



Pengaruh Penerapan Quality Control Data Radar Terhadap Akurasi Estimasi Curah Hujan Di Wilayah Pontianak Dan Sekitarnya

Aditya Mulya^{1*} dan Anisa Budi Lestari²

¹*Jurusan Meteorologi, Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*

²*Stasiun Meteorologi. Kelas III Binaka - Gunung Sitoli, Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika,*

Email: aditya.mulya@stmkg.ac.id

*Corresponding Author

Abstrak

Operasional radar cuaca memiliki keterbatasan yang menyebabkan penurunan kualitas estimasi curah hujan dari radar, seperti gangguan pada radar cuaca Pontianak. Penerapan *3D Clutter Map and Data Processing (3DCDP)*, *Brightband Echo Correction (BBC)*, dan *Z-Based Attenuation Correction (ZATC)*, yang termasuk dalam *post-processing Quality Control (QC)*, merupakan prosedur standar mitigasi keterbatasan radar cuaca. Proses tersebut dilakukan pada data radar cuaca Pontianak periode 1 Januari 2019 – 31 Desember 2019. Pengaruh penerapan QC diamati dengan membandingkan produk radar sebelum dan sesudah penerapan QC secara kualitatif dan kuantitatif. Data curah hujan hasil estimasi radar dibandingkan dengan data observasi curah hujan dari AWS/ARG dan divalidasi dengan nilai RMSE dan ME. Berdasarkan 19 nilai validasi pada 10 kasus hujan terpilih, 18 nilai validasi menunjukkan QC dapat meningkatkan akurasi estimasi curah hujan radar, meskipun tidak signifikan dan *underestimated*. Perbandingan citra radar cuaca menunjukkan bahwa interferensi dan Clutter di sekitar radar cuaca berkurang

Kata kunci: Curah Hujan, *Quality Control*, Radar Cuaca.

Abstract

Weather radar operational has a limitation that leads to a quality reduction of radar rainfall estimation, such as interference at Pontianak's weather radar. The application of 3D Clutter Map and Data Processing (3DCDP), Brightband Echo Correction (BBC), and Z-Based Attenuation Correction (ZATC), which include in post-processing Quality Control (QC), is the standard procedure of weather radar limitation mitigation. This procedure applied to data of Pontianak weather radar over 1 January 2019–31 December 2019. The QC implementation effect was observed qualitatively and quantitatively by comparing radar's products before and after QC implementation. Data of radar rainfall estimation compared with rainfall observation data from AWS/ARG and validated with RMSE and ME values. According to 19 validation values on the 10 cases of chosen rain, 18 value shows QC's increased the accuracy of radar rainfall estimation, though insignificant and still underestimated. The comparison of the weather radar image shows that the interference and Clutter around the weather radar are reduced

Keywords: *Quality Control, Rainfall, Weather Radar.*

Info Artikel

Status artikel:

Diterima: 23 Desember 2021

Disetujui: 16 Oktober 2022

Tersedia online: 31 Desember 2022

1. PENDAHULUAN

Curah hujan merupakan jumlah dari presipitasi (endapan) yang terjadi di tempat tertentu [1]. Hujan sangat penting dalam kehidupan manusia seperti pertanian, hidrologi, dan sebagainya [2]. Informasi mengenai curah hujan sangat penting sebagai mitigasi bencana seperti rencana penanggulangan, peringatan dini bencana, serta penyelamatan [3]. Pengamatan curah hujan dapat dilakukan dengan sistem penginderaan jarak jauh (*remote sensing*) [4]. Salah satu alat *remote sensing* yang digunakan oleh BMKG adalah radar cuaca. Radar cuaca bekerja secara *realtime* memancarkan *echo* berupa gelombang elektromagnetik, kemudian *echo* tersebut dikembalikan ke radar oleh objek yang ada di atmosfer [5].

Radar mampu mengukur variasi curah hujan dalam resolusi beberapa km², memiliki periode pengamatan yang singkat, serta dapat memonitor perubahan fenomena cuaca signifikan yang penting bagi penentuan peringatan dini cuaca buruk dan berbahaya. Pada penerapannya, radar memiliki limitasi dalam mengamati atmosfer. Limitasi tersebut berasal dari *beam blockage* karena adanya bangunan, pohon atau gunung, *overshooting*, dan *partial beam blockage*, *clutter* yang berasal dari *echo non-meteorologi*, serta adanya pelemahan (*attenuation*) sinyal radar [6]. Sumber kesalahan radar berasal dari tingkat keakuratan antena, keakuratan proses sinyal, interferensi gelombang elektromagnetik, pelemahan (atenuasi) yang dipicu adanya *wet radome*, *clutter*, *anomalous propagation*, *shielding* atau *blockage*, *beam filling*, *overshooting*, *melting layer*, objek non-meteorologi yang menghasilkan *echo*, *atenuasi presipitasi*, hubungan *Z-R* dan sebagainya [7]. Adanya limitasi radar di atas menyebabkan kualitas estimasi curah hujan menurun [8].

