

---

# KAJIAN HUJAN RADAR DAN HUJAN PERMUKAAN DI WILAYAH LERENG GUNUNG MERAPI

Rachmad Jayadi<sup>a</sup>, Djoko Legono, Joko Sujono, Roby Hambali, Qonaah Rizqi Fajriani

Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik UGM  
Jl. Grafika No. 2 Yogyakarta 55281

<sup>a)</sup> email korespondensi: [rjayadi@ugm.ac.id](mailto:rjayadi@ugm.ac.id)

## ABSTRAK

Pengembangan sistem peringatan dini banjir memerlukan ketersediaan data hujan dengan kualitas yang memadai. Data hujan permukaan memiliki keterbatasan karena bersifat lokal tidak dapat menggambarkan variabilitas spasial curah hujan. Radar hujan mampu mengukur curah hujan dengan resolusi spasial dan temporal yang lebih baik, namun penggunaan data hujan radar untuk analisis hidrologi perlu dikaji ketelitiannya. Radar mengukur hujan pada rentang ketinggian tertentu, sehingga terdapat beberapa faktor yang menyebabkan ketidaksesuaian dengan data terukur di permukaan menggunakan ARR. Pada penelitian ini digunakan data hujan Radar X-band Multiparameter di Museum Gunung Merapi dan data hujan dari enam ARR di wilayah lereng Gunung Merapi untuk melakukan evaluasi korelasi hujan radar dan hujan permukaan dengan memperhatikan variasi jarak atau jangkauan dan perbedaan elevasi ARR terhadap posisi radar. Pengolahan hujan radar dilakukan menggunakan rekaman intensitas hujan pada luasan 1 pixel dan rerata 5x5 pixel. Indikator korelasi yang digunakan adalah koefisien korelasi ( $r$ ), logaritmik rasio hujan permukaan dan hujan radar ( $\log G/R$ ) dan root mean square error (RMSE). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan nilai semua indikator korelasi berdasarkan data radar 1 pixel dan rerata 5x5 pixel tidak signifikan. Plotting kedua data hujan tersebut menghasilkan adanya kecenderungan intensitas hujan permukaan lebih besar dari intensitas hujan radar. Nilai  $r$ ,  $\log(G/R)$  dan RMSE terbaik diperoleh untuk hujan pada lokasi dengan jangkauan dan perbedaan elevasi yang paling dekat radar, yaitu di ARR Plosokerep. Pola kecenderungan yang paling signifikan adalah RMSE, dimana semakin jauh dari posisi radar korelasi antara hujan radar dan hujan permukaan semakin rendah.

Kata kunci: Hujan radar, hujan permukaan, variasi spasial dan temporal, indikator korelasi

## PENDAHULUAN

Hasil analisis hidrologi untuk perancangan bangunan air atau untuk pengembangan sistem peringatan dini banjir dipengaruhi kualitas input data hujan. Penggunaan data hujan permukaan hasil pengukuran di penakar hujan (ARR) memiliki keterbatasan karena bersifat lokal tidak dapat menggambarkan variabilitas spasial curah hujan, sehingga untuk mendapatkan besaran hujan DAS memerlukan ARR dalam jumlah yang besar. Radar hujan mampu mengukur curah hujan dengan resolusi spasial dan temporal yang jauh lebih baik dibandingkan ARR (Sebastianelli, dkk., 2013), namun data hujan radar untuk input analisis hujan DAS perlu dikaji ketelitiannya. Data hujan radar terukur di atas permukaan pada rentang ketinggian tertentu, sehingga terdapat beberapa faktor antara lain arah dan kecepatan angin serta waktu jatuh butir hujan ke permukaan, yang menyebabkan ketidaksesuaian dengan data terukur di permukaan (Burcea, dkk., 2012).

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan adanya kecenderungan perkiraan nilai hujan radar yang lebih kecil (under estimate) dibanding dengan hujan permukaan. Allegretti, dkk. (2012) menemukan bahwa secara umum, akurasi perkiraan hujan radar semakin kecil terhadap hujan yang terjadi di permukaan dengan semakin meningkatnya jangkauan radar. Burcea, dkk.

