

Pengaruh Teknik Asimilasi Penakar Hujan *Brandes Spatial Adjustment* terhadap *Quantitative Precipitation Estimation (QPE)* Radar BMKG Padang

Agung Hari Saputra^{1*}, Nur Riska Lukita², Sirly Oktarina³

¹Program Studi Meteorologi, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl Perhubungan I No. 5 Komplek Meteo, Pondok Betung, Pondok Aren, Kota Tangerang Selatan, Banten, 15421, Indonesia

²Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Meteorologi Kelas I Sultan Hasanudin, Makassar

³Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Stasiun Meteorologi Kelas II Tangerang Selatan, Banten

Info Artikel

Histori Artikel:

Diajukan: 14 Maret 2022
Direvisi: 4 Juli 2022
Diterima: 5 Juli 2022

Kata kunci:

asimilasi
BRA
curah hujan
QPE
radar

Keywords:

assimilation
BRA
rainfall
QPE
radar

Penulis Korespondensi:

Agung Hari Saputra
Email: agung.hs@stmkg.ac.id

ABSTRAK

Estimasi curah hujan kuantitatif (*QPE*) dengan tingkat akurasi spasial yang baik dan temporal yang tinggi dapat diperoleh dari instrumen radar cuaca. Namun, terdapat limitasi dalam pengamatan radar cuaca karena efek *blocking* dan adanya *ground clutter*. Sehingga pada penelitian ini akan dilakukan perbaikan kualitas data radar dengan mereduksi *ground clutter* menggunakan *clutter map*. Setelah perbaikan kualitas data radar akan dilakukan asimilasi data radar dengan data penakar hujan guna mengurangi kesalahan dan meningkatkan akurasi estimasi curah hujan. Data penakar hujan memiliki akurasi yang tinggi namun, informasi yang dikumpulkan masih berupa titik yang tidak terdistribusi secara merata sehingga tingkat keterwakilan spasialnya masih terbatas. Asimilasi curah hujan dengan data penakar hujan dapat dilakukan dengan metode *Brandes Spatial Adjustment (BRA)*. Metode *BRA* memerhatikan jarak antara *grid point* dengan penakar hujan, hal ini memungkinkan distribusi spasial data hujan menjadi terintegrasi dengan memperhitungkan bobot jarak setiap titik penakar hujan dan akhirnya dapat meningkatkan dan memperbaiki data kualitas curah hujan. Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa metode tersebut dapat meningkatkan kualitas data dengan nilai korelasi ada masing-masing kasus yaitu pada tanggal 10 Maret dari 0.89 menjadi 1, tanggal 21 Maret dari 0.79 menjadi 0.96 dan 10 April dari 0.04 menjadi 0.27 serta mengurangi kesalahan estimasi berkisar *RMSE* 0.07-0.08 dan *ME* 0.01-0.02, hal ini menggambarkan pengurangan kesalahan estimasi curah hujan belum signifikan.

Quantitative precipitation estimation (QPE) with good levels of spatial accuracy and high temporality can be obtained from weather radar instruments. However, there are limitations in observing weather radar due to blocking effects and presence of ground clutter. The objective aim of this paper is to improve the quality of radar data by reducing ground clutter using clutter maps and merging data radar data with rain gauge data to reduce errors and improve accuracy in estimating rainfall. Rain gauge data has high accuracy but the spatial representatively is limited. Assimilation of radar data with rain gauge data can be done using Spatial Adjustment (BRA) methods. Based on the results of the study, it was found that this method could improve the quality of the data with the correlation value in each case, namely on March 10 from 0.89 to 1, March 21 from 0.79 to 0.96 and April 10 from 0.04 to 0.27 and reducing estimation errors ranging from RMSE 0.07. -0.08 and ME 0.01-0.02, this illustrates the reduction in rainfall estimation error is not significant.