Upaya dalam mengatasi penurunan kualitas estimasi curah dilakukan dengan *quality control* pada radar. Salah satu metode *quality control* yang umum dilakukan pada raw data radar dengan *post-processing quality control*. *Post-processing* terdiri dari *clutter filtering*, *attenuation correction*, *bright band echo correction*, *masking/occultation*, dan *vertical profile correction*. Penelitian mengenai *quality control* pada data radar dilakukan oleh Sahlaoui dan Mordane [9] pada radar cuaca C-Band Maroko di Kota Khouribga, Maroko. Penelitian tersebut membandingkan nilai estimasi curah hujan radar dengan alat penakar hujan menghasilkan nilai bias -6.4 mm dan nilai RMSE 8.9 mm.

Firdaus dkk. [10] melakukan penelitian mengenai dugaan interferensi pada radar cuaca Pontianak. Penelitian dilakukan dengan pengujian data radar pada periode Januari – Maret 2019. Hasil dari pengujian menunjukkan adanya interferensi pada radar cuaca milik BMKG pada frekuensi 5 GHz. Interferensi tersebut menyebabkan data yang dihasilkan kurang akurat dan rinci karena terhalang *echo* dari interferensi. Sehingga penerapan *quality control* pada data radar Pontianak diperlukan untuk mengatasi adanya interferensi pada radar

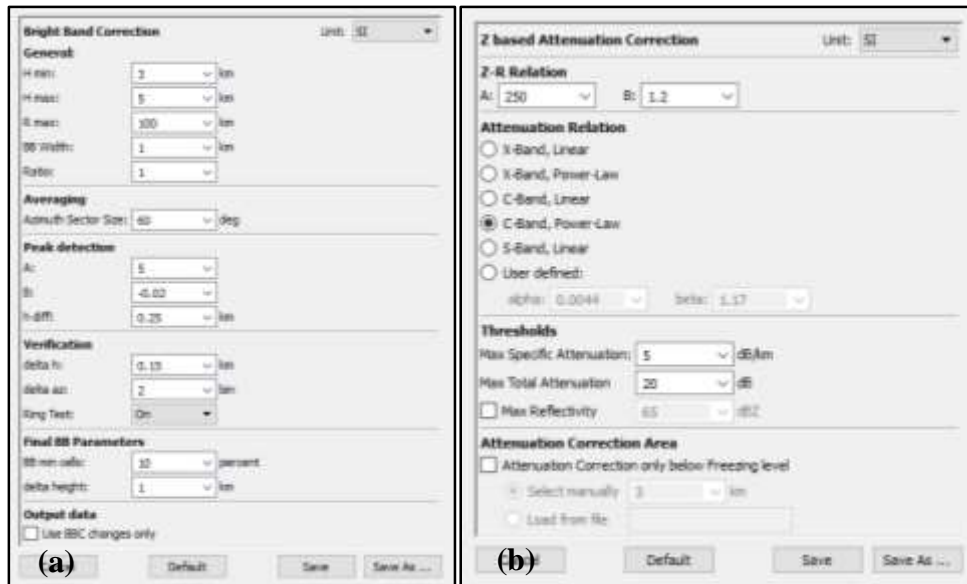
yang menurunkan keakuratan data yang dihasilkan. Pada penelitian ini penulis mencoba menerapkan *post-processing quality control* pada Radar Cuaca C-Band Pontianak.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan dengan membagi variabel menjadi dua kelompok, kelompok kontrol tanpa perlakuan khusus sedangkan kelompok treatment dilakukan perlakuan khusus. Penelitian ini menerapkan model penelitian eksperimental dengan melakukan *quality control* pada data radar kemudian akan hasilnya akan diolah menjadi produk hidrologi untuk mendapatkan estimasi curah hujan. Penelitian deskriptif dilakukan untuk menjelaskan perbandingan antara hasil estimasi curah hujan dari data radar sebelum *quality control* dan hasil estimasi curah hujan dari data radar sesudah *quality control* dengan data curah hujan dari alat penakar hujan. Kemudian, akan dilakukan perbandingan secara kuantitatif dan kualitatif. Perbandingan kuantitatif dilakukan untuk mendapatkan nilai korelasi dan error dengan membandingkan data radar dengan data curah hujan penakar.

