Gamache, J.F., dan Houze Jr., R.A. (1982). *Mesoscale Air Motions Associated with a Tropical Squall Line*. *American Meteorologi Society*. Vol. 110, pp 118-135.

Gustari, I. (2014). Perbaikan Prediksi Cuaca Numerik Kejadian Curah Hujan Sangat Lebat Terkait dengan Sistem Awan di Jabodetabek Menggunakan Asimilasi Data Radar C-Band. *Disertasi,* Program Studi Sains Kebumian Institut Teknologi Bandung. Bandung.

Holleman, I., dkk. (2006). Quality Information for Radars and Radar Data. OPERA workpackage 1.2.

Nzeukou, A., & Sauvageot, H. (2004). *Raindrop size distribution and radar parameters at Cape Verde*. *Journal of Applied Meteorology*. Vol. 43, pp 90-105.

Tanjung, D. M. (2011). *Processing* Data Radar Cuaca C-Band Doppler untuk Curah Hujan; Studi Kasus Jabodetabek. Bogor. IPB.

Tjasyono, B.H.K. (2008). Meteorologi Terapan. ITB - Bandung.

Tokay, D., & Short, A. (1996). *Evidence from tropical raindrop spectra of the origin of rain from stratiform versus convective clouds*. *J. Appl. Meteor.* Vol. 35, No. 3, pp 355–371.

Widomurti, L., dan Pramujo, B. 2019. Penentuan Rentang *Video Integrator Processor (VIP)* Level Curah Hujan Berdasar Klasifikasi Awan pada Pengamatan Radar Cuaca. Buletin Balai Besar Meteorologi dan Geofisika Wilayah II Ciputat. Vol. 9 No. 7. Hal 22–28.

Zawadzki, Isztar. (1984). *Factors Affecting the Precision of Radar Measurements of Rain*. Conference on Radar Meteorology of the American Meteorological Society. 251-256.