

EVALUASI DATA HUJAN SATELIT UNTUK PREDIKSI DATA HUJAN PENGAMATAN MENGGUNAKAN *CROSS CORRELATION*

Destiana Wahyu Pratiwi^{1*}, Joko Sujono¹, Adam Pamudji Rahardjo¹

¹ Teknik Sipil, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada

Jl. Grafika No. 2 Kampus UGM, Yogyakarta, Indonesia 55281

*E-mail: destiana.wahyu.pratiwi@mail.ugm.ac.id

ABSTRAK

Setiap analisis hidrologi membutuhkan data hujan. Permasalahannya, pada beberapa daerah tidak tersedia data hujan yang mencukupi untuk kebutuhan analisis, baik data hujan harian dengan periode panjang ataupun data hujan jam-jaman dengan periode tertentu. Penginderaan jarak jauh dengan satelit mampu mengatasi permasalahan ketersediaan data hujan tersebut. Data hujan pengamatan berupa besarnya hujan titik yang terjadi di lapangan, sedangkan data hujan satelit TRMM 3B42, TRMM 3B42RT, GPM dan PERSIANN CCS berupa besarnya hujan di atmosfer dengan resolusi spasial tertentu. Butiran hujan dari atmosfer membutuhkan waktu tertentu untuk jatuh ke bumi. Oleh karena itu, perlu evaluasi apakah data hujan satelit dapat memprediksi data hujan yang terjadi di lapangan. Evaluasi dilakukan dengan mencari *time lag (d)* antara penginderaan hujan oleh satelit dengan hujan yang terjadi di lapangan menggunakan *cross correlation*. Penelitian menunjukkan bahwa, prediksi data hujan pengamatan dapat memperoleh hasil yang baik jika menggunakan satelit TRMM 3B42 ($d=0$) dengan nilai *r*, BIAS, MBE, RMSE dan NRMSE sebesar 0.88, 19.99%, 33.91, 82.94 dan 0.034 untuk periode tahunan; satelit GPM ($d=0$) dengan nilai *r*, BIAS, MBE, RMSE dan NRMSE sebesar 0.92, -1.64%, -2.88, 57.01 dan 0.010 untuk periode bulanan; satelit GPM ($d=+1$) dengan nilai *r*, BIAS, MBE, RMSE dan NRMSE sebesar 0.66, 0.66%, 0.04, 9.38 dan 0.034 untuk periode harian.

Kata kunci: data hujan pengamatan, data hujan satelit, *cross correlation*

ABSTRACT

Rain data are required by most hydrological analyzes. The problem was, in some areas no available rainfall data were sufficient for data requirements, either daily long-term rainfall data or hourly rain data for a certain period. Remote sensing with satellites was capable of solving data problems. The observed rainfall data showed the amount of rain point that occurs in the field, while TRMM 3B42, TRMM 3B42RT, GPM and PERSIANN CCS satellite rainfall data estimated the amount of rain in the atmosphere with a certain spatial resolution. The rain granules from the atmosphere taken a certain time to fall to earth. Thus, it is necessary to evaluate whether satellite rain data can predict rainfall data in the field. Evaluation is done by finding time lag (d) between satellite rainfall data with observed rainfall data that happened in the field using cross correlation. Research shows that, rainfall prediction data can obtain good results if using TRMM 3B42 ($d = 0$) with *r*, BIAS, MBE, RMSE and NRMSE values of 0.88, 19.99%, 33.91, 82.94 and 0.034 for annual period; GPM ($d = 0$) with *r* values, BIAS, MBE, RMSE and NRMSE of 0.92, -1.64%, -2.88, 57.01 and 0.010 for monthly periods; GPM ($d = +1$) with *r* values, BIAS, MBE, RMSE and NRMSE of 0.66, 0.66%, 0.04, 9.38 and 0.034 for daily periods.