(2012) menemukan kesalahan perkiraan hujan radar S-band dengan kecenderungan meningkat pada jangkauan radar diatas 150 km, sementara Sebastianelli, dkk. (2013) mengungkapkan kesalahan perkiraan hujan radar C-band dengan kecenderungan meningkat pada jangkauan radar yang lebih kecil, yaitu diatas 50 km. Penelitian lain yang dilakukan Yoon dan Bae (2012) menemukan pengaruh elevasi terhadap kesalahan perkiraan hujan radar, khususnya pada daerah pegunungan.

Ketersediaan data hujan radar di wilayah sekitar Gunung Merapi sangat mendukung upaya peningkatan sistem peringatan dini banjir lahar sebagai bencana sekunder akibat erupsi yang sering terjadi. Oleh karena itu penelitian berkelanjutan untuk meningkatkan ketelitian perkiraan hujan yang mewakili kondisi daerah tangkapan air berbasis data hujan radar untuk input analisis hidrologi perlu dilakukan. Hasil penelitian diharapkan dapat mendukung kinerja operasional sistem peringatan dini banjir lahar di wilayah lereng Gunung Merapi.

## METODE PENELITIAN

Radar X-band Multiparameter (XMP) yang tersedia untuk monitoring hujan di lereng Gunung Merapi saat ini merupakan tipe radar gelombang

pendek yang dibangun melalui SATREPS Project, yaitu bentuk kerjasama penelitian Indonesia-Jepang untuk mitigasi bencana multimodal akibat letusan gunung berapi. Radar tipe X-band lebih unggul dibanding dengan radar tipe S-band maupun C-band yang merupakan radar gelombang panjang (Maki, dkk., 2006). Dengan Resolusi spasial 150 x 150 m per pixel dan resolusi temporal 2-menitan, radar XMP Merapi mampu memberikan perkiraan hujan lebih akurat dibandingkan radar generasi sebelumnya.

Secara sederhana, tingkat akurasi perkiraan hujan radar (R) dinilai dari perbandingan datanya terhadap pengukuran hujan yang terjadi di permukaan lahan (G) melalui penakar hujan (Hong dan Gourley, 2015). Hubungan antara R dan G bervariasi terhadap banyak faktor, misalnya iklim dan karakteristik radar. Evaluasi kesalahan perkiraan hujan radar terhadap hujan permukaan dapat dilakukan dengan menganalisis indeks fractional standard error (FSE), root mean square error (RMSE), koefisien korelasi dan sifat rasio G/R (Hambali, dkk., 2016). Koefisien korelasi, rasio G/R dan RMSE dihitung dengan persamaan berikut:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})(G_i - \bar{G})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (R_i - \bar{R})^2 \sum_{i=1}^N (G_i - \bar{G})^2}} \quad (1)$$

$$\left(\frac{G}{R}\right)_j = \frac{\sum_{i=1}^N G_i}{\sum_{i=1}^N R_i} \quad j = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (R_i - G_i)^2}{N}} \quad (3)$$

dimana  $G_i$  dan  $R_i$  masing-masing adalah kedalaman hujan dari ARR dan radar pada kejadian  $i$ ,  $N$  adalah jumlah data hujan selama periode yang ditinjau, dan  $j$

