

Uji Keakurasian Estimasi Hujan Menggunakan Hubungan Z-R (Reflektivitas – *Rain Rate*) Untuk Tipe Awan Hujan Konvektif dan *Stratiform* di Jakarta

I Kadek Nova Arta Kusuma¹, Eko Wardoyo²

¹Pusat Meteorologi Penerbangan BMKG, Jakarta

²Stasiun Meteorologi Klas 1 BMKG Serang, Banten

Abstrak. Tipe awan hujan menjadi salah satu hal yang secara signifikan mempengaruhi hubungan reflektivitas - *rain rate* (Z-R) untuk mencapai keakurasian yang lebih baik. Sementara ini untuk wilayah Indonesia termasuk Jakarta masih menggunakan hubungan Marshall-Palmer pada operasional radarnya tanpa memperhatikan klasifikasi tipe awan hujan. Oleh karena itu penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pengklasifikasian tipe awan hujan dalam menentukan keakurasian estimasi curah hujan dari hubungan Z-R yang digunakan. Penelitian ini diawali dengan mengklasifikasikan tipe awan hujan menjadi hujan dari awan konvektif dan hujan dari awan *stratiform* berdasarkan fluktuasi dan batasan *rain rate* 10 mm/jam. Kemudian tahap selanjutnya yaitu membandingkan kasus hujan dari awan konvektif dan dari awan *stratiform* terhadap hasil estimasi hujan menggunakan hubungan Marshall-Palmer, WSR-88D *Convective* dan Rosenfeld *Tropical*. Hasil penelitian menunjukkan terdapat perbedaan kondisi hujan dari awan konvektif dan *stratiform* yang sangat mempengaruhi hasil estimasi hujan melalui hubungan Z-R. Penggunaan hubungan Z-R yang berbeda untuk tipe awan hujan yang berbeda sangat diperlukan untuk mencapai keakurasian estimasi yang lebih baik. Kemudian penentuan hubungan Z-R tersendiri di wilayah Jakarta sangat diperlukan untuk keakurasian estimasi yang lebih baik dengan memperhitungkan distribusi ukuran tetes hujannya.

Kata Kunci: konvektif, *stratiform*, Marshall-Palmer, WSR-88D *Convective*, Rosenfeld *Tropical*.

Abstract. *Rain cloud types become one of the things that significantly affect the relationship Z-R (Reflectivity-Rain rate) to achieve better accuracy.*

While this for the territories of Indonesia, including Jakarta, still using Marshall-Palmer relationship on its operational radar regardless of the classification of the type of rain clouds. Therefore, this study aimed to determine the effect of classifying the type of rain clouds in determining the accuracy of rainfall estimation of the relationship Z-R is used. This study begins by classifying rain from Convective clouds and stratiform clouds. The next stage is to compare the case of Convective clouds and from stratiform clouds against rain estimation results using the relationship of Marshall-Palmer, WSR-88D Convective and Rosenfeld Tropical. The results showed there were differences in the rain conditions of convective and stratiform clouds that greatly affect the estimation of rain through Z-R relationship. The use of Z-R relationships is different for different types of rain clouds which are necessary to achieve a better estimation accuracy. Then the determination of Z-R relationship for Jakarta area is needed to better estimate accuracy by considering the size distribution of the rain drops.

Keywords: *Convective, stratiform, Marshall-Palmer, WSR-88D Convective, Rosenfeld Tropical.*

Pendahuluan

Hubungan antara reflektivitas radar dan *rain rate* (Z-R relationship) tidak sama di setiap tempat dan setiap waktu sehingga memiliki variabilitas yang sangat tinggi Alfieri *et al.* (2010). Hal ini juga berbeda untuk tiap tipe awan hujan (konvektif atau *stratiform*) dan tiap kondisi klimatologis, tetapi secara operasional yang digunakan adalah hubungan rata-ratanya. Terdapat banyak kemungkinan hubungan Z-R, tetapi masing-

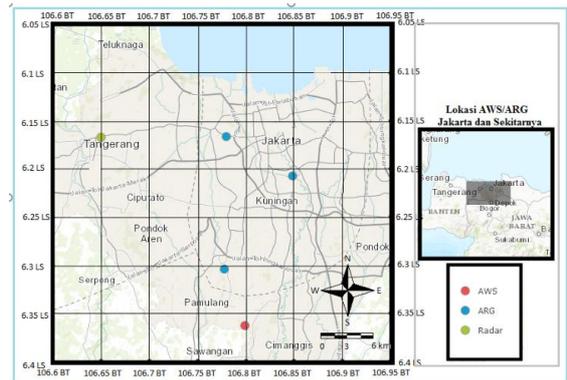
masing tempat punya nilai tersendiri karena kondisi klimatologis dan tipe curah hujan yang sering terjadi di area tersebut. Ini telah ditunjukkan oleh Battan yang menampilkan 69 jenis hubungan Z-R dari berbagai kondisi iklim dan daerah yang berbeda-beda (Doviak dan Zrníc, 2006). Tipe awan hujan juga merupakan salah satu hal yang secara signifikan mempengaruhi hubungan Z-R dan oleh karena itu perlu diadakan penelitian lebih lanjut (Suzana dan Wardah, 2011). 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 dan Sauvageot, 2004), (Kumar *et al.*, 2011).

