RELASI FAKTOR REFLEKTIVITAS RADAR DENGAN INTENSITAS CURAH HUJAN UNTUK RADAR C-BAND DI SOROAKO, SULAWESI SELATAN

Vera Arida, Findy Renggono, Zadrach L. Dupe

Intisari

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan konstanta relasi faktor reflektifitas radar dengan intensitas curah hujan secara umum di Soroako. Konstanta relasi Z-R merupakan informasi yang penting karena nilainya yang berbeda-beda untuk setiap daerah, selain itu dapat diketahui berapa jumlah curah hujan yang turun dan juga sebaran hujan di Soroako secara merata, meskipun topografinya berdataran. Karena nilai Z-R berbeda untuk setiap hujan maka perlu ditentukan pula konstanta relasi antara faktor reflektifitas radar dengan intensitas curah hujan untuk masing masing hujan (stratiform dan konvektif). Dalam penelitian ini digunakan threshold 10 mm/jam sebagai batas hujan stratiform dan konvektif. Metode yang digunakan yaitu metode statistik dengan meregresikan Z dan R sehingga menghasilkan $Z = 96,16R^{2,066}$. Hasil analisis data selama 5 bulan pada musim hujan menunjukkan bahwa metode Nzeukou lebih baik diaplikasikan di Soroako dibandingkan metode Gamache-Houze. Selain itu relasi Z-R hujan konvektif untuk semua metode memiliki error yang besar sehingga perlu dilakukan penelitian lebih lanjut.

Abstract

This study aims to determine the relationship between the radar reflectivity factor and rainfall intensity at Sorowako. Study on ZR relationships are important as it has different value for each area, but it can be used to estimate the amount of rainfall as well as rainfall distribution in a certain area. Since the value of ZR is different for each rain, we analyzed radar reflectivity from stratiform and convective rain separately. In this study, a threshold of 10 mm/h rainfall is used to divide the stratiform and convective rain. The method used is a statistical method by regressing Z and R to produce $Z = 96,16R^{2,066}$. From 5 months data on rainy season in Sorowako it is found that that Nzeukou method is better than Gamache-Houze. In addition, the ZR relationships for all methods of convective rain have large errors so poorly applied and is still need more research.

Kata kunci: reflektifitas radar, intensitas curah hujan, relasi Z-R, stratiform, konvektif

1. PENDAHULUAN

Diantara parameter iklim, curah hujan (presipitasi) merupakan salah satu parameter terpenting dalam bidang meteorologi. Khususnya di Indonesia sebagai salah satu daerah tropis. Hal ini disebabkan posisi Indonesia berada pada wilayah yang memiliki penyinaran matahari yang lebih dominan dari wilayah lintang yang lebih tinggi (Susandi, Tamamadin, dan Nurlela, 2008).

Curah hujan juga merupakan salah satu unsur cuaca yang memiliki keragaman yang besar dalam ruang dan waktu, keragaman menurut ruang dipengaruhi oleh letak topografi (lautan dan benua), topografi, ketinggian tempat, arah angin umum dan letak lintang. Keragaman curah hujan terjadi juga secara lokal di suatu tempat, yang disebabkan oleh

adanya perbedaan kondisi topografi, seperti adanya bukit, gunung atau pegunungan, yang menyebabkan hujan terjadi dengan tidak merata (Asdak, 1995 dalam Tanjung, 2011).

Secara umum, alat yang digunakan untuk mengukur curah hujan disebut penakar hujan atau istilah lainnya *rain gauge*. Pengukuran curah hujan pada saat ini menggunakan dua metode secara garis besar yaitu metode manual dan otomatis. Metode yang dimaksud adalah dalam hal pencatatan banyaknya curah hujan sepanjang tahun. Metode manual hanya mengandalkan catatan pengamat saja. Metode pencatatan otomatis memerlukan suplai listrik ke instrumen (Baskoro, 2009).

Pengukuran curah hujan dengan *rain gauge* memiliki beberapa kelemahan. *Rain gauge* hanya dapat menghitung secara akurat pada satu titik lokasi

tertentu. Penakar hujan perlu dipasang di banyak lokasi sehingga posisinya rapat dan tersebar merata pada satu wilayah tertentu sehingga dapat menyediakan informasi perkiraan distribusi curah hujan untuk wilayah yang luas. Tetapi biasanya penakar hujan terpasang tidak rapat dan tidak terdistribusi merata khususnya di wilayah pegunungan dan danau (Sulistyowati, 2011). Hal ini dikarenakan sulit untuk memasang *rain gauge* di medan tersebut. Selain itu *rain gauge* memerlukan suplai listrik dan pengamat.

Untuk mengatasi hal tersebut digunakanlah radar cuaca (*weather radars*), karena dapat mendukung pengamatan meteorologi. Radar dapat mencakup area yang luas, distribusi data yang *real time* dengan resolusi spasial dan temporal yang tinggi serta pengamatan secara berkelanjutan (*continue*). Data radar ini juga memiliki beberapa kelebihan, yaitu data ini mencakup seluruh titik dalam jangkauan yang disertai dengan letak lintang dan bujur. Bukan hanya letak lintang dan bujur saja, namun juga ketinggian yang beragam (0-20 km dari permukaan tanah tempat radar cuaca ditempatkan). Data ini juga dapat diamati dalam selang waktu tiap enam (6) menit setiap kali pengamatannya dan dapat menyediakan data observasi secara statistik. Untuk daerah pegunungan, data yang direkam oleh radar dibatasi dengan topografi pegunungan tersebut (Sulistyowati, 2011).