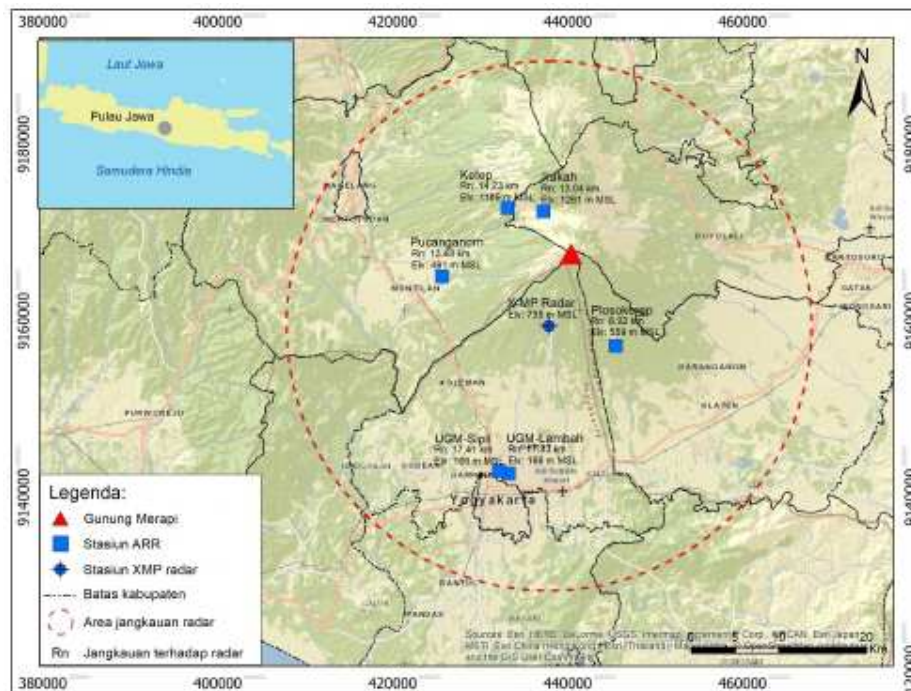
menyatakan indeks ARR. Untuk analisis nilai koefisien korelasi maupun RMSE, nilai  $G_i$  dan  $R_i$  dapat berupa intensitas hujan. Nilai logaritmik rasio ( $G/R$ ) dan RMSE mendekati nol apabila terdapat kesesuaian yang tinggi antara hujan radar dan hujan permukaan.

Dalam penelitian ini evaluasi kesalahan perkiraan hujan radar XMP terhadap hujan permukaan dilakukan dengan memperhatikan dua faktor yang diperkirakan mempengaruhi nilainya, yaitu jangkauan radar ( $L$ ) dan perbedaan elevasi antara radar XMP dan ARR ( $\Delta \text{Elv}$ ). Sebanyak 138 data dari 4 kejadian hujan telah dipilih untuk dianalisis (Tabel 1). Data hujan radar dengan periode 10-menitan akan dibandingkan dengan data dari enam stasiun ARR yang berada dalam ruang jangkauan radar, yaitu stasiun Pucanganom, Jarakah, Ketep, Plosokerep, BO/CO (UGM-Lembah) dan BO/CO (UGM-Sipil). Jaringan stasiun pengukur hujan disajikan pada Gambar 1. Data hujan radar periode 10 menit diperoleh dengan cara merata-ratakan data hujan durasi 2-menitan dari sejumlah pixel selama periode 10 menit, dalam hal telah dipilih luasan 1 pixel dan 5x5 pixel untuk dievaluasi tingkat ketelitiannya. Sketsa skenario perata-rataan hujan radar untuk luasan 5x5 pixel disajikan pada Gambar 2.

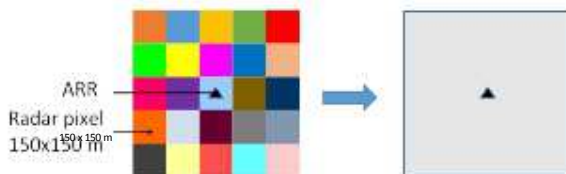
Tabel 1. Data kejadian hujan yang digunakan  
Tanggal Waktu Jumlah Data

|              |               |    |
|--------------|---------------|----|
| 5 Jan. 2017  | 13:20 – 20:50 | 46 |
| 1 Feb. 2017  | 18:50 – 20:00 | 8  |
| 20 Des. 2017 | 12:50 – 21:20 | 52 |
| 26 Des. 2017 | 16:40 – 21:50 | 32 |

Data DEM dengan resolusi 12.5 m yang bersumber dari citra ALOS PALSAR digunakan sebagai dasar evaluasi pengaruh beda elevasi antara stasiun ARR terhadap stasiun radar.