Houze (2014) menyatakan proses pembentukan tetes hujan pada awan konvektif dan stratiform yang tebal memang terdapat perbedaan. Kemudian Tokay dan Short (1996) yang meneliti tentang distribusi tetes hujan di wilayah tropis, menyatakan bahwa untuk awan stratiform akan menghasilkan lebih banyak tetes hujan besar dan lebih sedikit tetes hujan kecil dan sedang daripada awan konvektif pada nilai *rain rate* yang sama. Kemudian Uijlenhoet *et al.* (Limpert dan Houston, 2010) menyatakan bahwa karena distribusi ukuran tetes memiliki variabilitas yang sangat tinggi meski dalam awan badai tunggal, diperlukan beberapa hubungan Z-R yang diterapkan agar mendapat estimasi curah hujan terbaik. ROC (1999) merekomendasikan bahwa untuk Z-R Marshall-Palmer ($A=200, b=1,6$) optimal digunakan untuk hujan stratiform, kemudian WSR-88D Convective ($A=300, b=1,4$) optimal untuk awan konvektif kuat, dan Rosenfeld Tropical ($A=250, b=1,2$) optimal untuk sistem konvektif area tropis.

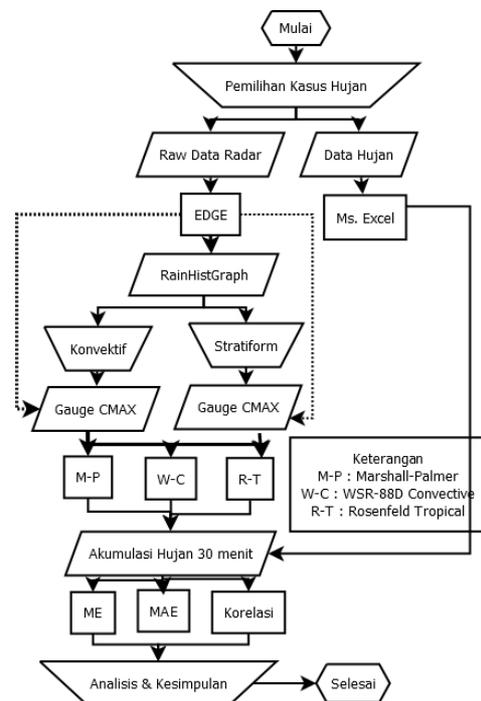
Sementara ini untuk wilayah Indonesia termasuk Jakarta dengan menggunakan radar cuaca milik Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) masih menggunakan hubungan Z-R Marshall-Palmer tanpa memperhatikan klasifikasi tipe awan hujan. Jika tidak dilakukan penelitian lebih lanjut akan hubungan Z-R yang cocok untuk wilayah Jakarta ini, kemungkinan metode lama akan menghasilkan nilai curah hujan di atas curah hujan aktual (*overestimate*) maupun di bawah curah hujan aktual (*underestimate*). Sehingga berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh pengklasifikasian tipe awan hujan dalam menentukan keakurasian estimasi curah hujan dari hubungan Z-R yang digunakan di wilayah Jakarta. Pada penelitian ini akan difokuskan mengenai pendahuluan, metode penelitian, hasil dan pembahasan serta kesimpulan.

Metodologi

Data curah hujan yang digunakan merupakan *Automatic Weather Station (AWS)* dan *Automatic Rain Gauge (ARG)* di 4 lokasi yaitu ARG Tomang, ARG Lebak Bulus, ARG Manggarai dan AWS Matoa dengan sebaran titik pada dapat dilihat pada Gambar 1. Data hujan ini dipilih berdasarkan kasus-kasus hujan yang terjadi dari rentang 1 Januari 2015 s/d 29 Februari 2016. Kemudian data radar yang digunakan adalah *raw data Radar BMKG Tangerang* pada rentang waktu yang sama.



Gambar 1. Daerah penelitian dan lokasi sebaran data banding.



Gambar 2. Diagram alir penelitian.

Data radar diolah menggunakan *software* EDGE kemudian dibuat produk *Gauge CMAX* akumulasi hujan 30 menit dengan kriteria batas bawah 0,2 km dan batas atas 4 km dengan menerapkan hubungan Marshall-Palmer (M-P), WSR-88D Convective (W-C) dan Rosenfeld

Tropical (R-T). Produk RainHistGraph dibuat pada titik lokasi AWS/ARG yang dipakai untuk menentukan hujan awan konvektif dan *stratiform* dari nilai *rain rate* nya. Batas hujan awan konvektif terjadi jika terdapat fluktuasi *rain rate* yang signifikan dan mencapai 10 mm/jam atau lebih. Kemudian awan *stratiform* ditentukan dari nilai *rain rate* yang cenderung seragam (tidak berfluktuasi signifikan) dengan nilai < 10 mm/jam. Untuk verifikasi digunakan nilai *Mean Error* (ME), *Mean Absolut Error* (MAE), dan nilai korelasi. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 2.

Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil pengklasifikasian tipe awan hujan dari rentang waktu 1 Januari 2015 s.d. 29 Februari 2016, didapat jumlah data seperti pada Tabel 1. Terlihat jumlah data hujan dari awan *stratiform* jauh lebih banyak daripada jumlah data konvektif. Dilihat dari total data hujan konvektif dan *stratiform*, didapatkan bahwa jumlah data hujan konvektif hanya sepertiga dari jumlah hujan *stratiform*.

Tabel 1. Jumlah data hujan akumulasi 30 menit dari awan konvektif (C) dan *stratiform* (S)

No	Lokasi	Jumlah Data		Total
		C	S	
1	Tomang	196	445	641
2	Lebak B.	172	844	1016
3	Matoa	131	178	309
4	Manggarai	182	618	800
	Total	681	2085	2766

Hasil estimasi hujan *stratiform*

Dari 4 lokasi yang digunakan untuk data banding, didapatkan hasil yang sangat yang cukup hamper mirip di setiap lokasi untuk tipe hujan *stratiform* dan konvektif. Secara sederhana, kemampuan suatu hubungan Z-R dalam estimasi hujan dapat dilihat dari perbandingan nilai ME, MAE dan korelasi pada Table 2 serta kemiripan trend *scatter plot* dengan kondisi ideal pada Gambar 3. Untuk *scatter plot* Gambar 3, hanya digunakan Manggarai dan Lebak Bulus dengan pertimbangan 2 lokasi lain juga memiliki kondisi yang mirip. Pada kasus hujan *stratiform*, terlihat M-P dan W-C sekilas memiliki trend yang hampir mirip serta R-T yang memiliki trend paling jauh menyimpang dibandingkan kondisi ideal. Tetapi jika dibandingkan berdasarkan nilai ME dan MAE, M-P memiliki kondisi lebih baik dalam

mengestimasi hujan *stratiform*. Nilai ME M-P memiliki rentang -0,3 s.d. 0,0 mm dan memang lebih baik dibandingkan W-C yaitu -0,4 s.d. -0,2 mm. Kemudian R-T cenderung mengalami *overestimate* untuk estimasi hujan dari awan *stratiform* dengan nilai ME 1,6 s/d 2,7 mm. Dari nilai MAE, M-P tetap menunjukkan galat terkecil dengan rentang 0,7 s.d. 1,1 dibandingkan W-C (0,8 s.d 1,2) dan R-T (2,2 s.d. 3,2). Berdasarkan korelasinya juga M-P yang menunjukkan korelasi lebih kuat dibandingkan W-C dan R-T dengan rentang 0,55 s.d. 0,84.

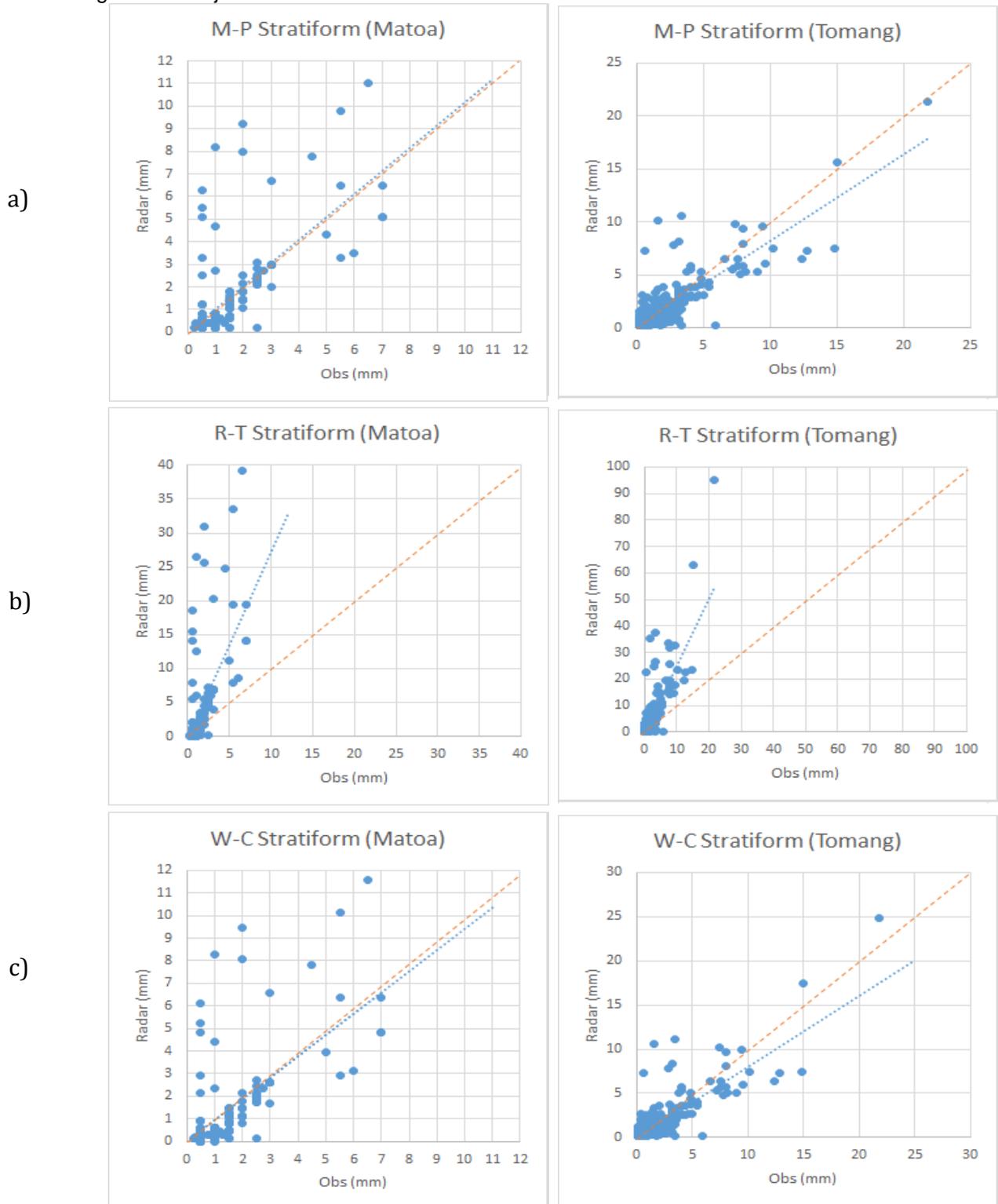
Tabel 2. Nilai rentang (R) ME, MAE dan korelasi gabungan seluruh lokasi untuk tipe awan hujan *stratiform* (S) dan konvektif (C) dengan R ditandai oleh minimum/maksimum