Copyright © 2022 Author(s). All rights reserved

I. PENDAHULUAN

Curah hujan menjadi salah satu parameter cuaca yang diperhatikan karena dapat berdampak secara langsung dalam berbagai aspek kehidupan seperti di bidang pertanian, pariwisata, kesehatan, transportasi, dan aspek lainnya. Informasi curah hujan dimanfaatkan untuk mendeteksi potensi bencana alam seperti banjir dan tanah longsor. Selain itu, informasi curah hujan diperlukan untuk penanggulangan bencana dan peringatan dini cuaca ekstrim (Tjasyono, 2007). Estimasi curah hujan sulit dilakukan jika hanya mengandalkan satu instrumen. Penakar hujan konvensional memiliki akurasi yang tinggi namun, informasi yang dikumpulkan masih berupa titik yang tidak terdistribusi secara merata sehingga tingkat keterwakilan spasialnya masih terbatas (Zhang, Xuesong., 2010). Salah satu instrumen yang dapat digunakan untuk mengestimasi distribusi spasial curah hujan yang akurat di antaranya melalui pemanfaatan radar cuaca (Wardhana, Ali., H Pawitan., 2017)

Radar cuaca dapat memberikan estimasi curah hujan pada resolusi spasial dan temporal yang tinggi di wilayah yang luas (Goudenhoofdt and Delobbe, 2009). Di samping kelebihan tersebut terdapat pula beberapa kelemahan dari radar cuaca yakni gelombang elektromagnetik yang dipancarkannya terpancar di dalam gelombang yang tidak terputus-putus sehingga hal ini menyebabkan radar mampu mendeteksi kehadiran suatu benda, namun tidak pada lokasi yang tepat (Wardoyo, 2017). Selain itu adalah adanya blocking yang dapat memengaruhi efektivitas pengamatan radar dan kualitas data radar (Holleman, 2006). Konsep dasar radar cuaca untuk estimasi intensitas curah hujan yaitu melalui persamaan reflectivity-rain rate (persamaan $Z-R$). Radar cuaca tidak mengukur curah hujan secara langsung melainkan mengkonversi dari nilai reflectivity menjadi nilai rain rate (Wardhana, Ali., H Pawitan., 2017). Persamaan $Z-R$ pada radar cuaca merupakan hal dasar untuk menghasilkan nilai estimasi curah hujan kuantitatif (QPE). Estimasi curah hujan kuantitatif (QPE) menggunakan radar tergantung pada beberapa faktor seperti: (1) variabilitas curah hujan pada berbagai skala; (2) area terdeteksi radar yang dibatasi oleh topografi di sekitarnya maupun struktur vertikal curah hujan; dan (3) parameter dan protokol operasi sistem radar yang digunakan. Khusus untuk faktor topografi menyebabkan kompleksitas dalam menentukan QPE karena mengurangi visibilitas radar dan meningkatkan sumber galat (Delrieu *et al.*, 2009).

Terdapat beberapa metode untuk memperbaiki kesalahan dalam estimasi curah hujan kuantitatif (QPE) berbasis radar. Salah satu metodenya yaitu dengan mengasimilasikan data penakar hujan (Hitschfeld, W., & Bordan, 1954). Menggabungkan pengamatan radar dan penakar hujan telah menjadi topik penelitian yang intens sejak awal penggunaan operasional radar cuaca di tahun 70-an (Gjertsen *et al.*, 2004). Menggunakan pengamatan pengukur hujan untuk menyesuaikan pengukuran radar telah terbukti secara substansial mengurangi kesalahan perkiraan curah hujan (Goudenhoofdt and Delobbe, 2009, 2013). Metode untuk menggabungkan data radar dan data penakar hujan telah diusulkan seperti *brandes spatial adjustment (BRA)* (Goudenhoofdt and Delobbe, 2009). Penelitian yang dilakukan oleh (Goudenhoofdt and Delobbe, 2009) melakukan evaluasi terhadap metode asimilasi data penakar hujan dengan data radar cuaca menggunakan 7 metode salah satunya *BRA*. Pada penelitian tersebut menggunakan 74 penakar hujan sebagai data asimilasi dan menggunakan 110 penakar hujan sebagai titik verifikasi, dan diperoleh bahwa berdasarkan uji statistik *MAE* metode *BRA* memiliki performa sedikit lebih baik dibandingkan dengan metode lainnya.

Berdasarkan pendahuluan diatas penelitian ini akan mengkaji penggunaan metode *BRA* pada asimilasi penakar hujan pada radar cuaca di Padang untuk membandingkan estimasi curah hujan kuantitatif (QPE) yang belum diasimilasikan dengan metode ini dan yang telah diasimilasikan untuk menghasilkan nilai estimasi curah hujan kuantitatif (QPE) yang lebih baik.