Keywords : observed rainfall data, satellite rainfall data, cross correlation

PENDAHULUAN

Data hujan merupakan data pokok yang menjadi awal masukan dalam analisis hidrologi. Data hujan yang biasanya dipakai untuk analisis hidrologi adalah data hujan yang diperoleh dari pengamatan langsung di lapangan melalui stasiun-stasiun hujan yang dikelola oleh instansi tertentu. Data hujan biasanya bersumber dari penakar hujan tipe manual dan penakar hujan otomatis atau sering disebut *Automatic Rainfall Recorder (ARR)*. Data

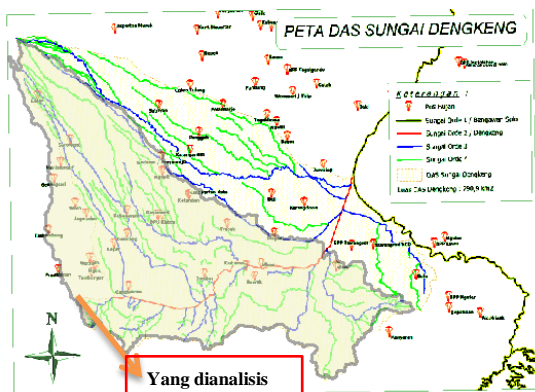
hujan penakar tipe manual hanya dapat menyediakan data hujan harian sedangkan ARR dapat menyediakan data hujan jam-jaman.

Pada beberapa analisis hidrologi membutuhkan data hujan harian yang lengkap dengan periode yang panjang misalnya untuk analisis debit banjir rencana menggunakan hujan harian rencana. Namun, pada analisis yang lain membutuhkan data hujan jam-jaman pada periode tertentu, misalnya untuk analisis prediksi banjir.

Permasalahannya, pada beberapa daerah terkadang tidak tersedia alat untuk mengukur data hujan tersebut. Penginderaan jarak jauh dengan satelit mampu mengatasi permasalahan ketersediaan data hujan ini. Namun, perlu evaluasi apakah data hujan satelit dapat mewakili data hujan yang terjadi di lapangan. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan evaluasi data hujan satelit TRMM 3B42, TRMM 3B42RT, GPM, PERSIANN CCS dan CMORPH terhadap data hujan pengamatan di DAS Dengkeng Kabupaten Klaten. Adapun lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.

Evaluasi perlu dilakukan karena satelit mengukur besarnya hujan yang terjadi di atmosfer, sedangkan data hujan pengamatan dari stasiun hujan adalah data hujan yang terjadi di lapangan atau bumi. Butiran hujan dari atmosfer membutuhkan waktu tertentu untuk jatuh ke bumi. Menurut Marzuki, dkk (2013), kecepatan hujan jatuh ke bumi sebesar 0.5 – 9 m/s. Menurut Akhmad Fadholi, dkk (2014), awan yang menimbulkan hujan lebat adalah awan *cumulonimbus*. Menurut Putu PW dan Nurhastuti AR (2016), awan *cumulonimbus* merupakan awan yang menjulang tinggi (awan konvektif) dengan dasar yang gelap dengan tinggi tidak lebih dari 600 m di atas permukaan bumi dan puncak yang mencapai ketinggian 12.000 m.

Evaluasi dilakukan dengan mencari *time lag* antara penginderaan hujan oleh satelit dengan hujan yang terjadi di lapangan, sedemikian hingga data hujan satelit mampu menghasilkan prediksi data hujan pengamatan yang baik menggunakan *cross correlation*. Keakuratan prediksi data hujan pengamatan ditentukan dengan nilai *correlation coefficient* (r), *bias* (BIAS), *the mean bias error* (MBE), *root mean square error* (RMSE) dan *normalized root-mean-square error* (NRMSE).



Gambar 1. Peta DAS Sungai Dengkeng
(Sumber : Balai PSDA Bengawan Solo)

TINJAUAN PUSTAKA

Fengge Su pada penelitian yang berjudul “*Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and Its Utility in Hydrologic Prediction in the La Plata Basin*” tahun 2007, menunjukkan korelasi data hujan TRMM terhadap data pengamatan hujan harian rata-rata berkisar 0.56 s/d 0.89; korelasi data hujan TRMM terhadap data pengamatan hujan harian rata-rata berkisar 0.90 s/d 0.99 untuk masing-masing sub DAS di La Plata Basin.

A.Rahman As-syakur dalam penelitiannya yang berjudul “*Status Of The TRMM Level 3 In Indonesia*” tahun 2011, didapatkan kesimpulan TRMM L3 memberikan data hujan yang underestimates terhadap hujan pengamatan. Data TRMM 3B42 menghasilkan perkiraan hujan yang baik untuk hujan rata-rata spasial.