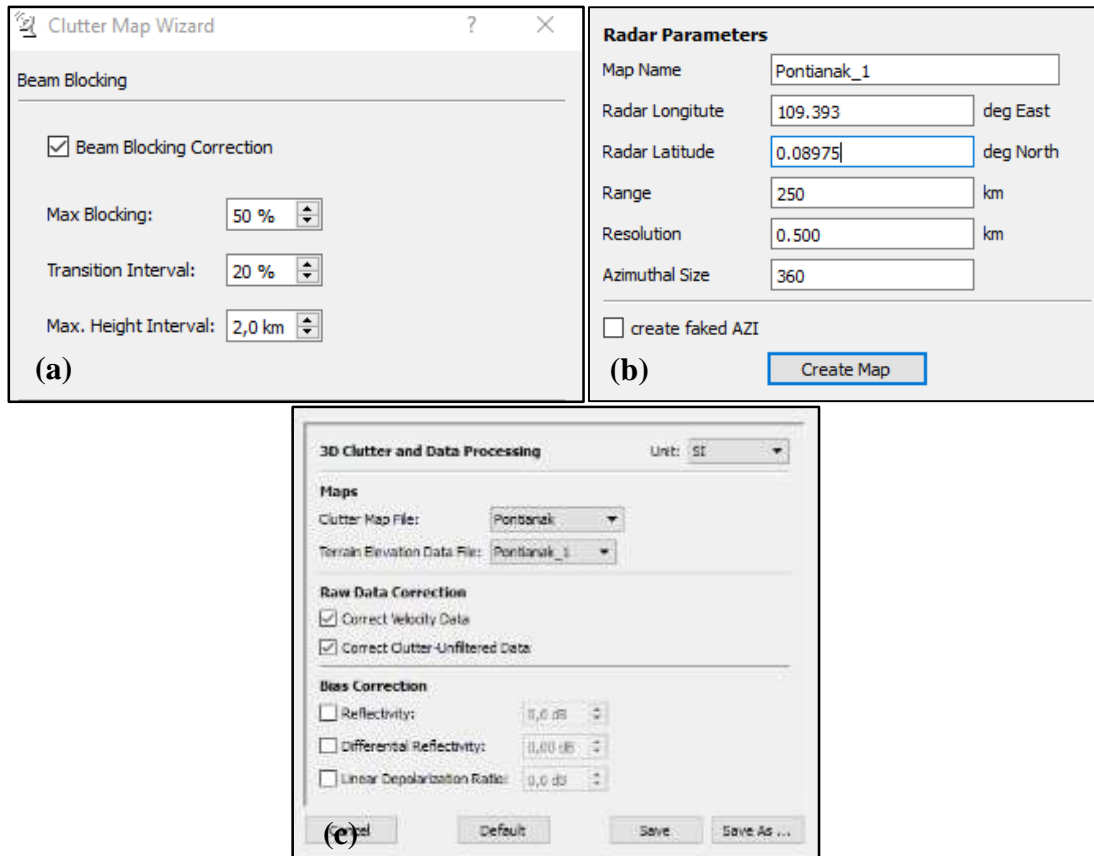
Lokasi penelitian dilakukan pada daerah Pontianak dan sekitarnya yang terjangkau cakupan radar cuaca di Stasiun Meteorologi Kelas I Supadio-Pontianak. Radar cuaca Pontianak merupakan single polarization radar jenis EEC dengan tipe C-Band. Letak radar tersebut berada pada $0^{\circ} 5' 23''$ LU dan $109^{\circ} 23' 34''$ BT. Waktu penelitian ini pada periode Januari 2019 hingga Desember 2019, dengan kasus kejadian ditentukan sesuai dengan ketersediaan data radar cuaca dan data AWS/ARG. Data radar cuaca pada penelitian ini menggunakan raw data Radar Pontianak yang telah diubah menjadi format .vol yang diolah menggunakan aplikasi Rainbow 5.49.13. Data radar tersebut kemudian akan digunakan untuk implementasi *quality control*.

Dalam periode data yang digunakan, akan ditentukan hari cuaca cerah untuk dasar penerapan *ground clutter filtering*. Langkah pengolahan diawali dengan menentukan kasus hujan lebat dan hujan sangat lebat menggunakan *Z-based attenuation correction (ZATC)* dan *bright band correction (BBC)*. Penerapan BBC dilakukan untuk menghilangkan pola BBE pada citra radar (Gambar 1(a)). Pengaturan ZATC seperti pada Gambar 1(b) dilakukan untuk mengurangi pelemahan (atenuasi) akibat adanya redaman oleh jarak, awan, dan hujan. Data AWS/ARG yang digunakan pada penelitian ini merupakan data pada kasus kejadian hujan lebat hingga hujan sangat lebat, sedangkan hari hujan yang akan digunakan pada penelitian sebanyak 10 hari, dengan ketentuan hari hujan lebat 5 hari dan hujan sangat lebat 5 hari.



Gambar 1. Pengaturan (a) BBC, dan (b) ZATC pada Rainbow 5.49.13.

Data radar sesuai dengan kasus hujan lebat dan hari cerah dengan tutupan awan seminimal mungkin digunakan sebagai dasar pembuatan *clutter map* dalam proses 3DCDP. *Clutter map* dibuat menggunakan 3D Rave dengan data radar pada hari cerah. *Clutter map* dengan format .cmap akan digunakan pada proses 3DCDP. Pengaturan pembuatan clutter map disajikan pada Gambar 2(a). *SRI Map* dibuat dengan format .srimap yang digunakan sebagai input *Terrain Elevation Data File* pada proses 3DCDP dengan aplikasi RainGisImport (Gambar 2 (b)). Produk SRI diolah untuk mendapatkan estimasi curah hujan. Relasi Z–R yang digunakan merupakan pengaturan Marshall–Palmer. Produk PAC yang merupakan produk turunan SRI untuk mendapatkan estimasi curah hujan dalam bentuk akumulasi tiap jam diturunkan menjadi produk PRT untuk mendapatkan nilai akumulasi curah hujan perjam. Selanjutnya produk PRT dikonversi menjadi format ASCII agar dapat ditampilkan dan diolah pada *spreadsheet*. *Clutter filtering* diterapkan dengan 3DCDP pada produk PPI radar (Gambar 2(c)). *Clutter filtering* digunakan untuk menghilangkan *echo* yang dihasilkan oleh *ground clutter* di wilayah jangkauan radar.



Gambar 2. Pengaturan pembuatan (a) clutter map, (b) SRI Map, dan (c) 3DCDP pada Rainbow.