Radar cuaca tidak bisa secara langsung mengukur intensitas curah hujan yang turun, hal ini dikarenakan radar cuaca menghasilkan data reflektifitas radar (Z). Untuk itu perlu dicari tahu hubungan antara reflektifitas yang dihasilkan radar dengan intensitas curah hujan hasil pengamatan permukaan yang kemudian disebut relasi Z - R . Penentuan relasi Z - R ini dipelajari lebih dari 60 tahun dan sangat penting dilakukan mengingat relasi Z - R mempunyai nilai konstanta yang berbeda-beda untuk setiap daerah dipengaruhi oleh kondisi geografi dari daerah tersebut. Selain itu jenis hujan juga menentukan nilai korelasi Z - R . Relasi Z - R untuk hujan stratiform berbeda dengan relasi Z - R untuk hujan konvektif. Karena variasi yang ditimbulkan ini maka perlu menentukan relasi Z - R dengan metode-metode tertentu. Salah satunya dengan menggunakan metode statistik yaitu regresi linier untuk memperoleh konstanta empirik a dan b .

Soroako adalah desa di kecamatan Nuha, Luwu Timur, Sulawesi Selatan, Indonesia. Di wilayah ini terdapat radar *C-band* dan beberapa alat pengamatan permukaan yang dapat diakses. Untuk itu penelitian relasi Z - R ini dilakukan di Soroako karena lebih menunjang dari segi ketersediaan data.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan konstanta relasi faktor reflektifitas radar dengan intensitas curah hujan secara umum di Soroako. Selain itu karena nilai Z - R berbeda untuk setiap hujan maka perlu ditentukan pula konstanta

relasi antara faktor reflektifitas radar dengan intensitas curah hujan untuk masing masing hujan (stratiform dan konvektif).

2. KAJIAN PUSTAKA

Radar dapat digunakan untuk mengamati fenomena atmosfer melalui faktor reflektifitas radar (Z) yang dihubungkan dengan kuantitas fisik dari fenomena tersebut. Energi yang dipancarkan kembali dari partikel presipitasi, kemungkinan berhubungan dengan rata-rata presipitasi. Volume presipitasi yang seragam mempunyai persamaan:

$$\overline{Pr} = \frac{C |K|^2}{r^2} Z \quad (2-1)$$

dengan,

P : presipitasi (mm),

r : jarak (km),

$\overline{Pr}$: energi yang diterima (W) oleh partikel presipitasi pada jarak r (km),

C : konstanta radar, bergantung pada panjang gelombang, energi yang dipancarkan, *antenna gain*, *beam width*, panjang *pulse*, dan total energi yang hilang,

$|K|$: Koefisien dari konstanta dielektrik dari air (H^+ 0.93), dan

Z : faktor reflektifitas radar (mm^6m^{-3}) atau biasa disebut reflektifitas radar.

Kekuatan pemancar dan penerima sinyal radar biasanya di gambarkan dengan desibel (dB). Reflektifitas radar Z sering didefinisikan dalam unit dBZ yang dinyatakan sebagai berikut (Collier, 1989 dalam Nurmayani, 2003):

$$dBZ = 10 \log_{10} \frac{Z \text{ mm}}{1 \text{ mm}} \quad (2-2)$$

$$Z \text{ (dBZ)} = 10 \log_{10} (Z) \quad (2-3)$$

$$Z = \frac{\int N(D) dV}{V} \quad (2-4)$$

dimana $N(D)$ adalah distribusi ukuran butir dalam resolusi sel ($mm^{-1}m^{-3}$), D adalah diameter butir (mm) dan Z adalah reflektifitas radar (mm^6m^{-3}).

Hal ini menunjukkan bahwa jika presipitasi merata dalam bentuk cair mengisi volume pulsa maka daya rata-rata presipitasi kembali pada jarak r proporsional pada Z/r^2 , dimana Z adalah faktor reflektifitas radar, maka Z akan terkait dengan tingkat curah hujan R oleh persamaan:

$$Z = aR^b \quad (2-5)$$

dimana a dan b merupakan konstanta empirik positif yang nilainya tergantung dari lokasi geografi, dan kondisi iklim/tipe hujannya. Menurut Marshall dan Palmer, biasanya nilai yang digunakan untuk a dan b adalah $a=200$, $b=1,6$ dan R adalah intensitas presipitasi/rain rate (mm/jam).

Meskipun telah banyak relasi Z-R, tetapi tidak dapat di aplikasikan secara langsung pada wilayah yang berbeda beda. Hal ini dikarenakan konstanta empirik positif a dan b dalam relasi Z-R nilainya berubah dari satu wilayah ke wilayah lainnya dan bergantung pada variasi distribusi ukuran tetes dalam ruang dan waktu. Sehingga, tidak ada relasi yang sifatnya universal yang dapat diaplikasikan untuk semua kejadian hujan. Relasi Z-R diperoleh dengan dua pendekatan; *raindrop size distribution* (DSD) dan optimasi. Pada pendekatan pertama, Z dan R dihitung secara langsung menggunakan disdrometer. Pada pendekatan kedua relasi di tentukan menggunakan data reflektivitas yang diperoleh dari radar dan intensitas curah hujan yang terekam oleh alat penakar hujan. Relasi yang paling cocok diperoleh dengan cara meminimalisir *error* yang dihasilkan dari estimasi radar dengan penakar hujan (Mapiam dan Sriwongsitanon, 2008). (Mapiam & Sriwongsitanon, 2008)