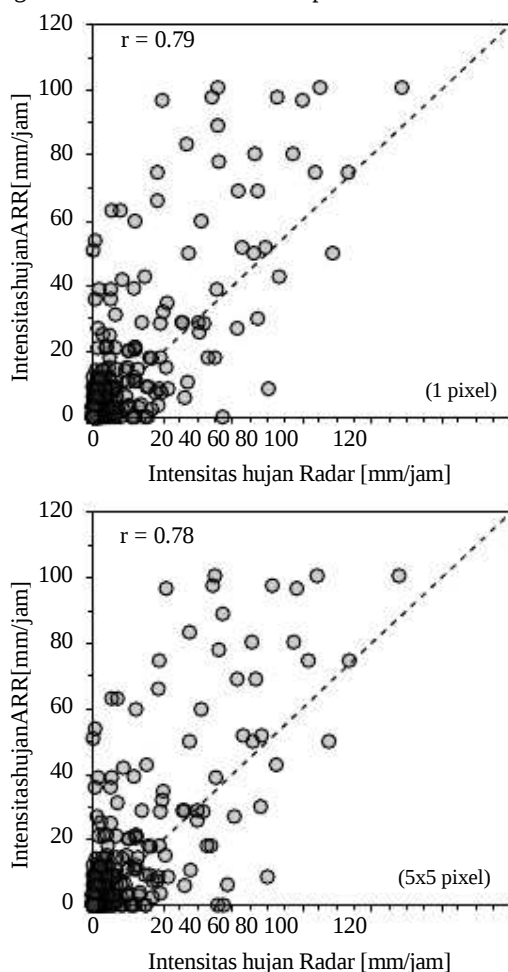
Gambar 1. Jaringan stasiun monitoring hujan pada wilayah studi



Gambar 2. Skenario perata-rataan nilai intensitas hujan radar (Hambali dkk., 2018)

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Secara umum, nilai intensitas hujan radar XMP memiliki nilai lebih kecil dibanding hujan dari ARR. Hal ini ditunjukkan dari sebaran nilai yang cenderung berada diatas garis  $45^\circ$  (Gambar 3), meskipun terdapat beberapa data yang menunjukkan nilai hujannya lebih besar. Perkiraan nilai hujan radar lebih kecil dari hujan permukaan dapat disebabkan oleh penetapan konstanta transformasi reflektivitas radar menjadi intensitas hujan yang kurang tepat atau karena faktor iklim, seperti angin kelembaban udara dan temperatur udara.



Gambar 3. Hubungan antara intensitas hujan radar dan hujan permukaan kasus terpilih

Gambar 3 juga menunjukkan tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara korelasi nilai intensitas hujan permukaan (ARR) dengan hujan radar yang diambil dari luasan 1 pixel dan hujan radar yang dirata-rata dari luasan 5x5 pixel, dimana masing-masing ditunjukkan dengan nilai koefisien korelasi  $r = 0.79$  dan  $r = 0.78$ . Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa distribusi intensitas hujan pada luasan  $750 \times 750 \text{ m}^2$  adalah seragam/merata.