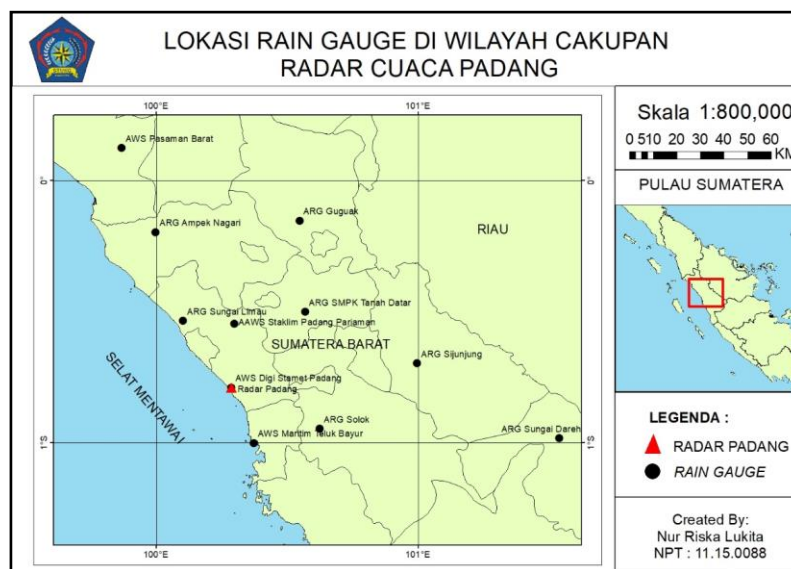
II. METODE

Penelitian dilakukan di wilayah Sumatera barat dengan kejadian hujan lebat yang lebat terpilih yaitu pada tanggal 10 Maret 2019, 21 Maret 2019 dan 10 April 2019. Lokasi radar cuaca Padang berada di koordinat 100.3051°BT dan -0.7862° LS. Data yang digunakan yaitu data radar, *Automatic Weather Station (AWS)* dan *Automatic Rain Gauge (ARG)* pada tanggal kejadian hujan lebat terpilih yang tersebar pada Gambar 1. Adapun nama dan posisi penakar hujan otomatis tertera pada Tabel 1. Tahap pengolahan data dimulai dari raw data radar cuaca Padang pada kejadian hujan terpilih diolah menggunakan aplikasi

python versi 2.7.12. Raw data radar tersebut terlebih dahulu dilakukan quality control dengan metode *filtering clutter odyssey* yang dilakukan oleh (Scovell *et al.*, 2013) untuk menghilangkan *ground clutter*. Selanjutnya data radar yang telah difilter dan dikonversi dari nilai *reflectivity (dBZ)* menjadi nilai *rain rate (mm/h)* dengan menggunakan hubungan *Z-R Marshall-Palmer* dengan nilai $a = 200$ dan $b = 1,6$ dan kemudian dilakukan asimilasi dengan data observasi penakar hujan menggunakan metode *BRA*.

Tabel 1 Lokasi Penakar hujan

No.	Nama Panakar Hujan	Lintang	Bujur	Jarak dari Pusat Radar
1	AWS Maritim Teluk Bayur	1.001 LS	100.372 BT	25 KM
2	ARG Ampek Nagari	0.197 LS	99.997 BT	74 KM
3	ARG Sungai Dareh	0.983 LS	101.538 BT	141 KM
4	ARG Guguak	0.153 LS	100.545 BT	75 KM
6	ARG Sungai Limau	0.535 LS	100.103 BT	38 KM
7	AAWS Staklim Padang Pariaman	0.546 LS	100.299 BT	26 KM
8	AWS Digi Stamet Padang	0.789 LS	100.288 BT	1 KM
9	ARG Rao Pasaman	0.561 LU	100.019 BT	154 KM
10	AWS Pasaman Barat	0.124 LU	99.869 BT	111 KM
12	ARG Sijunjung	0.697 LS	100.994 BT	77 KM
13	ARG Solok	0.947 LS	100.624 BT	40 KM
14	ARG SMPK Tanah Datar	0.501 LS	100.568 BT	44 KM