Analisis kualitatif pada produk PPI sebelum dan sesudah clutter filtering dilakukan untuk melihat pengaruh clutter filtering dalam menghilangkan echo dari ground clutter, kemudian dibandingkan dengan citra dari satelit. Analisis kualitatif pada produk CMAX untuk melihat ada tidaknya pola BBE setelah dilakukan BBC dan dibandingkan dengan sebelum BBC. Analisis kualitatif pada hasil citra radar produk SRI dan PAC *non-quality control* dan *quality control* untuk melihat pengaruh dari ZATC. Analisis kuantitatif pada hasil estimasi curah hujan radar dan curah hujan penakar dengan metode statistik *Root Mean Square Error* (RMSE), koefisien korelasi dan *Mean Error* (ME). Nilai RMSE merupakan nilai error dari hasil estimasi terhadap nilai yang sebenarnya. Semakin kecil nilai RMSE menunjukkan hasil estimasi yang dilakukan semakin baik [11]. RMSE dihitung dengan persamaan (1)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (re_i - ro_i)^2}{N}} \quad (1)$$

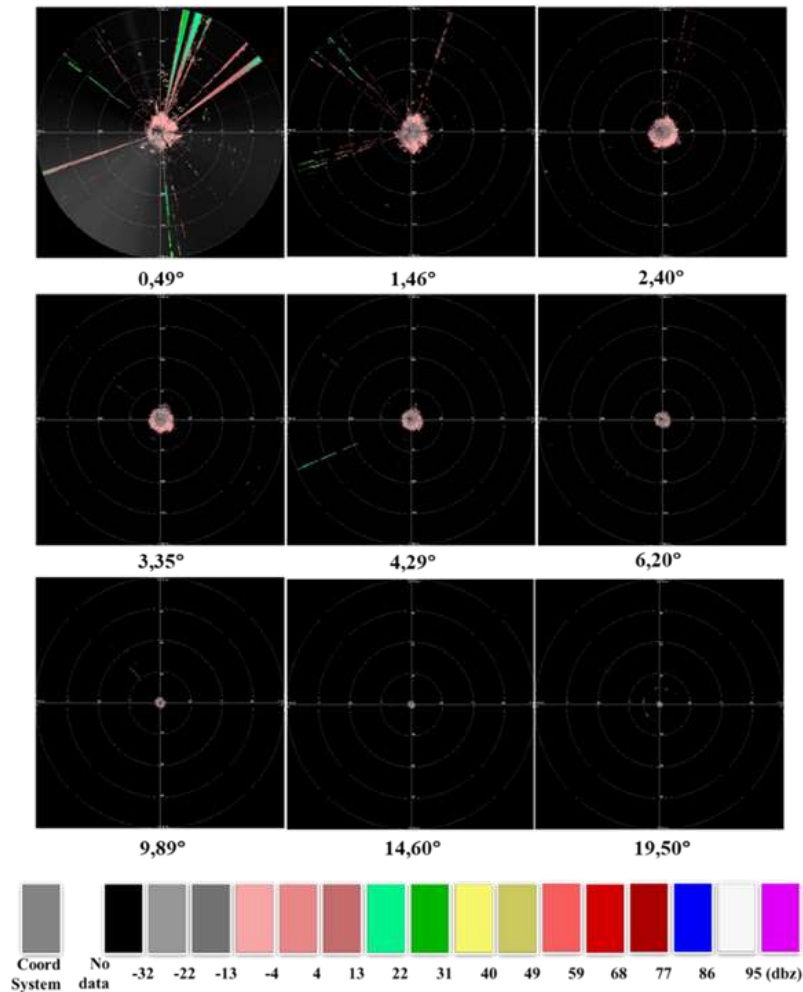
Dimana RMSE merupakan *Root Mean Square Error*, N adalah jumlah data, ro adalah nilai observasi dan re merupakan nilai estimasi. Nilai ME menunjukkan ketidakpastian pada estimasi atau perbedaan antara nilai estimasi dengan nilai yang sebenarnya. Jika nilai estimasi yang dilakukan mendekati nilai sebenarnya (data observasi), maka nilai ME akan mendekati 0 [12]. Nilai ME didapat dengan persamaan (2), dimana ME merupakan nilai *mean error* (bias), N adalah jumlah data, ro adalah nilai observasi dan re merupakan nilai estimasi.

$$ME = \frac{\sum_{n=1}^N (re-ro)}{N} \quad (2)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