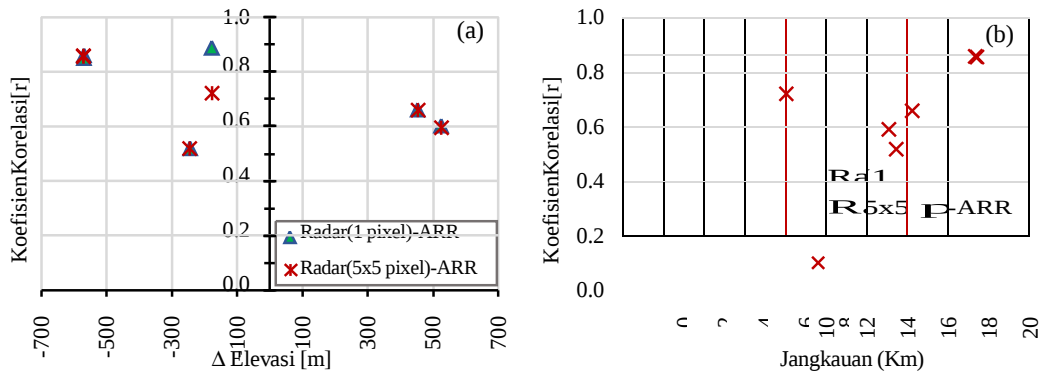
Tabel 2 menyajikan rekapitulasi hasil evaluasi hujan radar terhadap hujan permukaan pada tiap-tiap stasiun ARR. Koefisien korelasi untuk setiap stasiun menunjukkan nilai moderat hingga tinggi dengan rata-rata 0.73 untuk perbandingan luasan 1 pixel dan 0.70 untuk perbandingan 5x5 pixel. Untuk hujan radar 1 pixel, nilai  $r$  terbesar terdapat pada lokasi stasiun Plosokerep dan yang terendah terdapat pada lokasi stasiun Pucanganom. Untuk nilai hujan radar 5x5 pixel pada stasiun Plosokerep menunjukkan nilai  $r$  yang lebih rendah, yaitu 0.72. Hal ini dapat saja disebabkan oleh hujan yang terjadi di sekitar lokasi stasiun Pucanganom memiliki distribusi spasial yang sempit, sehingga perbedaan nilai antara 1 pixel dengan pixel yang lain dalam 25 pixel tinjauan cukup signifikan. Secara umum, tidak terdapat hubungan yang jelas antara nilai koefisien korelasi dengan jangkauan radar maupun dengan perbedaan elevasi (Gambar 4).

Log (G/R) yang ditunjukkan oleh tiap-tiap stasiun cukup baik dengan nilai rata-rata 0.22 (1 pixel) dan 0.20 (5x5 pixel), yang mengindikasikan terdapat selisih yang kecil antara total kedalaman hujan yang diperkirakan oleh radar maupun hasil pengukuran ARR. Nilai Log (G/R) terbaik ditunjukkan pada lokasi stasiun Plosokerep, dimana nilai hujan radarnya dihitung dari perata-rataan 5x5 pixel. Dilihat dari hubungannya dengan  $\Delta$  Elevasi (Gambar 5a), terdapat indikasi bahwa semakin kecil selisih elevasi antara radar dan ARR, maka semakin kecil nilai Log (G/R), meskipun pola yang ditunjukkan belum begitu tegas. Pengaruh selisih elevasi antara radar dan ARR juga tidak terlihat adanya pola yang jelas.

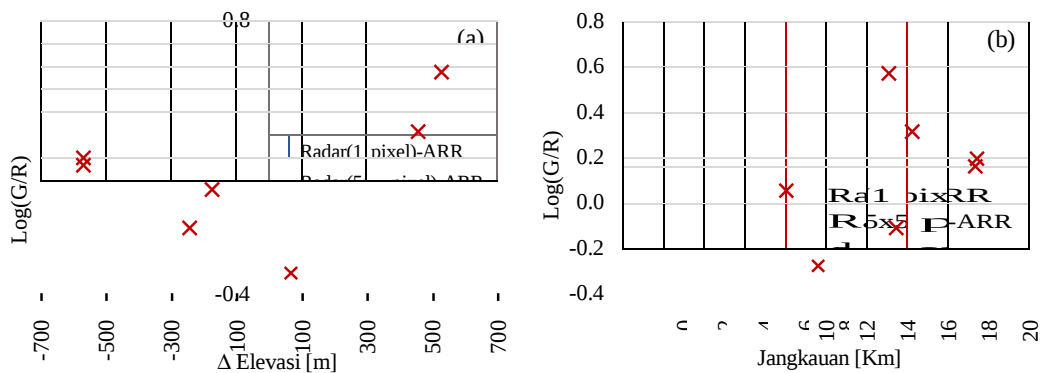
Hasil evaluasi parameter RMSE memberikan gambaran yang lebih jelas tentang kesalahan perkiraan hujan radar terhadap hujan permukaan serta hubungannya dengan pengaruh selisih elevasi maupun jangkauan. Rata-rata nilai RMSE hujan radar 1 pixel sebesar 1.50, lebih kecil dibanding nilai RMSE hujan radar 5x5 pixel. Nilai RMSE tiap-tiap stasiun menunjukkan bahwa kesalahan perkiraan hujan radar semakin kecil dengan semakin kecilnya  $\Delta$  Elevasi (Gambar 6a). Hal yang serupa juga ditunjukkan oleh hubungan antara nilai RMSE dan jangkauan radar terhadap ARR, dimana nilai RMSE semakin besar dengan bertambahnya jangkauan radar terhadap lokasi. Berdasarkan hasil perbandingan untuk data hujan 5x5 pixel dapat ditunjukkan bahwa nilai Log (G/R) dan RMSE yang terbaik adalah pada posisi ARR terdekat dengan radar dan perbedaan elevasi terendah.