Z-R	ME	MAE	Kor
	R	R	R
M-P	-0.3/0.0	0.7/1.1	0.55/0.84
S	R-T	1.6/2.7	2.2/3.2
	WC	-0.4/-0.2	0.8/1.2
M-P	-9.6/-6.0	6.2/9.6	0.63/0.78
C	R-T	-4.4/-1.5	3.4/5.4
	W-C	-9.8/-6.5	6.5/9.9

Hasil estimasi hujan awan konvektif

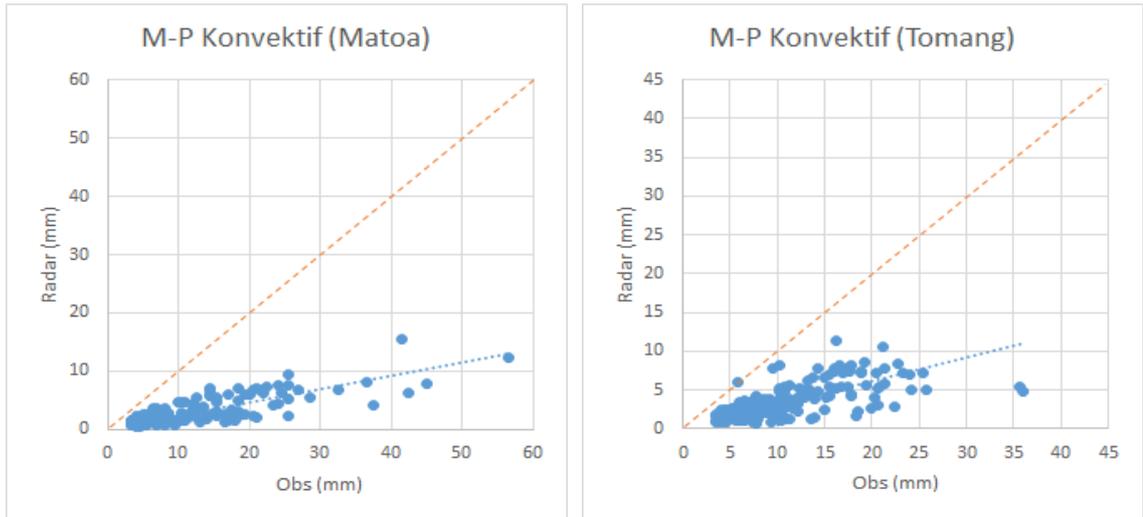
Pada hujan awan konvektif terlihat secara umum untuk hubungan M-P dan W-C memiliki hasil *underestimate* di seluruh lokasi data banding dilihat dari trend yang berada disebelah kanan kondisi ideal pada Gambar 4. Tetapi untuk hubungan R-T menunjukkan variasi hasil yaitu beberapa lokasi mengalami *overestimate* dan *underestimate*. Pada Tabel 2, nilai ME menunjukkan hasil negatif dengan rentang -9,6 s.d. -6,0 mm pada M-P dan -9,8 s.d. -6,5 mm pada W-C. Nilai ini mengindikasikan *underestimate* yang cukup besar untuk estimasi curah hujan akumulasi 30 menit. Tetapi hasil berbeda ditunjukkan oleh R-T dengan nilai yang relatif jauh lebih kecil yaitu memiliki rentang -4,4 s.d. -1,5 mm. Dari nilai MAE, nilai M-P memiliki rentang 6,2 s.d. 9,6 mm dan W-C 6,5 s.d. 9,9 mm. Nilai MAE ini terlihat seperti nilai absolut dari ME yang mengindikasikan bahwa untuk kasus hujan awan konvektif, M-P dan W-C secara konsisten selalu mengalami *underestimate* di seluruh data tanpa terkecuali. Untuk R-T memiliki nilai yang berbeda yaitu 3,4 s.d. 5,4 mm yang terlihat bukan merupakan absolut dari ME. Ini berarti R-T mengestimasi hujan yang terkadang *overestimate* maupun *underestimate*. Dilihat dari nilai korelasinya, secara keseluruhan M-P, R-T dan W-

C menunjukkan nilai di atas 0,63 dengan selisih antar hubungan Z-R yang sangat kecil yaitu 0.01 secara rata-rata. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat diketahui bahwa R-T yang terbaik dalam mengestimasi hujan konvektif.