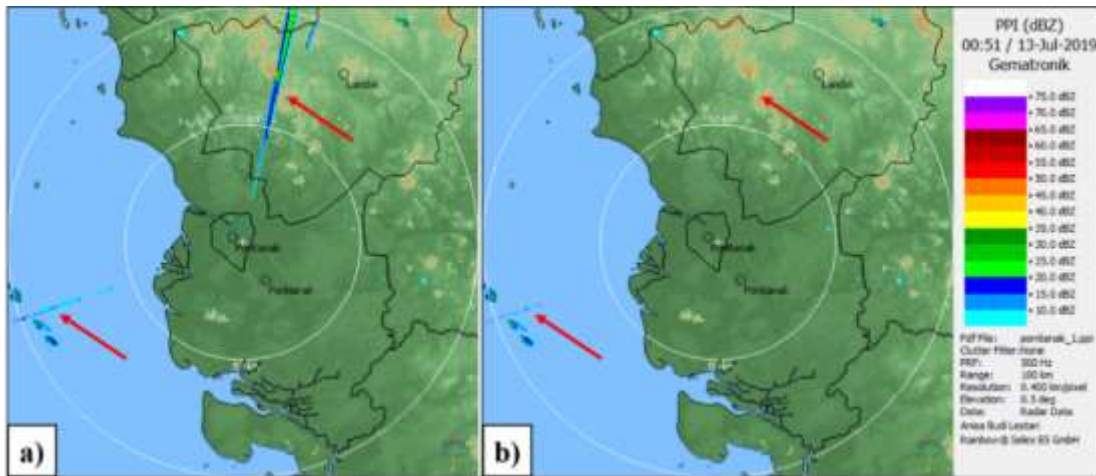
Data radar saat cuaca cerah digunakan sebagai dasar pembuatan clutter map, karena *reflectivity* yang ada berasal dari pengaruh *ground clutter* dan gangguan lain [13]. Tujuan penggunaan clutter map adalah untuk menghilangkan *reflectivity* dari *ground clutter* dan interferensi, dengan tetap mempertahankan *reflectivity* dari fenomena cuaca. Pembuatan clutter map pada penelitian dibuat berdasarkan raw data pada tanggal 19 Maret 2019, 13 Juli 2019, dan 9 September 2019, yang selanjutnya akan digunakan pada proses 3DCDP. Clutter map seluruh elevasi pada Radar Pontianak disajikan pada Gambar 3. Elevasi $0,49^\circ$ pada menunjukkan adanya gangguan pada radar berupa *ground clutter* dan interferensi.

Ground clutter berada pada arah utara dan di sekitar pusat radar, sedangkan interferensi terjadi di arah utara hingga timur laut, arah selatan, dan barat daya hingga barat laut. Interferensi yang terjadi berkisar antara 4 – 31 dBz. *Partial beam blockage* terjadi dari arah timur hingga barat pada elevasi $0,49^\circ$. Pada elevasi $1,46^\circ$ terlihat adanya interferensi di arah barat daya hingga timur laut dan *clutter* di sekitar pusat radar. Pola interferensi juga terjadi pada elevasi $2,40^\circ$ di arah utara, pada elevasi $3,35^\circ$ di arah barat laut dalam range 50 – 100 km, dan pada elevasi $4,29^\circ$ di arah barat barat daya dan barat laut. *Clutter map* pada elevasi $2,40^\circ$ hingga $14,60^\circ$ menunjukkan adanya *clutter* di sekitar pusat radar, sedangkan pada elevasi $19,50^\circ$ terdapat gangguan berupa pola melengkung dari arah barat daya hingga timur laut. Tidak ada pola interferensi yang terlihat pada elevasi $6,20^\circ$ hingga $19,50^\circ$.



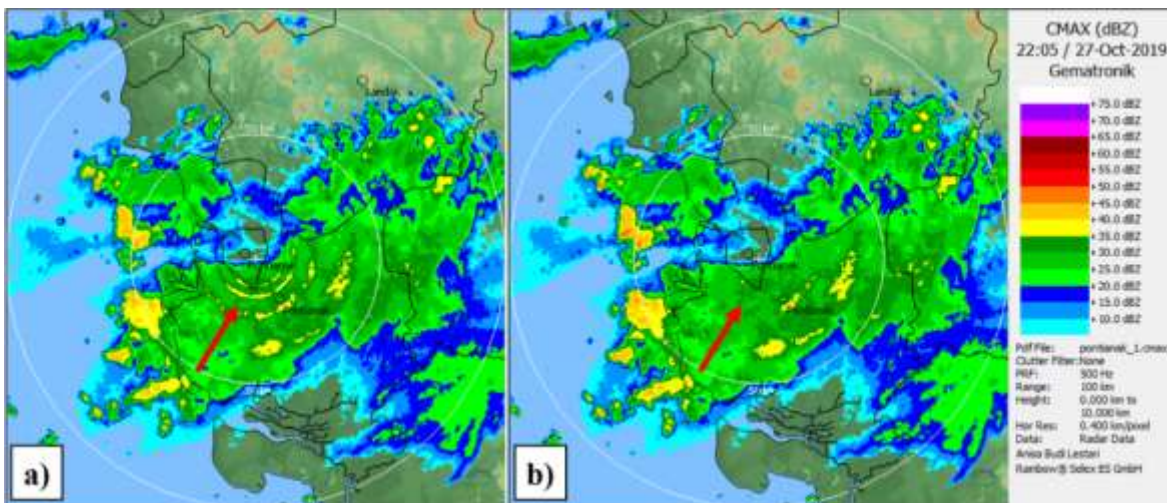
Gambar 3. *Clutter map* Radar Cuaca Pontianak.

Penerapan 3DCDP dilakukan menggunakan *clutter map* dari data 3 hari cerah pada seluruh kasus hujan lebat terpilih. Tujuan penerapan proses tersebut untuk menghilangkan *reflectivity* yang berasal dari objek non-meteorologi di sekitar radar. Gambar 4(a) menunjukkan citra PPI sebelum proses 3DCDP, terlihat pola interferensi pada arah timur laut yang ditunjukkan dengan anak panah merah dan *clutter* di sekitar pusat radar di dalam lingkaran merah. Gambar 4(b) menunjukkan bahwa pola interferensi yang ditunjukkan dengan anak panah merah dan *clutter* di dalam lingkaran merah menghilang setelah proses 3DCDP. Hal tersebut sesuai dengan penelitian Sahlaoui dan Mordane [9] menerapkan *clutter filtering* untuk menghilangkan interferensi WIFI dan *clutter*.