Tabel 2. Rekapitulasi nilai parameter evaluasi

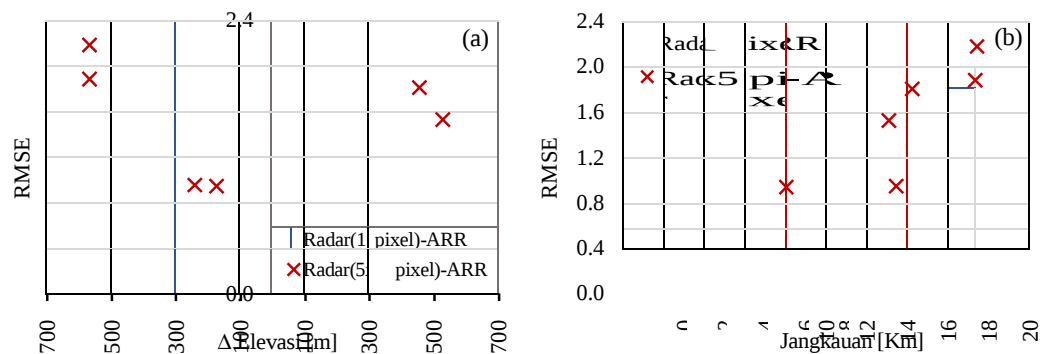
| ID | Stasiun            | L<br>(Km) | $\Delta$ Elv<br>(m) | Radar (1 pixel) - ARR |           |      | Radar (5x5 pixel) - ARR |           |      |
|----|--------------------|-----------|---------------------|-----------------------|-----------|------|-------------------------|-----------|------|
|    |                    |           |                     | r                     | Log (G/R) | RMSE | r                       | Log (G/R) | RMSE |
| 1  | Pucanganom         | 13.43     | -244                | 0.52                  | -0.12     | 0.96 | 0.52                    | -0.11     | 0.95 |
| 2  | Jrakah             | 13.04     | 526                 | 0.60                  | 0.56      | 1.52 | 0.59                    | 0.57      | 1.53 |
| 3  | Ketep              | 14.23     | 454                 | 0.66                  | 0.31      | 1.81 | 0.66                    | 0.31      | 1.81 |
| 4  | Plosokerep         | 8.02      | -176                | 0.89                  | 0.19      | 0.63 | 0.72                    | 0.06      | 0.94 |
| 5  | BO/CO (UGM-Lembah) | 17.33     | -569                | 0.86                  | 0.16      | 1.88 | 0.86                    | 0.16      | 1.88 |
| 6  | BO/CO (UGM-Sipil)  | 17.41     | -569                | 0.85                  | 0.19      | 2.19 | 0.86                    | 0.20      | 2.18 |



Gambar 4. (a) Hubungan antara koefisien korelasi dan  $\Delta$  Elevasi (b) hubungan antara koefisien korelasi dan jangkauan radar



Gambar 5. (a) Hubungan antara Log (G/R) dan  $\Delta$  Elevasi (b) hubungan antara Log (G/R) dan jangkauan radar



Gambar 6. (a) Hubungan antara RMSE dan  $\Delta$  Elevasi (b) hubungan antara RMSE dan jangkauan

Merapi telah dilakukan, meskipun dengan data yang masih belum cukup banyak, baik jumlah ARR maupun kejadian hujan. Secara umum dapat disimpulkan