Meskipun telah banyak relasi Z-R, tetapi tidak dapat di aplikasikan secara langsung pada wilayah yang berbeda beda. Hal ini dikarenakan konstanta empirik positif a dan b dalam relasi Z-R nilainya berubah dari satu wilayah ke wilayah lainnya dan bergantung pada variasi distribusi ukuran tetes dalam ruang dan waktu. Sehingga, tidak ada relasi yang sifatnya universal yang dapat diaplikasikan untuk semua kejadian hujan. Relasi Z-R diperoleh dengan dua pendekatan; *raindrop size distribution* (DSD) dan optimasi. Pada pendekatan pertama, Z dan R dihitung secara langsung menggunakan disdrometer. Pada pendekatan kedua relasi di tentukan menggunakan data reflektivitas yang diperoleh dari radar dan intensitas curah hujan yang terekam oleh alat penakar hujan. Relasi yang paling cocok diperoleh dengan cara meminimalisir *error* yang dihasilkan dari estimasi radar dengan penakar hujan (Mapiam dan Sriwongsitanon, 2008). (Mapiam & Sriwongsitanon, 2008)

Ada beberapa metode yang sering dipakai untuk mendapatkan relasi Z-R yaitu (Ramli, 2011):

1. *Drop Size Distribution* (DSD) (Blanchard, 1953 dalam Ramli, 2011)
2. Metode Statistik/optimasi (Marshall et al., 1947; Zawadzki, 1975; Wilson dan Brandes, 1975; Austin, 1987; Krajewski WF, Smith JA, 2002 dalam Ramli, 2011)
3. Metode pencocokan probabilitas (Calheiros dan Zawadzki, 1987; Rosenfeld et al, 1994 dalam Ramli 2011).

Relasi antara reflektivitas dan intensitas curah hujan secara tradisional ditentukan oleh regresi linier, dimana logaritma dari intensitas curah hujan merupakan variabel yang independen. Campos dan Zawadzki, 2000 dalam Kumar dkk., 2011 menemukan bahwa relasi Z-R bergantung pada teknik regresi dan metode yang digunakan. Atlas dkk., 2000 dalam Kumar dkk., 2011 menemukan

bahwa relasi Z-R yang berasal dari regresi linier menghasilkan representasi yang akurat untuk curah hujan rendah tetapi tidak selalu untuk curah hujan tinggi.

3. DATA DAN METODE

Penelitian ini menggunakan dua data yaitu data radar dan data AWS (*Automatic Weather Station*). Data faktor reflektivitas radar dengan satuan dBZ (mm/jam) yang diperoleh dari Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT), pada tahun 2009 dan 2010 di Soroako (Tabel 3.1), Sulawesi Selatan. Radar yang digunakan adalah Radar C-band Doppler tipe WSR-74C. C-band mempunyai nilai frekuensi 5.3 GHz dan panjang gelombang sekitar 5,4 cm di pasang di bandara Soroako (2.53° LS, 121.35° BT) di tepi danau Matano. Data Radar ini terdiri dari 24 level ketinggian yang digunakan hanya pada level permukaan saja. Data yang dihasilkan dari Radar selanjutnya diolah dengan software TITAN (*Thunderstorm Identification, Tracking, Analysis and Nowcasting*) sehingga menghasilkan data dalam format berbentuk .dat.

Tabel 3.1. Tabel ketersediaan data radar.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
2009	11																															
	12																															
2010	1																															
	2																															
	3																															

Sedangkan untuk data AWS, parameter yang digunakan adalah *rain rate* dengan interval waktu 30 menit, data yang digunakan adalah data bulan November-Desember pada tahun 2009 dan bulan Januari-Maret 2010. Data *rain rate* stasiun Plansite digunakan untuk verifikasi data, sedangkan data selebihnya digunakan untuk regresi linier. AWS yang digunakan bermerk Davis. Data pengukuran permukaan yang berasal dari AWS ini diletakan di 5 titik seperti ditunjukan pada Gambar 3.1, dan lokasinya tertera dalam Tabel 3.2.

Gambar 3.1. Peta persebaran lokasi AWS (lingkaran merah) dan radar C-band (kotak hitam) di Soroako.

Tabel 3.2. Posisi stasiun pengamat AWS dan radar C-band

Nama Stasiun	Latitude	Longitude
Radar C-band	2,53S	121,35E
Matano	2,4565S	121,2162E
Timampu	2,6573S	121,4282E
Tokalimbo	2,8148S	121,5679E
Plansite	2,5665S	121,3806E
Ledu-ledu	2,5804S	121,2697E

Penelitian ini terdiri dari tiga langkah utama yaitu penentuan jenis hujan, perhitungan relasi Z-R dan verifikasi konstanta a dan b yang diperoleh. Sedangkan metode yang digunakan adalah metode statistik. Metode statistik memerlukan kombinasi data dari radar dan penakar hujan. Relasi Z-R dihitung dengan mengukur kedua data secara bersamaan. Pendekatan relasi Z-R ditentukan dari data sampling dan tidak menggunakan data disdrometer. Metode statistik lebih efisien jika dilihat dari ketersediaan data set dan peralatan yang ada.