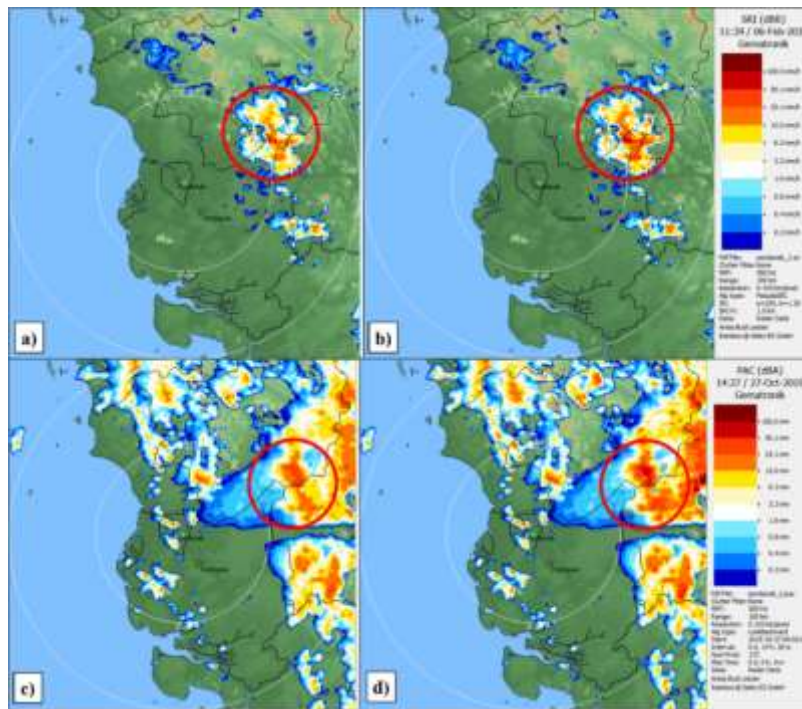
Gambar 4. Citra PPI 13 Juli 2019; (a) Sebelum penerapan 3DCDP, (b) Setelah penerapan 3DCDP.

Pola *Bright Band Echo* (BBE) pada kasus hujan lebat dianalisis menggunakan produk CMAX, kemudian dilakukan proses BBC. Proses BBC pada aplikasi RainDart memiliki algoritma yang sama dengan Smith [14], yaitu algoritma deteksi BBE dan verifikasi [15]. Berdasarkan 10 kasus terpilih, terdapat 5 kasus hujan yang terdapat pola BBE yaitu kasus tanggal 5 Januari 2019, 26 April 2019, 7 Juni 2019, 20 Juli 2019, dan 27 Oktober 2019. Contoh kasus BBE selanjutnya terjadi pada tanggal 27 Oktober 2019 pada jam 22.50 UTC disajikan pada Gambar 5. Pola BBE yang terlihat pada Gambar 5(a) ditunjukkan dengan anak panah merah berupa 4 pola lingkaran dengan *reflectivity* mencapai 30 – 40 dBz. Setelah implementasi BBC dilakukan, pada Gambar 5(b) terlihat seluruh pola BBE menghilang.



Gambar 5. Citra CMAX 27 Oktober 2019 (a) Sebelum penerapan BBC (b) Setelah penerapan BBC.

Proses ZATC pada Rainbow menggunakan algoritma yang mirip dengan algoritma yang digunakan oleh Hitschfeld dan Bordan [16] yang digunakan untuk mengatasi pelemahan sinyal radar [15]. Penerapan proses ZATC dilakukan pada seluruh kasus hujan lebat yang terpilih, kemudian ditampilkan pada 2 produk yaitu SRI dan PAC. SRI merupakan produk hidrologi yang menghasilkan intensitas hujan dengan menggunakan ketinggian permukaan konstan (*terrain layer*) dalam prosesnya. Setelah mendapat produk SRI, maka akan diturunkan menjadi produk PAC yang mengakumulasikan curah hujan dalam rentang waktu sesuai dengan pengaturan pengguna [15]. Pengaruh implementasi proses ZATC dapat diketahui dari ada tidaknya peningkatan curah hujan dari kedua produk tersebut. Contoh hasil penerapan proses ZATC disajikan pada Gambar 6. Gambar 6(a) merupakan citra SRI tanggal 06 Februari 2019 sebelum proses ZATC, kemudian pada Gambar 6(b) terlihat adanya peningkatan intensitas curah hujan dengan warna citra semakin merah pada daerah di dalam lingkaran merah. Hal serupa terjadi pada citra produk PAC tanggal 27 Oktober 2019, di mana Gambar 6(c) sebelum proses ZATC dan Gambar 6(d) menunjukkan peningkatan akumulasi curah hujan setelah proses ZATC. Peningkatan akumulasi curah hujan meningkat dari 12,6 mm – 50,1 mm menjadi 12,6 mm – 100,0 mm. Keefektifan proses ZATC dipengaruhi oleh kesesuaian relasi Z-R yang digunakan dengan karakteristik hujan pada wilayah tersebut [16].