R. R. E. Vernimmen dalam penelitiannya yang berjudul “*Evaluation and bias correction of satellite rainfall data for drought monitoring in Indonesia*” pada tahun 2012, mengevaluasi dan mengoreksi tiga jenis data satelit yaitu TMPA 3B42RT, CMORPH and PERSIANN dengan luas grid yang sama ($0,25^\circ$) guna keperluan pemantauan didapatkan kesimpulan data hujan TRMM menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan data hujan CMORPH dan PERSIANN untuk wilayah Indonesia. Koreksi data satelit diperlukan karena dapat menambah nilai korelasi dengan data hujan pengamatan. Korelasi sebelum koreksi 0.76 sedangkan korelasi setelah koreksi sebesar 0.93.

LANDASAN TEORI Hujan

Menurut Bambang Triatmodjo, (2015), presipitasi adalah turunnya air dari atmosfer ke permukaan bumi yang bisa berupa hujan, hujan salju, kabut, embun, dan hujan es. Di daerah tropis, termasuk Indonesia, yang memberikan sumbangan paling besar adalah hujan, sehingga seringkali hujanlah yang dianggap presipitasi. Diantara jenis presipitasi, hujan adalah yang paling biasa diukur. Intensitas hujan adalah jumlah curah hujan dalam suatu satuan waktu.

Data Hujan Pengamatan

Hujan di suatu daerah hanya dapat diukur di beberapa titik yang ditetapkan dengan alat pengukur hujan. Hujan yang terukur oleh alat tersebut mewakili suatu luasan daerah di sekitarnya. Hujan terukur dinyatakan dengan kedalaman hujan yang jatuh pada suatu interval tertentu (Chay Asdak, 1995; Bambang Triatmodjo, 2015).

Dengan melakukan penakararan atau pencatatan hujan dari stasiun hujan, hanya mendapat curah hujan di suatu titik tertentu (point rainfall). Jika di dalam suatu areal terdapat beberapa alat penakar atau pencatat curah hujan, maka dapat diambil nilai rata-rata untuk mendapatkan nilai hujan areal (C. D. Soemarto, 1999; Suripin, 2004; Bambang Triatmodjo, 2015; Chay Asdak, 1995).

Data Hujan Satelit

Perkiraan curah hujan dengan data satelit menawarkan keuntungan penting dalam hal akurasi, cakupan spasial, ketepatan waktu dan efisiensi biaya. Stasiun hujan manual jarang mencapai cakupan yang dibutuhkan untuk analisis akurat pola curah hujan, terutama terhadap variabilitas spasial di Indonesia yang memiliki ribuan pulau dan pegunungan tinggi. Oleh karena itu akan berguna jika sensor berbasis satelit dapat menghasilkan informasi curah hujan itu tersedia dengan cepat, memiliki akurasi yang memadai. (Vernimmen, 2012)

Data Hujan Satelit TRMM 3B42RT, TRMM 3B42

Menurut Huffman et al., (2007) dalam Vernimmen (2012), pada penginderaan jauh menggunakan satelit TRMM, presipitasi bergantung pada hubungan antara curah hujan dan suhu puncak awan seperti yang diamati oleh instrumen satelit berupa inframerah (IR), atau dari pengaruh tetes hujan dan partikel es pada radiasi gelombang mikro (MW) atau keduanya. Menurut Fengge Su (2007), TRMM menyediakan data *real time product* (2000-03-01 s/d 2017-10-08) dan *post processed product* (1998-01-01 s/d 2017-07-31). Menurut Huffman dkk. (2007), perbedaan antara *real time product* (TRMM 3B42RT) dan *post processed product* (TRMM 3B42) adalah TRMM 3B42RT menggunakan presipitasi TMI sebagai kalibrator dan TRMM 3B42 menggunakan TCI, yang dianggap lebih baik tapi tidak tersedia secara real time. TRMM

memiliki resolusi spasial spasial 0.25° dan resolusi temporal tiga jam.