Data reflektifitas radar mempunyai ukuran yang besar, maka diperlukan media penyimpanan data dengan kapasitas yang besar pula. Format data reflektifitas radar ini sudah dalam bentuk .dat. Sebelum diolah lebih lanjut, harus ditentukan posisi suatu lokasi dalam koordinat pixel, karena nantinya data reflektifitas radar akan diperoleh dari setiap pixelnya. Data reflektifitas radar ini di *dump* di 5 titik sesuai dengan lokasi AWS menggunakan Grads dan Matlab lalu dilakukan akumulasi setiap 30 menit. Hal ini dikarenakan data pengamatan permukaan yang diperoleh rata-rata mempunyai interval 30 menit. Selain itu Pemilihan rata rata waktu selama 30 menit didasari oleh anggapan bahwa kemunculan awan konvektif adalah sekitar 10-30 menit, sedangkan awan stratiform lebih dari 20 menit (Renggono, 2000). Data AWS hasil pengukuran di lapangan disimpan dalam suatu folder bentuk .xls. Data reflektifitas radar akan di bandingkan terlebih dahulu dengan data intensitas curah hujan dari data AWS dengan membuat grafik *time series* untuk melihat kecocokan data reflektifitas radar dan intensitas curah hujan. Setelah diperoleh data reflektifitas radar dan intensitas curah hujan setiap 30 menit, selanjutnya di lakukan penentuan tipe hujan.

Penentuan jenis hujan menggunakan kriteria yang merujuk pada penelitian Nzeukou dkk., (2002) dalam da Silva Moraes, Tenorio & Baldicero Molion (2005) yaitu sebagai berikut:

1. Hujan stratiform, dipilih data intensitas curah hujan tahun 2010 yang memiliki nilai $R < 10 \text{ mm h}^{-1}$.
2. Hujan konvektif, dipilih data intensitas curah hujan tahun 2010 yang memiliki nilai $R \geq 10 \text{ mm h}^{-1}$.

Selain itu digunakan pula penentuan hujan menggunakan kriteria Gamache-Houze, teknik sederhana yang menggunakan *threshold* (Kumar L. S., Lee, Yeo, & Ong, 2011) yaitu sebagai berikut:

1. Hujan stratiform, dipilih data reflektifitas radar pada tahun 2010 yang memiliki nilai $Z < 38 \text{ dBZ}$.
2. Hujan konvektif, dipilih data reflektifitas radar pada tahun 2010 yang memiliki nilai $Z > 38 \text{ dBZ}$.

Selanjutnya penentuan hubungan antara data reflektifitas radar dan data pengamatan permukaan. Penentuan relasi secara umum dilakukan dengan regresi linier Z terhadap R. Persamaan (2-5) digunakan untuk menghitung hubungan antara intensitas curah hujan (R) dan faktor reflektifitas radar (Z). Dengan mengaplikasikan logaritma untuk kedua sisi pada persamaan (2-5) menghasilkan persamaan:

$$\log(Z) = \log(a) + b \log(R) \quad (3-1)$$

Variabel $\log(Z)$ sebagai variabel dependen dan $\log(R)$ sebagai variabel independen. Anggap $Y = \log Z$; $\hat{a} = \log a$; $\hat{b} = b$; $X = \log R$, sehingga diperoleh fungsi $Y = \hat{a} + \hat{b}X$. $\hat{a}$ dan $\hat{b}$ pada sumbu-y merupakan kemiringan dan intersep. Koefisien a dan b pada persamaan (2-5) diperoleh dari persamaan hasil regresi linier yaitu $Y = \hat{a} + \hat{b}X$. Maka diperoleh koefisien $a = 10^{(\hat{a})}$ dan koefisien $b = \hat{b}$.

Data yang digunakan dalam regresi linier Z-R yaitu data pada bulan November-Desember 2009 dan juga data pada bulan Januari-Maret 2010. Sedangkan data pada stasiun Plansite digunakan untuk verifikasi. R_{ob} merupakan intensitas curah hujan observasi dan R_{Z-R} intensitas curah hujan hasil relasi Z-R, maka nilai *error* dihitung dengan cara:

$$Error = \frac{(R_{ob} - R_{Z-R})}{R_{ob}} \quad (3-2)$$

Intensitas curah hujan hasil perhitungan relasi Z-R diperoleh dari reflektifitas radar pada ketinggian 1 km menggunakan persamaan:

$$R_{Z-R} = \left(\frac{Z}{a}\right)^{\frac{1}{b}} \quad (3-3)$$

Seed dkk., 2002 dalam Mapiam dan Sriwongsitanon, 2008 merekomendasikan empat perhitungan statistik untuk estimasi nilai intensitas curah hujan radar dan observasi, yaitu:

Mean error,

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (R_{ob} - R_{Z-R}) \quad (3-4)$$

Mean absolute error,

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^N |R_{ob} - R_{Z-R}| \quad (3-5)$$

Root mean-square error,

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (R_{ob} - R_{Z-R})^2} \quad (3-6)$$

Bias,

$$B = \frac{\sum_{i=1}^N R_{ob}}{\sum_{i=1}^N R_{Z-R}}, \text{ n jumlah rata-rata CH harian } (3-7)$$