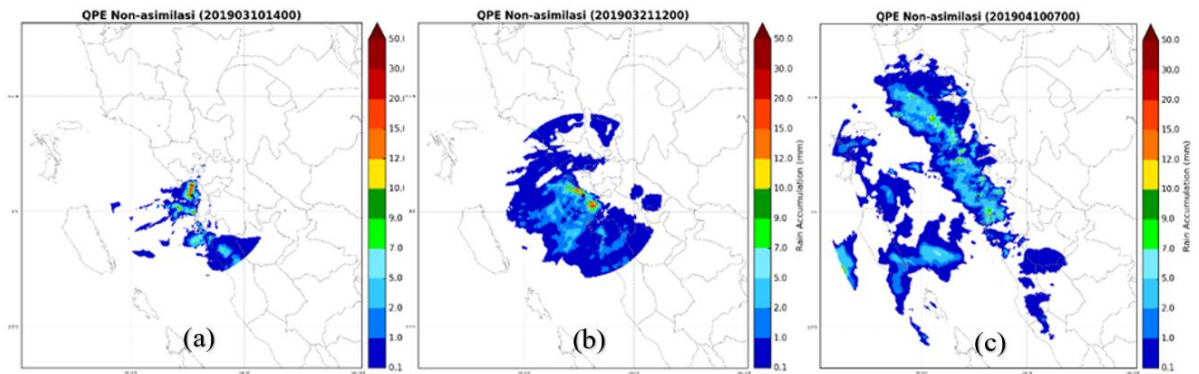


Gambar 1 Lokasi radar dan penakar hujan yang digunakan

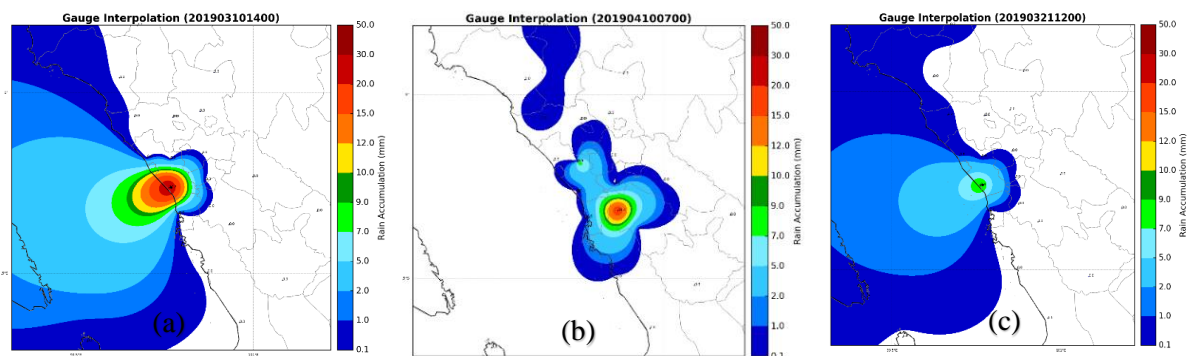
III. HASIL DAN DISKUSI

Estimasi curah hujan kuantitatif (*QPE*) berbasis data radar non asimilasi diilustrasikan pada Gambar 2 sedangkan sebaran data curah hujan dari hasil observasi penakar hujan diilustrasikan pada Gambar 3. Pada Gambar 5 diasumsikan sebagai data aktual curah hujan yang akan dijadikan sebagai data verifikator. Estimasi curah hujan kuantitatif (*QPE*) non asimilasi yang digambarkan pada Gambar 2 yang menunjukkan kejadian hujan pada saat intensitas hujan maksimum pada saat kejadian hujan. Kejadian hujan tanggal 10 Maret 2109 pukul 14.00 UTC, estimasi curah hujan dari radar menunjukkan nilai 5 – 15 mm. Namun, pada penakar menunjukkan nilai 20 – 30 mm. Kejadian hujan tanggal 21 Maret 2019 pukul 13.00 UTC, estimasi curah hujan dari radar menunjukkan nilai 0 – 7 mm. Namun, pada penakar menunjukkan nilai 10 – 15 mm. Kejadian hujan tanggal tanggal 29 Maret 2019 pukul 17.00 UTC estimasi curah hujan dari radar menunjukkan nilai 0 – 7 mm. Namun, pada penakar menunjukkan

nilai 20 – 30 mm. Kejadian hujan tanggal tanggal 10 April 2019 pukul 05.00 UTC estimasi curah hujan dari radar menunjukkan nilai 0 – 7 mm. Namun, pada penakar menunjukkan nilai 2 – 7 mm berdasarkan Gambar 3.