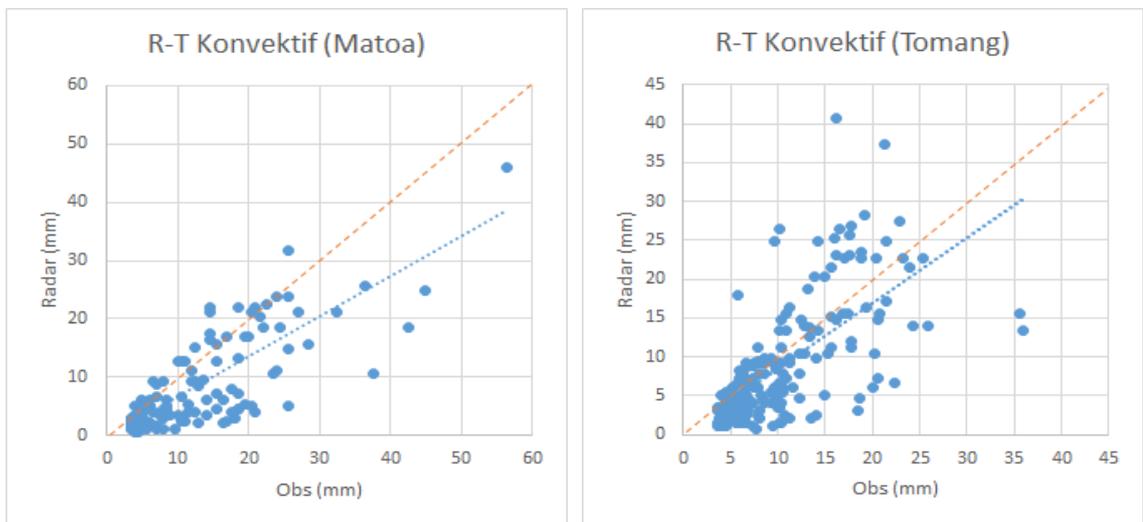


Gambar 3. Scatter plot untuk hujan stratiform a) Marshall-Palmer, b) Rosenfeld Tropical, dan c) WSR-88D Convective beserta nilai ME, MAE dan korelasi terhadap curah hujan observasi untuk lokasi lokasi Matoa dan Tomang. Garis merah menunjukkan kondisi ideal dan garis biru menunjukkan trend hubungan Z-R.

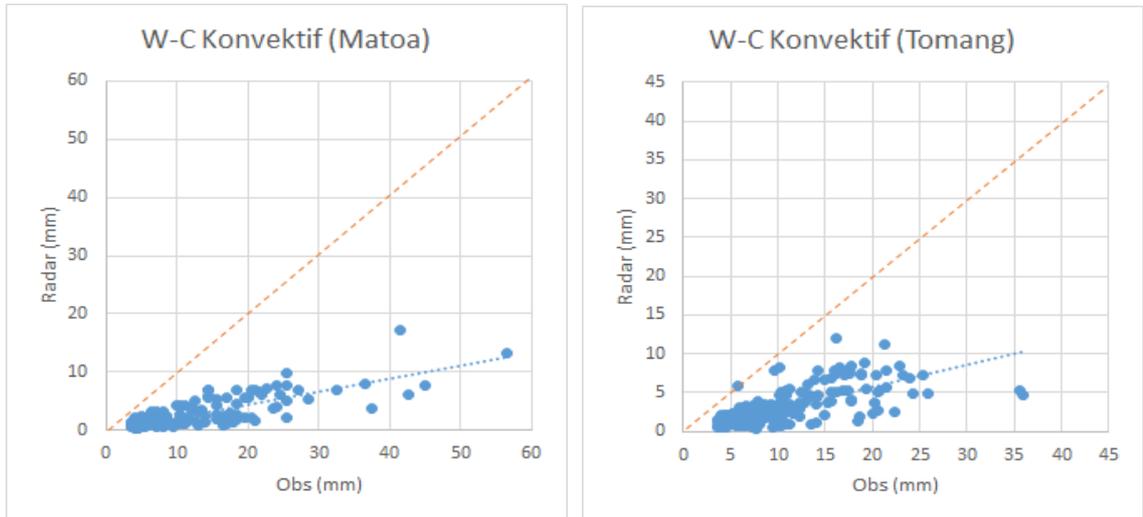
a)



b)



c)