Data Hujan Satelit GPM

Menurut Mou Leong Tan (2017), TRMM sudah tidak digunakan sejak tanggal 8 April 2015 setelah sekitar 17 tahun beroperasi karena penipisan bahan bakar. Mengingat keberhasilan terkenal dari TRMM, NASA dan JAXA meluncurkan satelit *Global Precipitation Measurement* (GPM) pada awal 2014 untuk mengganti satelit TRMM. GPM memberikan resolusi yang lebih baik, resolusi ruang spasial $0,10^\circ$ dan resolusi temporal 30 menit. Data GPM tersedia pada tanggal 2014-04-01 s/d 2017-02-28.

Data Hujan Satelit PERSIANN

Menurut Hsu et al. (1997) dalam Vernimmen (2012), *Precipitation Estimation from Remotely Sensed Information Using Neural Networks* (PERSIANN) dikembangkan dengan jaringan saraf tiruan untuk memperkirakan tingkat hujan dari data IR, dengan penyesuaian parameter jaringan berdasarkan MW yang diturunkan dan hujan lapangan di tempat yang tersedia

Menurut website CHRS UCI, PERSIANN dikembangkan oleh *Center for Hydrometeorology and Remote Sensing (CHRS) at the University of California, Irvine (UCI)* dengan menggunakan jaringan syaraf tiruan. PERSIANN mampu memperkirakan curah hujan dengan cakupan 60°S sampai 60°LU di seluruh dunia. PERSIANN memiliki tiga produk yang berbeda, yaitu:

1. PERSIANN – memperkirakan hujan dari kecerahan inframerah yang disediakan oleh satelit geostationer. PERSIANN memiliki resolusi spasial $0.25^\circ \times 0.25^\circ$.
2. PERSIANN-CCS – memperkirakan hujan dengan pemisahan beberapa lapisan awan. Pemisahan lapisan awan berdasarkan tekstur, sifat geometris, evolusi dinamis, dan tinggi puncak awan. PERSIANN-CCS resolusi spasial $0.04^\circ \times 0.04^\circ$.
3. PERSIANN-CDR ditujukan untuk memenuhi kebutuhan dataset presipitasi yang konsisten, jangka panjang, resolusi tinggi dan global untuk mempelajari perubahan dan kecenderungan curah hujan harian, terutama kejadian presipitasi ekstrim, karena perubahan iklim dan

variabilitas alami. PERSIANN-CDR memiliki resolusi spasial 0.25° x 0.25°.

50	1.14	1.27	1.52	1.44	1.55	1.78
100	1.17	1.29	1.55	1.5	1.62	1.86
∞	1.22	1.36	1.63	1.62	1.75	2

Uji Kepanggahan Data Hujan

Menurut Sri Harto (2009), kepenggahan data hujan dapat dilakukan dengan metode kurva massa ganda (*double mass curve*) atau dengan *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS). Metode kurva massa ganda menguji konsistensi data hujan stasiun dengan menggunakan acuan stasiun-stasiun hujan sekitarnya. Cara ini mengundang pertanyaan tentang kemungkinan stasiun referensi yang juga tidak panggah. Metode RAPS (Buishand, 1982) lebih dipercaya karena cara ini menguji kepenggahan data hujan stasiun dari data stasiun itu sendiri. Persamaan dalam uji RAPS adalah berikut:

$$S_k^* = 0 \tag{1}$$

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \tag{2}$$

dengan k = 1,2, ..., n

$$S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}), \text{ dengan } k = 1,2, \dots, n$$

$$S_k^{**} = \frac{S_k^*}{Dy} \tag{3}$$

dengan k = 1,2, ..., n

$$Dy^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{n} \tag{4}$$

Nilai statistik Q dan R

$$Q = \max |S_k^{**}| \text{ untuk } 0 \leq k \leq n \tag{5}$$

$$R = \max |S_k^{**}| \text{ min } |S_k^{**}| \text{ untuk } 0 \leq k \leq n \tag{6}$$

dengan :

S_0^* = simpangan awal,

S_k^* = simpangan mutlak,

S_k^{**} = nilai konsistensi data,

n = jumlah data,

Dy = simpangan rata-rata,

Q = nilai statistik Q,

R = nilai statistik (range).

Nilai Q dan R dibandingkan dengan nilai kritik Q dan R menurut Sri Harto (2009) yang ditunjukkan oleh **Tabel 1** berikut.