Gambar 2 QPE non asimilasi (a) Hujan Tanggal 10 Maret 2019 (b) Hujan Tanggal 21 Maret 2019 (c) Hujan Tanggal 1 April 2019

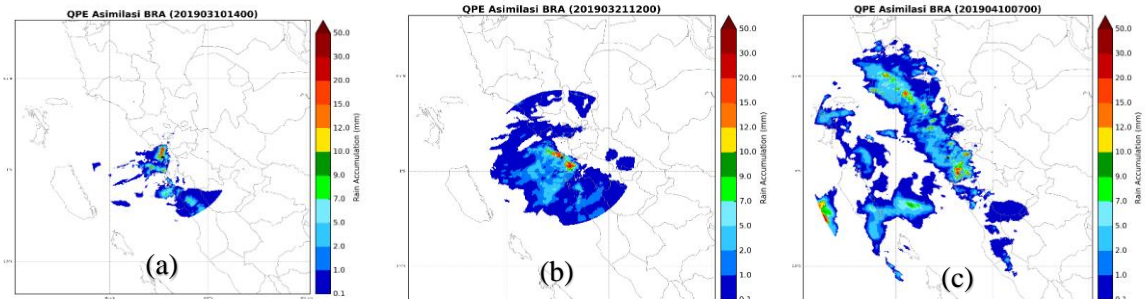


Gambar 3 Interpolasi data penakar hujan (a) Hujan Tanggal 10 Maret 2019 (b) Hujan Tanggal 21 Maret 2019 (c) Hujan Tanggal 1 April 2019

Setelah dilakukan asimilasi dengan metode *BRA* yang diilustrasikan pada Gambar 6 dimana menunjukkan kejadian hujan tanggal 10 Maret 2019 pada jam 14.00 UTC estimasi curah hujan dengan asimilasi metode *BRA* menunjukkan nilai 7 – 15 mm dengan faktor koreksi *BRA* (C_{BRA}) 1.0 – 1.2 yang ditunjukkan oleh Gambar 7. Kejadian hujan tanggal tanggal 21 Maret 2019 pukul 13.00 UTC estimasi curah hujan dengan asimilasi metode *BRA* menunjukkan nilai 0 – 7 mm dengan faktor koreksi 1.4 - 1.6. Kejadian hujan tanggal tanggal 10 April 2019 pada jam 05.00 UTC estimasi curah hujan dengan asimilasi metode *BRA* menunjukkan nilai 15 – 20 mm dengan faktor koreksi 2.4- 2.8 berdasarkan Gambar 7. Perbedaan antara curah hujan estimasi radar dengan curah hujan observasi penakar hujan didefinisikan sebagai bias. Estimasi curah hujan yang akurat ditunjukkan oleh bias yang mendekati 0 yaitu jika selisih antara nilai intensitas curah hujan radar dengan nilai intensitas curah hujan penakar hujan mendekati nol. Untuk mengoreksi bias akumulasi data radar maka dibutuhkan faktor koreksi *BRA* (C_{BRA}) yang dikalikan dengan nilai akumulasi estimasi curah hujan radar.

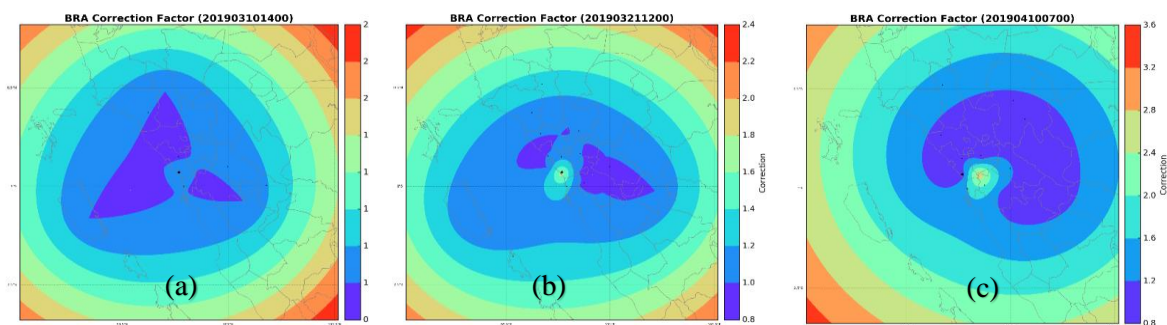
Faktor koreksi *BRA* (C_{BRA}) yang diilustrasikan oleh Gambar 7 didefinisikan sebagai rata-rata rasio antara curah hujan kumulatif estimasi radar dengan curah hujan kumulatif pengamatan penakar hujan. Faktor koreksi *BRA* (C_{BRA}) juga memperhitungkan bobot antara jarak penakar hujan dengan *grid point*. Dengan menggunakan data pengukuran in-situ penakar hujan dan estimasi berbasis radar