Gambar 6. Citra SRI dan PAC, (a) SRI 06 Februari 2019 sebelum penerapan ZATC, (b) Setelah penerapan ZATC, (c) PAC 27 Oktober 2019 sebelum penerapan ZATC, (d) Setelah penerapan ZATC.

Produk *Point Total Rainfall* (PRT) digunakan untuk mengetahui curah hujan estimasi radar pada titik yang ditentukan. Pada penelitian ini titik PRT didasarkan pada titik AWS. Perbedaan nilai curah hujan hasil estimasi radar dan hasil pengukuran AWS/ARG dipengaruhi oleh perbedaan prinsip pengamatan nilai curah hujan. Alat penakar hujan seperti AWS/ARG mengukur curah hujan di permukaan bumi pada area seluas 200 cm^2 , sedangkan radar melakukan estimasi curah hujan pada lapisan atas atmosfer dengan luas $6,25 \text{ km}^2$ [9]. Nilai curah hujan estimasi diolah dan divalidasi pada tiap kasus hujan dan tiap titik AWS. Hasil validasi pada titik AWS/ARG/AAWS dan tiap kasus ditampilkan pada Tabel 1.

Berdasarkan hasil pengolahan curah hujan, diketahui bahwa dari 10 kasus hujan lebat dan 9 titik AWS/ARG/AAWS menunjukkan hasil yang beragam terhadap penerapan QC. Tabel hasil validasi menunjukkan bahwa nilai RMSE terendah pada estimasi radar sebelum QC sebesar 3,834 pada AAWS Landak tanggal 27 Oktober 2019. Adapun nilai RMSE terendah setelah dilakukan QC 4,073 pada AWS SMPK Anjungan tanggal 7 Juni 2019. Semakin kecil nilai RMSE menunjukkan bahwa hasil estimasi yang dilakukan semakin baik [11]. Nilai terendah ME sebelum dan sesudah QC yaitu -0,988 dan -0,708 pada AAWS Landak tanggal 27 Oktober 2019. Peningkatan nilai RMSE setelah dilakukan QC terjadi pada ARG Tayan Hilir tanggal 5 Januari 2019, AWS Maritim Pontianak tanggal 26 April 2019, ARG DinPer TPH KalBar tanggal 26 April 2019, AWS Digi Stamet Pontianak tanggal 26 April 2019, serta AAWS Landak tanggal 27 Oktober 2019.

Peningkatan nilai RMSE menunjukkan semakin besar penyimpangan antara nilai estimasi curah hujan setelah QC dengan nilai curah hujan dari AWS/ARG/AAWS. Terdapat 1 nilai ME dari 19 nilai validasi menunjukkan penurunan menjauhi nilai 0, yaitu pada AWS Digi Stamet Pontianak 26 April 2019 dari -1,789 menjadi -1,805. Kasus tanggal 26 April 2019 di AWS Digi Stamet Pontianak tersebut menunjukkan implementasi QC tidak berhasil, karena nilai RMSE dan nilai ME mengalami peningkatan. Peningkatan nilai RMSE dan ME dapat disebabkan karena dalam proses QC tidak menyesuaikan relasi Z-R yang cocok digunakan pada radar Pontianak. Penggunaan relasi Z-R yang tidak sesuai juga menyebabkan peningkatan estimasi hujan radar tidak signifikan. Hal tersebut kemungkinan dikarenakan ketidaksesuaian relasi Z-R, jarak penakar hujan dari pusat radar, dan kesenjangan resolusi temporal antara radar dan penakar hujan. Penerapan QC dianggap berhasil apabila nilai RMSE dan nilai ME menurun setelah dilakukan QC, dari 19 nilai validasi terdapat 18 nilai yang dianggap berhasil. Persentase keberhasilan penerapan QC pada penelitian ini sebesar 94,73% dihitung dengan rumus persentase sederhana dari hasil validasi yang dilakukan.

Tabel 1. Validasi estimasi curah hujan hasil PRT pada titik AWS/ARG.

No	Tanggal Kejadian	AWS /ARG / AAWS	RMSE NON	RMSE QC	ME NON	ME QC
1	05 Januari 2019	ARG Tayan Hilir	12,337	12,342	-4,390	-4,377
2	08 Januari 2019	ARG BPTP KalBar	8,077	7,292	-2,482	-2,046
3	08 Januari 2019	AWS Mempawah Hilir	11,966	10,909	-2,464	-2,156
4	06 Februari 2019	ARG Tayan Hilir	8,518	8,509	-2,005	-1,998
5	14 Februari 2019	AAWS Landak	11,582	11,267	-4,417	-4,256
6	26 April 2019	AWS Maritim Pontianak	4,814	5,007	-1,983	-1,878
7	26 April 2019	ARG BPTP KalBar	5,669	5,784	-2,087	-2,085
8	26 April 2019	AWS Digi Stamet Pontianak	5,176	5,181	-1,789	-1,805
9	07 Juni 2019	ARG BPTP KalBar	5,997	5,945	-3,166	-3,136
10	07 Juni 2019	ARG DinPer TPH KalBar	8,337	8,168	-4,135	-4,081
11	07 Juni 2019	AWS SMPK Anjungan	4,250	4,073	-2,159	-2,063
12	18 Juni 2019	ARG BPTP KalBar	17,173	16,950	-3,910	-3,817
13	18 Juni 2019	ARG DinPer TPH KalBar	9,108	8,904	-2,941	-2,889
14	18 Juni 2019	AWS Maritim Pontianak	16,093	13,526	-4,314	-3,488
15	20 Juli 2019	AWS Mempawah Hilir	7,605	7,102	-2,746	-2,442
16	20 Juli 2019	AAWS Landak	12,720	11,826	-3,602	-3,279
17	27 Oktober 2019	AAWS Landak	3,834	4,058	-0,988	-0,708
18	27 Oktober 2019	AWS Staklim Mempawah	7,563	7,108	-2,215	-2,097
19	17 Desember 2019	AWS SMPK Anjungan	4,542	4,239	-1,882	-1,756
: RMSE/ME meningkat						