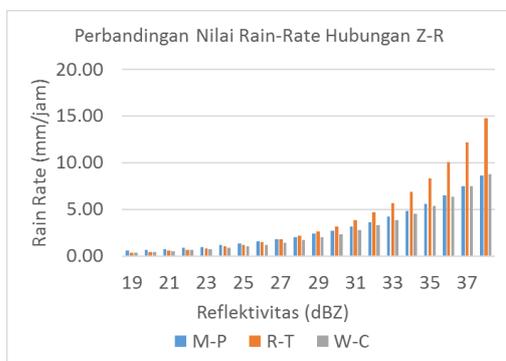


Gambar 4. Scatter plot untuk hujan konvektif a) Marshall-Palmer, b) Rosenfeld Tropical, dan c) WSR-88D Convective beserta nilai ME, MAE dan korelasi terhadap curah hujan observasi untuk lokasi Matoa dan Tomang. Garis merah menunjukkan kondisi ideal dan garis biru menunjukkan trend hubungan Z-R.

Pengaruh pengklasifikasian tipe awan hujan

Berdasarkan nilai A dan b yang digunakan, setiap hubungan Z-R memiliki karakteristik hujan tersendiri. Hasil pengklasifikasian sangat sensitif dalam menentukan kecocokan dengan masing-masing hubungan Z-R, karena hubungan Z-R berdasar dari distribusi ukuran tetes sehingga sangat mempengaruhi hasil estimasi hujan. Hubungan Z-R sangat ditentukan oleh distribusi ukuran tetes di mana tempat penelitian dilakukan serta kondisi hujan yang terjadi. Wilayah dalam penelitian ini yang termasuk dalam benua maritim di daerah tropis tentu akan mempunyai distribusi ukuran tetes yang unik. Dari hasil penelitian dan dari ketiga hubungan Z-R yang digunakan, didapatkan bahwa M-P paling baik digunakan untuk hujan dari awan *stratiform* dan R-T paling baik digunakan untuk hujan dari awan konvektif.

Ketiga Hubungan Z-R yang memiliki nilai *rain rate* tersendiri dalam suatu nilai reflektivitas sehingga akan mengestimasi nilai hujan yang berbeda-beda pada nilai reflektivitas yang sama. Dapat dilihat pada batas antar hubungan Z-R yang terdapat pada Gambar 5 dan Tabel 3, urutan nilai *rain rate* yang dihasilkan yaitu antara M-P, R-T dan W-C tidak selalu sama untuk tiap nilai reflektivitas. Contohnya pada nilai reflektivitas ≤ 19 dBZ, nilai urutan *rain rate* adalah R-T < W-C < M-P dengan selisih terbesar yaitu 0,18 mm/jam antara R-T dan M-P. Tetapi kondisi berbeda pada nilai reflektivitas >38 dBZ di mana M-P < W-C < R-T. Ini merupakan bukti bahwa nilai konstanta hubungan Z-R ini akan memberikan estimasi berbeda pada nilai reflektivitas yang sama. Selisih nilai *rain rate* antar hubungan Z-R terlihat semakin besar jika nilai reflektivitas bertambah.



Gambar 5. Perbandingan rain-rate M-P, R-T dan W-C untuk berbagai nilai reflektivitas.

Untuk hujan *stratiform*, terdapat rentang nilai observasi akumulasi hujan 30 menit dari

minimum akumulasi 0,2 mm sampai dengan maksimum akumulasi 22,6 mm pada lokasi Tomang. Karena awan *stratiform* secara umum berada di bawah 38 dBZ, maka antara M-P dan W-C terlihat memiliki kondisi hampir mirip. Tetapi untuk nilai reflektivitas di atas 27 dBZ, R-T akan menunjukkan nilai hujan akumulasi yang besar dan terlihat perbedaan signifikan. Terlihat pada sebagian besar lokasi menunjukkan R-T yang selalu memiliki *trend overestimate* untuk hujan *stratiform*. Ini menunjukkan R-T kurang baik digunakan untuk mengestimasi hujan *stratiform*.

Tabel 3. Keterangan untuk Gambar 5

Keterangan		
1	$\text{dBZ} \leq 19$	R-T < W-C < M-P
2	$19 < \text{dBZ} \leq 26$	W-C < R-T < M-P
3	$26 < \text{dBZ} \leq 37$	W-C < M-P < R-T
4	>37	M-P < W-C < R-T

Untuk hujan konvektif menunjukkan hasil yang sebaliknya. Rentang hujan akumulasi 30 menit yang didapat dari hasil observasi yang tergolong konvektif diperoleh nilai minimum akumulasi 3,5 mm dan maksimum akumulasi 57,0 mm (lokasi Matoa). Secara umum hujan dari awan konvektif ini memiliki nilai reflektivitas di atas 38 dBZ berdasarkan konversi *rain rate* 10 mm/jam. Pada hujan awan konvektif ini, nilai M-P terlihat sangat jauh *underestimate*, kemudian nilai hujan dari W-C juga mengalami *underestimate*. R-T menunjukkan kondisi paling baik dalam mengestimasi hujan dari awan konvektif.