didapatkan faktor koreksi BRA (C_{BRA}). Faktor koreksi BRA (C_{BRA}) akan mengoreksi nilai curah hujan berdasarkan nilai intensitas rata-rata curah hujan dan jarak antara grid point dengan penakar hujan. Sehingga di titik yang dekat dengan penakar hujan akan mendapat nilai koreksi yang kecil, dan titik yang berada jauh dengan penakar hujan akan mendapat nilai koreksi yang besar (Wang *et al.*, 2020).



Gambar 4 QPE asimilasi BRA (a) Hujan Tanggal 10 Maret 2019 (b) Hujan Tanggal 21 Maret 2019 (c) Hujan Tanggal 1 April 2019

Faktor koreksi BRA (C_{BRA}) akan mengoreksi nilai pada estimasi curah hujan dari radar. Nilai faktor koreksi BRA (C_{BRA}) akan menyesuaikan terhadap nilai intensitas curah hujan pada radar dan penakar hujan. Jika nilai curah hujan yang tercatat pada penakar hujan tinggi, sedangkan yang terbaca oleh radar menunjukkan nilai yang rendah, maka nilai faktor koreksi BRA (C_{BRA}) akan besar. Sebaliknya, jika nilai curah hujan yang tercatat pada penakar hujan rendah, sedangkan yang terbaca oleh radar menunjukkan nilai yang tinggi, maka nilai faktor koreksi BRA (C_{BRA}) akan rendah (Kurniawan *et al.*, 2020; Wang *et al.*, 2020). Perbedaan sebaran faktor koreksi BRA (C_{BRA}) bergantung pada nilai intensitas curah hujan pada saat kejadian hujan tersebut sehingga faktor koreksi BRA (C_{BRA}) yang digunakan akan berbeda di setiap kejadian hujan seperti yang diilustrasikan pada Gambar 5.



Gambar 5 Faktor koreksi BRA (C_{BRA}) (a) Hujan Tanggal 10 Maret 2019 (b) Hujan Tanggal 21 Maret 2019 (c) Hujan Tanggal 1 April 2019

3.1 Verifikasi

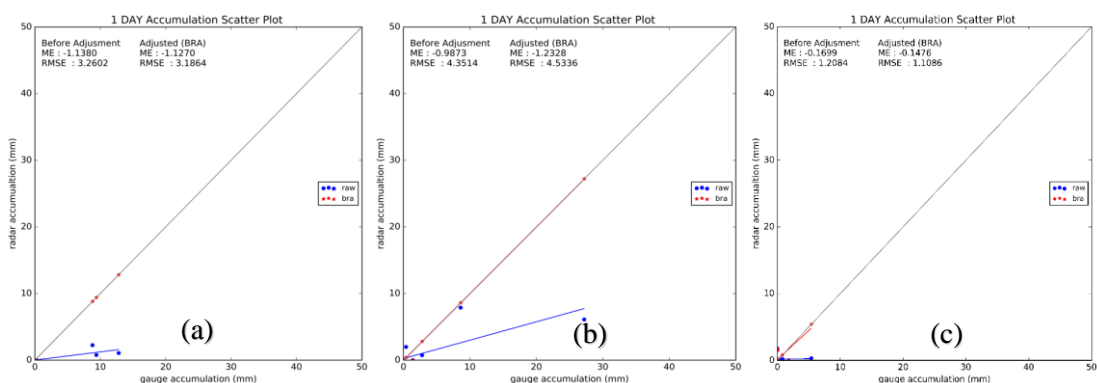
Verifikasi hasil estimasi curah hujan dari radar dilakukan dengan menggunakan nilai korelasi, $RMSE$ dan ME . Verifikasi ini digunakan untuk melihat keakuratan dari metode asimilasi BRA yang dibandingkan dengan QPE non-asimilasi. Tabel 2 menunjukkan besaran nilai korelasi QPE non-asimilasi dan QPE asimilasi BRA dengan data penakar hujan di titik AWS Digi Stamet Padang. Korelasi menunjukkan keeratan hubungan linier antara curah hujan hasil observasi dan estimasi. Berdasarkan tabel 2 dapat dijabarkan bahwa nilai korelasi positif yang paling besar terjadi pada kejadian hujan tanggal 21 Maret 2019 dan 10 Maret 2019, nilai korelasi tersebut menunjukkan hubungan korelasi yang sempurna. Kejadian hujan 10 April menunjukkan nilai korelasi positif yang rendah antara QPE non-asimilasi dengan data penakar hujan. Hal ini mengindikasikan bahwa kecenderungan/trend data antara QPE non-asimilasi dengan penakar hujan memiliki korelasi yang lemah.