## KESIMPULAN

Penelitian tentang perkiraan hujan radar dengan acuan hujan permukaan di wilayah lereng Gunung

bahwa penggunaan tiga indikator ( $r$ , Log ( $G/R$ ) dan RMSE) untuk mengevaluasi akurasi perkiraan hujan radar dengan 6 acuan ARR tidak/belum menunjukkan perbedaan yang signifikan antara hujan radar 1 pixel dan 5x5 pixel. Meskipun pola korelasi hujan radar dan hujan permukaan yang spesifik berdasarkan variasi elevasi dan jangkauan belum dapat ditemukan, namun hasil penelitian ini menunjukkan bahwa intensitas hujan permukaan lebih besar dari intensitas hujan radar yang mengindikasikan perlunya penelitian lanjutan tentang konstanta perkiraan hujan radar dengan memperhitungkan faktor elevasi dan jangkauan terhadap posisi radar menggunakan data yang lebih banyak, baik hujan permukaan (ARR) maupun jumlah kejadian hujan. Penelitian lanjutan lain yang menarik untuk dilakukan adalah pengaruh faktor durasi hujan dan karakteristik distribusi spasial hujan untuk kondisi hujan ekstrim, yaitu hujan dengan intensitas yang melebihi suatu nilai tertentu yang dapat digunakan sebagai dasar untuk menentukan potensi terjadinya banjir lahar.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Tim peneliti menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih kepada Direktorat Riset dan Pengabdian Masyarakat, Direktorat Jenderal Riset dan Pengembangan, Kementerian Riset, Teknologi dan Pendidikan Tinggi, melalui Direktorat Penelitian Universitas Gadjah Mada yang telah menyediakan dana untuk pelaksanaan penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Balai Sabo Puslitbang Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat atas bantuan data hujan di beberapa ARR yang digunakan dalam penelitian ini. Tim peneliti juga mengucapkan terima kasih kepada Yusuf Aji Pamungkas, S.T. dan Arif Sudihatmono, S.Si. yang dengan tekun membantu proses pengumpulan dan pengolahan data radar XMP dengan berbagai hambatan dan kesulitan yang dijumpai.

#### REFERENSI

- Allegretti, M., Bertoldo, S., Prato, A., Lucianaz, C., Rorato, O., Notarpietro, R. and Gabella, M., 2012. X-Band Mini Radar for Observing dan Monitoring Rainfall Events. *Atmospheric and Climate Sciences*, [online] 02(03), pp.290–297. Available at: <<http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/acs.2012.23026>>.
- Burcea, S., Cheval, S., Dumitrescu, A., Antonescu, B., Bell, A. and Breza, T., 2012. Comparison between radar estimations and rain gauge precipitations in the Moldavian Plateau (Romania). *Environmental Engineering and Management Journal*, 11(4), pp.723–731.
- Hambali, R., Mawanda, H.G., Jayadi, R. dan Legono, D., 2016. Teknik Evaluasi Perkiraan Hujan Radar Terhadap Pengukuran Hujan Permukaan (Ground Rainfall). *Prosiding: Pertemuan Ilmiah Tahunan XXXIII dan Kongres XII HATHI*. Semarang, Indonesia, pp.1–8.
- Hambali, R., Mawandha, H.G., Legono, D., Jayadi, R. and Oishi, S., 2018. Rain Behaviour at Mt . Merapi Area as Observed by XMPR and ARR. *Applied Mechanics and Materials*, 881, pp.34–41.
- Hong, Y. and Gourley, J.J., 2015. *Radar Hydrology: Principles, Models, And Applications*. Book. Boca Raton: CRC Press.
- Maki, M., Maruyama, K., Iwanami, K., Misumi, R. and Maesaka, T., 2006. Comparison of X-band Multi-Parameter Radar Rainfall Estimates With Conventional Radar Rainfall Estimates Adjusted With Raingauge Network Data. In: *Erad*.
- Sebastianelli, S., Russo, F., Napolitano, F. and Baldini, L., 2013. On precipitation measurements collected by a weather radar and a rain gauge network. *Natural Hazards and Earth System Science*, 13(3), pp.605–623.
- Yoon, S.-S. and Bae, D.-H., 2012. Optimal Rainfall Estimation by Considering Elevation in the Han River Basin, South Korea. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 52(1979), pp.802–818.