R-T yang merupakan hubungan Z-R yang diteliti pada wilayah tropis untuk kondisi awan konvektif (Rosenfeld *et al.*, 1993) menunjukkan hasil yang lebih baik dalam mengestimasi hujan konvektif dibandingkan hubungan Z-R lainnya. Hal ini juga didukung oleh hasil estimasi hujan di Padang Sumatera Barat (Muzayanah *et al.*, 2016). Tetapi dalam beberapa data, R-T tetap masih mengalami *overestimate* yang sangat besar dibandingkan data observasinya pada nilai reflektivitas yang sangat tinggi. Begitu juga untuk M-P, meskipun menunjukkan hasil terbaik untuk estimasi hujan *stratiform*, M-P tetap mengalami *overestimate* maupun *underestimate*. M-P merupakan rekomendasi untuk hujan *stratiform* berdasarkan ROC (1999) dan memang cukup sesuai dengan hasil penelitian ini karena M-P menunjukkan kondisi paling baik.

Dari hasil penelitian ini, pengklasifikasian tipe awan hujan untuk estimasi curah hujan memang menunjukkan kegunaan. Awan konvektif ternyata memang menunjukkan kondisi yang berbeda dengan awan *stratiform*. Tokay dan Short (1996) yang meneliti tentang distribusi tetes hujan di wilayah tropis, menyatakan bahwa untuk awan *stratiform* menghasilkan lebih banyak tetes besar dan lebih sedikit tetes kecil hingga sedang daripada awan konvektif dilihat dari rasio jumlah tetes hujan pada masing-masing volume sampel pada nilai *rain rate* yang sama. Ini berdasarkan proses pembentukan tetes hujan di antara kedua jenis awan yang berbeda Houze (2014). Ini mengindikasikan bahwa jumlah tetes hujan dalam awan *stratiform* lebih sedikit dibandingkan awan konvektif tetapi memiliki median diameter yang lebih besar. Kemudian nilai *rain rate* yang diperoleh dari hasil perhitungan hubungan Z-R merupakan asumsi ukuran dan jumlah tetes hujan dari masing-masing hubungan Z-R. Jika asumsi distribusi ukuran tetes hujan dari suatu hubungan Z-R tidak tepat dengan daerah penelitian, maka akan mengakibatkan kesalahan perhitungan nilai *rain rate*.

Pada kasus hujan awan *stratiform*, terlihat M-P mengalami kondisi terbaik dibandingkan dua hubungan Z-R lainnya, tetapi M-P mengalami *underestimate* pada hujan awan konvektif. M-P gagal dalam mengestimasi curah hujan konvektif dikarenakan distribusi ukuran tetes yang diasumsikan oleh M-P kurang cocok dalam menghitung *rain rate* awan konvektif di wilayah Jakarta yang termasuk daerah tropis ini di mana hujan awan konvektif di wilayah tropis akan memiliki tetes hujan yang lebih banyak dan ukuran tetes yang lebih kecil daripada awan *stratiform*. Pada nilai reflektivitas tertentu untuk awan konvektif, M-P tetap mengasumsikan ukuran tetes besar dengan jumlah tetes yang sedikit pada suatu sampel volume, tetapi kondisi sebenarnya ukuran tetes hujan pada awan konvektif adalah lebih kecil dengan jumlah tetes lebih banyak daripada asumsi M-P sehingga nilai curah hujan yang di estimasi M-P akan lebih kecil (*underestimate*) dibandingkan kondisi sebenarnya. Begitu juga dengan kondisi hubungan Z-R W-C, di mana hubungan Z-R ini disesuaikan untuk daerah lintang menengah dengan kondisi yang berbeda dengan wilayah tropis sehingga mengalami ketidakcocokan pada hujan awan konvektif. Kemudian R-T yang merupakan hubungan empiris yang didapat pada kondisi hujan awan konvektif maritim di daerah tropis (Rosenfeld *et al.*, 1993), diduga memiliki

distribusi ukuran tetes yang cukup mendekati distribusi ukuran tetes hujan dari awan konvektif di wilayah Jakarta karena hubungan Z-R ini lebih baik mengestimasi hujan awan konvektif dibandingkan M-P dan W-C. Tetapi karena R-T menunjukkan kenaikan yang cukup ekstrem pada nilai reflektivitas yang sangat tinggi, hasil ini dikhawatirkan akan mengalami *overestimate* yang cukup besar pada beberapa kasus hujan yang memiliki reflektivitas yang sangat tinggi.