RMSE digunakan untuk mengetahui besarnya galat yang terjadi antara nilai estimasi curah hujan radar dibandingkan dengan nilai aktual intensitas curah hujan dari penakar hujan. Sedangkan nilai *ME* hanya menunjukkan kecenderungan *underestimate* dan *overestimate*, sehingga rata-rata galat dari nilai *ME* tidak dapat menunjukkan galat sebenarnya (Kusuma and Goyal, 2006). Analisis *RMSE* dan *ME* mengacu gambar 4.8 yang menunjukkan grafik *scatter plot* antara hasil estimasi curah hujan berbasis radar cuaca dengan hasil observasi nilai intensitas curah hujan dititik AWS Digi Stamet Padang. Berdasarkan grafik *scatter plot* pada kejadian hujan tanggal 21 Maret 2019, 10 April 2019 dan 19 April 2019 menunjukkan adanya penurunan galat *QPE* non-asimilasi setelah diasimilasi dengan metode *BRA*. Pada kejadian hujan tanggal 10 Maret 2019, menunjukkan adanya penurunan galat *QPE* non-asimilasi setelah diasimilasi dengan metode *BRA*. Kejadian hujan tanggal 10 Maret 2019 asimilasi metode *BRA* nilai *RMSE* dari 4.3 menjadi 4.5.

Pada kejadian hujan tanggal 21 Maret 2019 metode asimilasi metode *BRA* nilai *RMSE* menurun dari 3.3 menjadi 3.2. Kejadian hujan lebat pada tanggal 10 April 2019 dengan asimilasi *BRA* dapat menurunkan galat nilai *RMSE* dari *QPE* non-asimilasi 1.2 menjadi 1.1. Pada 3 kejadian hujan tersebut *QPE* non-asimilasi dan *QPE* asimilasi *BRA* menunjukkan nilai *ME* yang bertanda negatif. Umumnya nilai *ME* menunjukkan bahwa estimasi nilai curah hujan dengan asimilasi metode *BRA* mendekati nilai curah hujan AWS Digi Stamet Padang meskipun cenderung *underestimate*. Menurut (Zawadzki. I. I, 1975), hasil yang cenderung *underestimate* dapat disebabkan oleh adanya kesenjangan resolusi temporal atau *time delay* antara pengukuran radar cuaca dan penakar hujan.

Tabel 2 Hasil Verifikasi

Tanggal Kejadian	QPE non-asimilasi			QPE Asimilasi BRA		
	Korelasi	RMSE	ME	Korelasi	RMSE	ME
10 Maret 2019	0.84	4.35	-0.98	1.00	4.53	-1.23
21 Maret 2019	0.79	3.26	-1.14	0.96	3.19	-1.13
10 April 2019	0.04	1.21	-0.17	0.27	1.11	-0.15



Gambar 8 Scatter plot tanggal 10 Maret 2019 (a) dan 21 Maret 2019 (b), 10 April 2019 (c)