Korelasi sangat penting untuk menyatakan tingkat keamatan hubungan Z-R, sedangkan MAE menunjukkan ukuran simpangan paling sederhana dan RMSE merupakan indikator yang didasarkan pada total kuadratis dari simpangan antara R hasil regresi Z-R dengan R hasil observasi (AWS). Untuk menentukan relasi Z-R yang paling optimum maka ditentukan nilai korelasi minimal yaitu 0,51. Jika hasil korelasi belum mencapai nilai tersebut maka dilakukan iterasi dengan menghilangkan penciran data terlebih dahulu. Iterasi dibatasi sebanyak 5 kali. Jika dalam iterasi tersebut belum mencapai angka korelasi 0.51 maka diambil persamaan relasi Z-R yang memiliki korelasi paling baik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Relasi Z-R di Soroako

Dalam kajian ini dipilih kejadian hujan pada tanggal 16 Maret 2010 lalu diplot *time series* untuk melihat hubungan antara data reflektivitas yang dihasilkan radar dengan intensitas curah hujan dari pengamatan permukaan (AWS). Dari Gambar 4.1.1 terlihat bahwa kejadian hujan di stasiun Plansite mulai pada jam 16:00-17:30 WITA dan 18:30-21:30 WITA. Curah hujan tertinggi terjadi pada jam 17:30 WITA sebesar 4.4 mm (hujan sedang). Grafik dengan warna merah merupakan reflektivitas radar. Dari gambar terlihat bahwa hasil pengamatan dengan C-band radar dan AWS menunjukkan hasil yang seragam dan memiliki pola mirip, yaitu pada saat C-band menunjukkan reflektivitas yang kuat, AWS juga mendeteksi adanya hujan yang muncul. Reflektivitas kuat terlihat menjulang ke atas (jam 15:00-15:30 WITA) dan tidak lama kemudian atau kurang lebih satu jam kemudian, munculah kejadian hujan. Keseluruhan data menunjukkan pola yang seragam, yaitu adanya *lag time* selama 30 menit. Hal ini akan menimbulkan kesalahan sistematis dalam perhitungan relasi Z-R. Maka dalam perhitungan relasi Z-R perlu adanya penggeseran waktu selama 30 menit.

Gambar 4.1.1. Grafik *time series* CH VS Waktu di Stasiun Plansite pada tanggal 16 Maret 2010

Adanya *lag time* dikarenakan pergeseran sistem koordinat atau jarak antara AWS dengan radar. Semakin dekat dengan radar, maka daerah sapuan radar lebih rendah ke permukaan. Dengan meningkatnya jarak dari radar ke AWS maka sudut sapuan radar akan meningkat sehingga dapat melampaui inti dari hujan yang lebat.

Gambar 4.1.2. Sama dengan Gambar 4.1.1 tetapi untuk stasiun Matano.

Dilihat dari Gambar 4.1.2 ada kesamaan waktu dengan stasiun Plansite, dimana pada saat reflektivitas radar menguat, satu jam kemudian terdapat kejadian hujan yang tercatat di permukaan. Data dari radar cuaca mempunyai kemampuan lebih tinggi untuk menggambarkan kondisi intensitas curah hujan di suatu lokasi karena resolusi temporal dan spasialnya lebih tinggi.

4.2. Relasi Z-R untuk Setiap Stasiun

Gambar 4.2 Scatter plot Z dan R Stasiun Ledu-ledu.

Dari Gambar 4.2 diperoleh persamaan $y = 2,033x + 1,318$. Maka konstanta $a = 10^{1,318}$ atau 20,8 dan konstanta $b = 2,033$. Dengan melakukan hal yang sama untuk stasiun lainnya maka diperoleh relasi Z-R yang disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Konstanta a dan b, relasi Z-R, koefisien korelasi dan determinasi serta *standard error* setiap stasiun.

	Timampu	Matano	Plansite	Ledu-Ledu
Konstanta a	1018,6	56,36	$10^{1,318}$	20,8
Konstanta b	2,8	1,67	4,2	2,03
Relasi Z-R	$Z = 1018R^{2,8}$	$Z = 56,36R^{1,67}$	$Z = 10^{1,318}R^{4,2}$	$Z = 20,8R^{2,03}$
Koefisien Korelasi	0,53	0,51	0,28	0,65
Koefisien Determinasi	0,28	0,26	0,08	0,42
Standard Error	2,57	1,59	7,92	1,5
Observasi	110	160	183	117

Stasiun Ledu-Ledu, Matano dan Timampu, memiliki koefisien korelasi dan koefisien determinasi yang sedang dan cukup serta *standard error* yang kecil jika dibandingkan dengan stasiun Plansite sehingga relasi Z-R bisa diaplikasikan di masing-masing stasiun. Sedangkan untuk stasiun Plansite memiliki koefisien korelasi dan koefisien determinasi yang kecil serta *standard error* yang besar, sehingga relasi Z-R di stasiun tersebut masih diragukan.

4.3. Relasi Z-R Umum di Soroako

Data stasiun Timampu, Matano dan Ledu-Ledu di gabungkan untuk mendapatkan persamaan relasi

Z-R secara umum di Soroako. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 4.3. Persamaan yang dihasilkan yaitu $y = 2,066x + 1,983$, maka konstanta $a = 10^{1,983}$ dan konstanta $b = 2,066$ (Tabel 4.3).

Gambar 4.3 Scatter plot Z-R secara umum di Soroako.

Tabel 4.3. Konstanta a dan b, koefisien korelasi dan determinasi serta standard error.