4. SIMPULAN

Penerapan *quality control* yang dilakukan pada data Radar Pontianak berpengaruh terhadap peningkatan hasil estimasi curah hujan walaupun tidak signifikan. Dari segi kualitas, perbaikan hasil estimasi curah hujan radar dapat ditinjau dari keberhasilan proses menghilangkan *ground clutter* dan *bright band echo*, serta perbaikan intensitas curah hujan yang terlihat pada citra radar. Secara kuantitas, pengurangan nilai error menjadi indikasi perbaikan hasil estimasi curah hujan radar. Hasil validasi menunjukkan persentase keberhasilan penerapan *quality control* data radar sebesar 94,73%, meskipun hasil estimasi curah hujan radar tetap underestimate terhadap curah hujan hasil pengamatan AWS/ARG.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wirjohamidjojo, S., dan Swarinoto Y.S., (2013). Meteorologi Sinoptik, Jakarta. Puslitbang BMKG
- [2] Tjasyono, B.H.K., (2006). Karakteristik dan Sirkulasi Atmosfer. Jakarta BMKG

- [3] Gilbert, R.B., (2008). Our role as engineers in mitigating natural hazards. *GeoCongress 2008: Geosustainability and Geohazard Mitigation*. American Society of Civil Engineers. New Orleans. doi:10.1061/40971(310)1
- [4] Zakir, A., Sulisty W., dan Khotimah M. K., (2010). *Perspektif Operasional Cuaca Tropis*. Jakarta. BMKG
- [5] Brown, R.A., dan Wood., V.T., (2007). *A Guide for Interpreting Doppler Velocity Patterns : Northern Hemisphere Edition*. Oklahoma: NOAA/National Severe Storms Laboratory Norman
- [6] Berne, A., dan Krajewski, W.F., (2013), Radar for hydrology: unfulfilled promise or unrecognized potential?. *Advances in Water Resources*. Volume 51, January 2013, Pages 357-366. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2012.05.005>
- [7] Einfalt, T., dan Michaelides, S., (2008). *Precipitation: Advance in Measurement, Estimation, and Prediction*. Berlin: Springer
- [8] Villarini, G., dan Krajewski, W.F., (2010). Review of the Different Sources of Uncertainty in Single Polarization Radar-Based Estimates of Rainfall. *Survey in Geophysics*, Vol. 31 pp 107–129, Springer
- [9] Sahlaoui, Z. dan Mordane, Z., (2019). Radar Rainfall Estimation in Morocco: Quality Control and Gauge Adjustment. *Hydrology* 2019. 6(2), 41. <https://doi.org/10.3390/hydrology6020041>
- [10] Firdaus, T., Suryadi, D., Pontia, F.T.W., dan Imansyah, F., (2019). Analisis interferensi frekuensi radio radar cuaca Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika (BMKG) di Kalimantan Barat. *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*. Vol 2, No 1 (2019). <https://jurnal.untan.ac.id/index.php/jteuntan/article/view/36426>
- [11] Wilks, D.S., (2011). *Statistical Methods in The Atmospheric Science Third Edition*. New York. Academic Press
- [12] WMO, 2017, *Forecast International Verification Methods Workshop* [online], https://www.cawcr.gov.au/projects/verification/#Methods_for_forecasts_of_continuous_variables diakses pada 10 Januari 2022
- [13] Maruri, M., Romo, J.A., Abad, V., Velasco, J., dan Alvarez, J., (2010). Design an operational clutter map for Kapildui,s radar. *The Sixth European Conference on Radar in Meteorology and Hydrology, ERAD*
- [14] Smith, C. J., (1986). The reduction of errors caused by bright bands in quantitative rainfall measurements made using radar. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*. Vol. 3 pp 129-141, American Meteorology Society. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(1986\)003<0129:TROECB>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0426(1986)003<0129:TROECB>2.0.CO;2)
- [15] Leonardo, (2018). *Software Manual Rainbow 5 Product & Algorithms*, Leonardo GmbH, Jerman
- [16] Hitschfeld, W., dan Bordan, J., (1954). Errors Inherent In The Radar Measurement Of Rainfall At Attenuating Wavelengths. *Journal of Meteorology*, Vol. 11. pp 58-67, American Meteorology Society. [https://doi.org/10.1175/1520-0469\(1954\)011<0058:EIITRM>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0469(1954)011<0058:EIITRM>2.0.CO;2)