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan pembahasan diatas dapat ditarik kesimpulan perbaikan kualitas data radar dengan implementasi dan dilakukannya asimilasi data penakar hujan dengan data radar menggunakan metode *BRA* dimana hasil penelitian menunjukkan perbaikan nilai estimasi curah hujan kuantitatif (*QPE*) sebelum diasimilasikan penakar hujan dan setelah diasimilasikan dimana nilai korelasi meningkat sekitar 0.16 – 0.23. Korelasi nilai estimasi curah hujan kuantitatif (*QPE*) pada masing-masing kejadian mulai dari tanggal 10 Maret 2019 dari 0.89 menjadi 1.00, kejadian tanggal 21 Maret 2019 dari 0.79 menjadi 0.96 dan kejadian 10 April 2019 dari 0.04 menjadi 0.27. Sedangkan *RMSE* pada 2 kejadian mulai kejadian tanggal 21 Maret 2019 dan 10 April 2019 dari 3.26 menjadi 3.19 dan 1.21 menjadi 1.11 dan *ME* pada 2 kejadian tersebut juga mengalami penurunan dari -1.14 menjadi -1.13 dan -0.17 menjadi -0.15, Namun pada kejadian 10 Maret 2019 nilai *RMSE* dan *ME* mengalami peningkatan. Dan secara

uum asimilasi data penakar hujan dengan data radar menggunakan metode BRA menunjukkan bahwa metode BRA dapat mengurangi galat estimasi radar dan meningkatkan akurasi estimasi namun masih belum signifikan. Kesimpulan menyatakan hasil akhir penelitian. Kesimpulan ditulis dalam paragraf, bukan dalam urutan nomor.

DAFTAR PUSTAKA

- Delrieu, G., Boudevillain, B., Nicol, J., Chapon, B., Kirstetter, P.E., Andrieu, H. and Faure, D. (2009), “Bollène-2002 experiment: Radar quantitative precipitation estimation in the Cévennes-Vivarais Region, France”, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 48 No. 7, pp. 1422–1447.
- Gjertsen, U., Sálek, M. and Michelson, D.B. (2004), “Gauge adjustment of radar-based precipitation estimates in Europe”, *Proceedings of the ERAD (2004)*, pp. 7–11.
- Goudenhoofd, E. and Delobbe, L. (2009), “Evaluation of radar-gauge merging methods for quantitative precipitation estimates”, *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 13 No. 2, pp. 195–203.
- Goudenhoofd, E. and Delobbe, L. (2013), “Statistical characteristics of convective storms in Belgium derived from volumetric weather radar observations”, *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, Vol. 52 No. 4, pp. 918–934.
- Hitschfeld, W., & Bordan, J. (1954), “Errors inherent in the radar measurement of rainfall at attenuating wavelengths”, *Journal of the Atmospheric Sciences*, Vol. 11 No. 1, pp. 58–97.
- Holleman, I. (2006), “Bias adjustment of radar-based 3-hour precipitation accumulations”, *Technical Report / Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut (TR-290)*, pp. 1–56.
- Kurniawan, A., Mulia, I., Adelia Rifai, S.N. and Purwandika, S. (2020), “Pembuatan Penakar Hujan Berbiaya Rendah Menggunakan Sensor Beban Berbasis Arduino Uno”, *Techné : Jurnal Ilmiah Elektroteknika*, Vol. 19 No. 02, pp. 83–100.
- Tjasyono, B. (2007), “Mikrofisika Awan dan Hujan, Badan Meteorologi dan Geofisika”, *BMKG*.
- Wang, K.H., Chu, T., Yang, M. Der and Chen, M.C. (2020), “Geostatistical based models for the spatial adjustment of radar rainfall data in Typhoon events at a high-elevation river watershed”, *Remote Sensing*, Vol. 12 No. 9, available at: <https://doi.org/10.3390/RS12091427>.
- Wardhana, Ali., H Pawitan., dan B.D.D. (2017), “Application of hourly radar-gauge merging method for quantitative precipitation estimates”, *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 58.
- Wardoyo, E. (2017), “Analisis Interferensi Frekuensi Radar Cuaca C-Band di Indonesia”, *Jurnal Telekomunikasi Dan Komputer*, Vol. 5 No. 2, p. 163.
- Zawadzki, I. I. (1975), “On Radar-Raingage Comparison”, *Journal of Applied Meteorology*, Vol. 14, pp. 1430–1436.
- Zhang, Xuesong., R.S. (2010), “GIS-Based Spatial Precipitation Estimation Using Next Generation Radar and Ground clutter Data”, *Journal Enviromental Modelling and Software*, pp. 1–8.