Relasi Z-R secara umum	
Konstanta a	96,16
Konstanta b	2,066
Relasi Z-R	$Z = 96,16R^{2,066}$
Koefisien Korelasi	0,52
Koefisien Determinasi	0,26
Standard Error	2,01
Observasi	387

Konstanta a dan b Soroako yang dihasilkan berbeda tipis dengan yang dihasilkan di Tripoli, Libya ($Z = 116R^{1,87}$). Studi di Libya menggunakan radar yang sama yaitu C-Band dengan 4 stasiun pengamatan permukaan. Metode yang digunakan pun sama yaitu metode statistik, oleh karena itu hasilnya pun mirip.

4.4. Relasi Z-R di Soroako untuk Setiap Bulan

Gambar 4.4. Scatter plot Z-R bulan November.

Dengan melakukan perhitungan yang sama seperti Gambar 4.4 maka diperoleh relasi Z-R setiap bulan yang disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Relasi Z-R, koefisien korelasi dan determinasi serta standard error setiap bulan.

	November	Desember	Januari	Februari	Maret
Konstanta a	355,63	33,49	117,76	81,09	64,71
Konstanta b	1,79	2,07	1,9	2,2	2,54
Relasi Z-R	$Z = 355,6R^{1,79}$	$Z = 33,49R^{2,07}$	$Z = 117,76R^{1,9}$	$Z = 81,09R^{2,2}$	$Z = 64,71R^{2,54}$
Koefisien Korelasi	0,6	0,52	0,45	0,56	0,85
Koefisien Determinasi	0,36	0,27	0,19	0,31	0,73
Standard Error	1,68	2,17	2,11	2,17	0,66
Observasi	34	40	200	57	51

Konstanta b tidak berbeda secara signifikan antara satu sama lain serta berada pada rentang 1,79-2,54. Sedangkan koefisien a seperti terbagi menjadi 2 kelas yaitu November dan Januari di atas 100 lalu Desember, Februari dan Maret di bawah 100. Hal ini dikarenakan oleh curah hujan yang turun disetiap bulannya. Nilai maksimum terjadi selama pemanasan yang kuat oleh matahari yaitu pada bulan November dan Januari, sehingga mengakibatkan tumbuhnya awan dengan puncak yang tinggi dan hujan konvektif. Nilai minimum ditemukan pada bulan yang memiliki suhu rendah, sehingga mengakibatkan puncak awan yang rendah dan kemungkinan hujan yang terjadi adalah hujan stratiform.

4.5. Kriteria Gamache-Houze

Nilai reflektifitas radar 38 dBZ digunakan sebagai *threshold* sesuai dengan kriteria menurut Gamache dan House, yaitu reflektifitas radar di bawah 38 dBZ merupakan hujan stratiform, sebaliknya untuk reflektifitas radar lebih besar atau sama dengan 38 dBZ merupakan hujan konvektif. Tetapi karena hasil regresi untuk hujan konvektif hasilnya kurang begitu bagus, maka ditambahkan kriteria intensitas curah hujan lebih besar atau sama dengan 10 mm/jam. Setelah dilakukan pengklasifikasian berdasarkan *threshold* ini, relasi Z-R didapatkan secara terpisah antara hujan konvektif dengan hujan stratiform.

Gambar 4.5. Scatter plot Z-R untuk hujan Stratiform

Dengan melakukan perhitungan yang sama seperti pada Gambar 4.5 diperoleh relasi Z-R untuk hujan konvektif serta masing-masing bulan (Tabel 4.5.1 dan Tabel 4.5.2).

Tabel 4.5.1. Relasi Z-R, koefisien korelasi dan determinasi serta standard error kriteria Gamache-Houze.

Gamache-Houze	Stratiform	Konvektif
Konstanta a	13,49	4365,15
Konstanta b	0,68	2,25
Relasi Z-R	$Z = 13,49R^{0,68}$	$Z = 4365,15R^{2,25}$
Koefisien Korelasi	0,33	0,25
Koefisien Determinasi	0,11	0,06
Standard Error	0,96	2,32
Observasi	324	32

Koefisien a dan b lebih besar untuk tipe hujan konvektif dibandingkan dengan tipe hujan stratiform. Error akumulasi reflektifitas radar kemungkinan terjadi dalam perhitungan relasi Z-R menurut Gamache-Houze. Selain itu *threshold* 38 dBZ belum terlalu baik dalam menentukan hujan stratiform atau

Hal ini dikarenakan radar cuaca membaca gelombang yang dipantulkan kembali dari target yang ada di atmosfer, sedangkan objek yang ada di atmosfer ini hanya terbatas pada tetes hujan. Hal ini menyebabkan error dalam penjumlahan reflektivitas. Penyebab lainnya adalah *ground clutter*, yaitu *echo* mengenai sasaran lain selain presipitasi seperti pepohonan, tanah, gedung, insekta, burung dan sebagainya. Sinyal radar yang di pantulkan kembali dari objek non-presipitasi memiliki persistensi reflektivitas radar yang kuat, sehingga terjadi over estimasi curah hujan oleh radar.

Tabel 4.6.2 Sama seperti Tabel 3.5.1 tetapi untuk masing-masing bulan.