Jadi berdasarkan uji estimasi hujan dengan menggunakan tiga hubungan Z-R berbeda pada dua tipe awan hujan, ternyata memang terlihat perbedaan signifikan antara awan konvektif dan *stratiform* dilihat dari hasil estimasi hubungan Z-R. M-P memiliki kondisi terbaik dibandingkan W-C dan R-T dalam estimasi hujan dari awan *stratiform*, kemudian R-T memiliki kondisi terbaik dibandingkan W-C dan M-P untuk estimasi hujan dari awan konvektif. Berdasarkan nilai konstanta A dan b , untuk awan konvektif nilai A lebih besar daripada awan *stratiform*, sedangkan awan *stratiform* memiliki nilai b lebih besar daripada awan konvektif. Ini sesuai dengan hasil penelitian Kumar *et al.* (2011) di wilayah Singapura. Nilai A dan b berturut-turut mewakili median ukuran tetes hujan dan perubahan ukuran tetes hujan dalam suatu sampel volume (Rosenfeld dan Ulbrich, 2002). Keakurasian estimasi hujan dari hubungan Z-R sangat dipengaruhi oleh pengetahuan distribusi ukuran tetes hujan suatu tempat yang mendasari nilai A dan b . Jika pengklasifikasian ini tidak dilakukan, dikhawatirkan hasil estimasi hujan akan selalu mengalami *underestimate* pada kasus hujan konvektif. Terlebih lagi, wilayah Jakarta yang termasuk daerah tropis akan selalu menghasilkan awan-awan konvektif yang menghasilkan hujan lebat. Pada penelitian ini yang masih menggunakan akumulasi hujan 30 menit dalam estimasi, menunjukkan hasil galat yang cukup besar untuk M-P dalam hasil estimasinya. Tentunya jumlah galat ini akan meningkat seiring bertambahnya durasi akumulasi hujan seperti menjadi akumulasi 1 jam, 3 jam, 6 jam maupun 24 jam. Sehingga untuk mengurangi nilai galat ini dengan tujuan menambah keakurasian estimasi hujan di wilayah Jakarta, proses penerapan hubungan Z-R berbeda untuk tipe awan hujan berbeda perlu dilakukan. Perlu ditekankan bahwa meskipun dalam penelitian ini M-P menjadi yang terbaik dalam hujan awan *stratiform*, dan R-T terbaik dalam hujan awan konvektif, tetapi kedua hubungan Z-R tersebut masih sering mengalami ketidakakuratan dalam estimasi

hujan. Sehingga penentuan hubungan Z-R tersendiri di wilayah Jakarta sangat diperlukan untuk keakurasian estimasi hujan yang lebih baik dengan memperhitungkan distribusi ukuran tetes hujan.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa memang terdapat pengaruh pengklasifikasian tipe awan hujan terhadap keakurasian hubungan Z-R di wilayah Jakarta. Penggunaan hubungan Z-R yang berbeda untuk tipe awan hujan yang berbeda dapat meningkatkan keakurasian estimasi hujan. Dalam penelitian ini hubungan Marshall Palmer lebih baik dalam estimasi hujan awan *stratiform* kemudian Rosenfeld *Tropical* lebih baik digunakan untuk hujan dari awan konvektif. Penentuan hubungan Z-R khusus untuk wilayah Jakarta sangat diperlukan untuk keakurasian estimasi yang lebih baik dengan memperhitungkan distribusi ukuran tetes hujannya.

Daftar Pustaka

- Alfieri, L., Claps, P. and Laio, F., 2010. Time-dependent Z-R relationships for estimating rainfall fields from radar measurements, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 10, 149-158.
- Doviak, R. J., and Zrnic, D. S., 2006. *Doppler radar and weather observations*, 2nd ed., Dover Publications, Inc., New York. 562 hlm.
- Houze Jr., R. A., 2014., *Cloud Dynamics*, 2nd ed., Elsevier Inc., Amsterdam. 496 hlm.
- Kumar, L. S., Lee, Y. H., Yeo, J. X., and Ong, J. T., 2011. Tropical rain classification and estimation of rain from Z-R (reflectivity-rainrate) relationships, *Progress In Electromagnetics Research B*, 32, 107-127.
- Limpert, G. L. and Houston, A. L., 2010. A technique for selection of multiple Z-R relationships within a single domain, *25th Conference on Severe Local Storms*, 12 Oktober 2010.
- Muzayanah, L. F., Permana, D. S., Praja, A. S., Wulandari, E. S., dan Hanggoro, W., 2016. Extreme Rainfall Analysis using Radar-based Rainfall Estimates, Ground Observation and Model Simulation in West Sumatra (Case Study: Padang Floods on June 16, 2016), *International Symposium on the 15th Anniversary of the Equatorial Atmosphere Radar (EAR)*, 141-148.
- Nzeukou, A. and Sauvageot, H., 2004. Raindrop size distribution and radar parameters at Cape Verde, *Journal of Applied Meteorology*, 43, 90-105.
- Radar Operations Center (ROC), 1999. Guidance on selecting Z-R relationships, (www.roc.noaa.gov/ops/z2r_osf5.asp, diakses pada tanggal 23 Desember 2015).
- Rosenfeld, D. and Ulbrich, C. W., 2002. *Cloud microphysical properties, processes, and rainfall estimation opportunities*.
- Rosenfeld, D., Wolff, D. B. and Atlas, D., 1993. General probability-matched relations between radar reflectivity and rain rate, *J. Appl. Meteor.*, 32, 50-72.
- Suzana R. and Wardah, T., 2011. Radar Hydrology: New Z/R relationships for Klang River Basin, Malaysia, *International Conference on Environment Science and Engineering IPCBEE*, 8, 248-251.
- Tokay, D., and Short, A., 1996. Evidence from Tropical raindrop spectra of the origin of rain from stratiform versus Convective clouds, *J. Appl. Meteor.*, 35, 355-371.