	Stratiform					Cumuliform
	Januari	Februari	November	Desember	Januari	
Konstanta a	8,63	55,46	4,08	10 ⁵³		
Konstanta b	0,84	0,645	0,6	0,17		
Relasi Z-R	$Z=8,63R^{0,84}$	$Z=55,46R^{0,645}$	$Z=4,08R^{0,6}$	$Z=0,17R^{0,17}$		
Koefisien Korelasi	0,38	0,38	0,55	0,01		
Koefisien Determinasi	0,15	0,145	0,3	0,0003		
Standard Error	0,95	0,78	0,56	2,27		
Observasi	48	49	24	33	13	

4.6. Kriteria Nzeukou dkk., (2002)

Nilai intensitas curah hujan 10 mm/jam digunakan sebagai *threshold* sesuai dengan kriteria Nzeukou dkk., (2002) yaitu intensitas curah hujan di bawah 10 mm/jam merupakan hujan stratiform, sebaliknya untuk intensitas curah hujan lebih besar atau sama dengan 10 mm/jam merupakan hujan konvektif. Mengingat adanya karakteristik daerah sebenarnya sulit untuk membedakan dan memisahkan antara hujan stratiform dan konvektif. Setelah dilakukan pengklasifikasian berdasarkan *threshold* ini, relasi Z-R didapatkan secara terpisah antara hujan konvektif (Gambar 4.6) dengan hujan stratiform. Sekitar 85,25% kejadian hujan diklasifikasikan sebagai hujan stratiform dan sisanya adalah hujan konvektif.

Grafik Relasi Z-R untuk hujan stratiform

Gambar 4.6. Scatter plot Z-R untuk hujan stratiform dengan kriteria Nzeukou dkk., (2002).

Tabel 4.6.1 dan 4.6.2 menyajikan relasi Z-R, koefisien korelasi dan determinasi serta standard error untuk hujan stratiform dan konvektif dan untuk masing-masing bulannya menggunakan kriteria Nzeukou et al., (2002). Untuk hujan konvektif hasilnya memiliki *standard error* yang besar.

Tabel 4.6.1. Relasi Z-R, koefisien korelasi dan determinasi serta *standard error* dengan kriteria Nzeukou dkk., (2002).

Nzeukou dkk. (2002)	Stratiform	Konvektif
Konstanta a	61,94	1,58
Konstanta b	1,55	5,02
Relasi Z-R	$Z=61,94R^{1,55}$	$Z=1,58R^{5,02}$
Koefisien Korelasi	0,32	0,42
Koefisien Determinasi	0,1	0,18
Standard Error	1,8	2,5
Observasi	330	44

Tabel 4.6.2. Sama dengan Gambar 4.6.1 tetapi untuk setiap bulannya.

Nzeukou dkk. (2002)	Stratiform					Konvektif	
	Januari	Februari	Maret	November	Desember	Januari	Februari
Konstanta a	91,2	20,89	17,5	167,5	53,57	38,45	39810,7
Konstanta b	1,6	0,573	1,2	0,92	2,67	3,34	1,7
Relasi Z-R	$Z=91,2R^{1,6}$	$Z=20,89R^{0,573}$	$Z=17,5R^{1,2}$	$Z=167,5R^{0,92}$	$Z=53,57R^{2,67}$	$Z=38,45R^{3,34}$	$Z=39810,7R^{1,7}$
Koefisien Korelasi	0,3	0,167	0,32	0,25	0,51	0,28	0,14
Koefisien Determinasi	0,09	0,02	0,1	0,067	0,26	0,08	0,02
Standard Error	2	1,46	1,08	1,45	2,11	2,6	3,1
Observasi	177	46	49	24	34	19	9

Dengan menggunakan kriteria yang sama seperti Nzeukou dkk., (2002) ternyata hasilnya berbeda beda untuk berbagai wilayah tropis di dunia, tergantung pada set data yang digunakan. Karena dalam kajian ini hanya menggunakan data 5 bulan, maka hasilnya kurang begitu baik dibandingkan menggunakan data set yang lebih panjang. Perbedaan hasil yang timbul kemungkinan juga diakibatkan oleh sulitnya menentukan *threshold* untuk membedakan tipe hujan stratiform dan konvektif. Hal ini dikarenakan, mungkin saja terjadi tipe hujan campuran, hujan yang turun diakibatkan oleh awan stratiform dan konvektif. Data set dengan periode yang panjang yang mencakup *inter-annual* variabilitas iklim mungkin akan menjawab hal ini.

4.7. Relasi Z-R di Soroako dengan Penelitian Sebelumnya

Grafik Perbandingan relasi Z-R dengan penelitian sebelumnya

Gambar 4.7.1. Nilai *error* antara intensitas curah hujan menggunakan Marshall Palmer, Sekine, dan Z-R perhitungan dengan intensitas curah hujan hasil observasi AWS.

Dari Gambar 4.7.1 terlihat bahwa relasi Z-R hasil perhitungan memiliki nilai *Mean Error*, Bias,

Mean Absolute Error dan RMSE yang lebih kecil dibandingkan dengan penelitian Marshal-Palmer ($Z=200R^{1.6}$) dan Sekine ($Z=286R^{1.6}$). Hal ini semakin memperkuat bahwa tidak ada relasi Z-R yang sifatnya universal, setiap daerah memiliki konstanta Z-R masing-masing.

Gambar 4.7.2. Nilai error antara intensitas curah hujan menggunakan Nzeukou dkk., (2002) dan Gamache-Houze untuk hujan konvektif (a) dan stratiform (b) dengan intensitas curah hujan hasil observasi AWS.

Gambar 4.7.2. menunjukkan bahwa metode Nzeukou dkk., 2002 lebih baik diaplikasikan dibandingkan metode Gamache-Houze. Hanya saja untuk tipe hujan konvektif nilai error masih cenderung besar.

5. KESIMPULAN

Dari penelitian mengenai relasi faktor reflektifitas radar dengan intensitas curah hujan menggunakan radar C-band ini diperoleh hasil relasi Z-R di Soroako yaitu $Z = 96,16R^{2,066}$. Relasi Z-R ini memiliki nilai Mean Error, Bias, Mean Absolute Error dan Root Mean Square Error yang lebih kecil dibandingkan dengan penelitian Marshal-Palmer ($Z=200R^{1.6}$) dan Sekine ($Z=286R^{1.6}$).

Untuk menentukan relasi Z-R supaya hasilnya lebih spesifik maka dilakukan pembagian hujan menjadi 2 kelas menggunakan kriteria yang telah dikerjakan sebelumnya oleh Nzeukou dkk., (2002). Kriteria pembagiannya yaitu, untuk hujan stratiform $R < 10$ mm/jam dan untuk hujan konvektif $R \geq 10$ mm/jam. Hasil relasi Z-R hujan stratiform secara umum yaitu $Z=61,94R^{1,55}$ dan untuk hujan konvektif $Z=1,58R^{5,02}$. Hal ini mengindikasikan bahwa intensitas curah hujan berbanding terbalik dengan konstanta a. Selain itu, relasi Z-R secara umum di Soroako menghasilkan koefisien yang mendekati

atau hampir mirip dengan relasi Z-R kelas stratiform. Artinya hujan stratiform lebih mendominasi di Soroako dibandingkan hujan konvektif. Akan tetapi, mengingat adanya karakteristik daerah sebenarnya sulit untuk membedakan dan memisahkan antara hujan stratiform dan konvektif karena bisa saja terjadi hujan campuran yang disebabkan oleh awan stratiform dan konvektif secara bersamaan. Penentuan relasi Z-R dilakukan pula untuk setiap bulannya. Hasilnya, rentang nilai koefisien a yang diperoleh untuk hujan stratiform 17,5 sampai 167,5 sedangkan rentang nilai untuk koefisien b 0,57 sampai 2,67. Untuk hujan konvektif, nilai koefisien a berada pada rentang 38,45 sampai 39810,7 dan koefisien b 1,7 sampai 3,34.

Pembagian kelas hujan juga dilakukan menggunakan kriteria Gamache-Houze, untuk hujan stratiform $Z < 38$ dBZ dan untuk hujan konvektif $Z \geq 38$ dBZ dan $R \geq 10$ mm/jam. Hasil relasi Z-R hujan stratiform secara umum yaitu $Z=13,49R^{0,68}$ dan untuk hujan konvektif $Z=4365,15R^{2,25}$. Penentuan relasi Z-R dilakukan pula untuk setiap bulannya. Hasilnya, rentang nilai koefisien a yang diperoleh untuk hujan stratiform 4,08 sampai 55,46 sedangkan rentang nilai untuk koefisien b 0,27 sampai 0,84. Untuk hujan konvektif, nilai koefisien a $10^{5,8}$ dan koefisien b 0,17. Kriteria Nzeukou dkk., (2002) lebih baik diaplikasikan di Soroako dibandingkan kriteria Gamache-Houze dilihat dari hasil Mean Error, Bias, Mean Absolute Error dan Root Mean Square Error.

DAFTAR PUSTAKA

- Baskoro, A. P. (2009). *Sensor Curah Hujan*.
- Bhattacharya, A. B., Tripathi, D. K., Nag, A., & Debnath, M. (2011). Measurements of Rain Drop Size Distribution from Radar Reflectivity and Associated rain Attenuation of Radio Waves. *Internasional Journal of Engineering Science and Technology*, 4171-4179.
- da Silva Moraes, M. C., Tenório, R. S., & Baldicero Molion, L. C. (2005). Z-RRelationship for a Weather Radar in the Eastern Coast of Northeastern Brazil. *unknown*, 197-201.
- Kumar, L. S., Lee, Y. H., Yeo, J. X., & Ong, J. T. (2011). Tropical Rain Classification and Estimation of Rain From Z-R (Reflectivity-Rain Rate) Relationships. *Progress In Electromagnetics Research B*, Vol 32, 107-127.
- Mapiam, P. P., & Sriwongsitanon, N. (2008). Climatological Z-R relationship for Radar Rainfall in The Upper Ping River Basin. *Science Asia* 34, 215-222.
- Nurmayani, H. (2003). *Pemanfaatan Data Boundary Layer Radar (BLR) pada Troposfer Bawah untuk Analisis Awan Hujan Penyebab Banjir*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.

- Ramli, S. (2011). Radar Hidrology: New Z/R Relationship for Klang River Basin, Malaysia. *2011 Internasional Conference on Environment Science and Engineering*
- Renggono, F. (2000). Awan Hujan di Serpong: Pengamatan Dengan Boundary Layer Radar. *Jurnal Sains & Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 1, No. 1, 53-59.
- Sulistiyowati, R. (2011). *Model Hidrologi Terdistribusi Hujan - Limpasan Berbasis Integrasi Data Radar Cuaca dan Observasi Hujan Permukaan di DAS Ciliwung*. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- Susandi, A., Tamamadin, M., dan Nurlela, I. (2008). Fenomena Perubahan Iklim dan Dampaknya Terhadap Ketahanan Pangan di Indonesia. *Seminar Nasional Padi*.
- Tanjung, D. M. (2011). *Processing Data Radar Cuaca C-Band Doppler untuk Curah Hujan; Studi Kasus Jabodetabek*. Bogor: IPB.