Tabel 1. Nilai kritik Q dan R

n	Q/√n			R/√n		
	90%	95%	99%	90%	95%	99%
10	1.05	1.14	1.29	1.21	1.28	1.38
20	1.1	1.22	1.42	1.34	1.43	1.6
30	1.12	1.24	1.46	1.4	1.5	1.7
40	1.13	1.26	1.5	1.42	1.53	1.74

Hujan Wilayah dari Data Hujan Lapangan

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk menentukan tinggi curah hujan rata-rata wilayah dari data hujan pengamatan adalah metode poligon Thiessen. Menurut C. D. Soemarto (1999), Suripin (2004), Bambang Triatmodjo (2015) dan Chay Asdak (1995), metode poligon *Thiessen* memperhitungkan bobot dari masing-masing setasiun yang mewakili luasan di sekitarnya. Pada suatu luasan di dalam DAS dianggap bahwa hujan adalah sama dengan yang terjadi di setasiun yang terdekat sehingga hujan yang tercatat pada suatu setasiun mewakili luasan tersebut.

Menurut Suripin (2004), prosedur penerapan metode *Thiessen* meliputi langkah-langkah sebagai berikut :

- Lokasi pos penakar hujan diplot pada peta DAS. Antar pos penakar dibuat garis lurus penghubung.
- Tarik garis tegak lurus di tengah-tengah tiap garis penghubung sedemikian rupa, sehingga membentuk poligon *Thiessen*. Selanjutnya, curah hujan pada pos tersebut dianggap representasi hujan pada kawasan dalam poligon yang bersangkutan.
- Luas areal pada tiap-tiap poligon dapat diukur dan luas total DAS dapat diketahui dengan menjumlahkan semua luasan poligon.

Hujan rata-rata DAS dapat dihitung dengan persamaan :

$$P = \frac{P_1.A_1 + P_2.A_2 + \dots + P_n.A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i.A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \tag{7}$$

dengan :

P_1, P_2, \dots, P_n = curah yang tercatat di pos penakar hujan 1, 2, ..., n (mm),

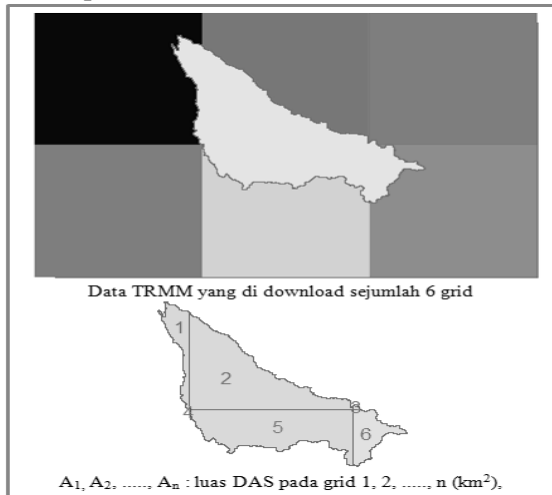
A_1, A_2, \dots, A_n = luar areal poligon 1, 2, ..., n (km²),

n = banyaknya pos penakar hujan.

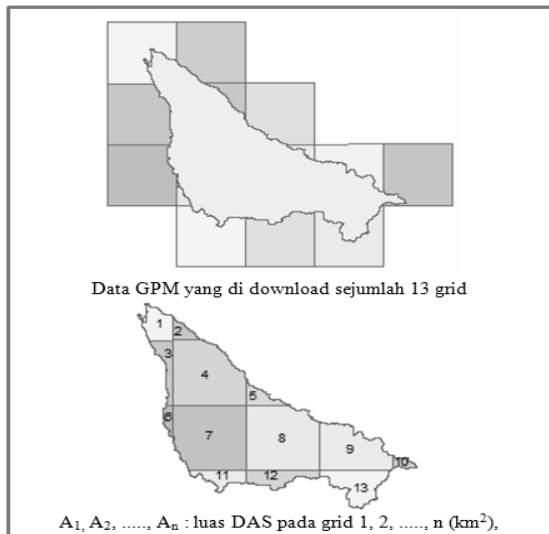
Hujan Wilayah dari Data Hujan Satelit

Hujan yang berasal dari data hujan satelit adalah berupa hujan wilayah yang dibatasi oleh luasan wilayah tertentu sesuai dengan grid data hujan satelit yang dipakai. Data hujan satelit TRMM mempunyai grid seluas 25 km x 25 km, GPM seluas 10 km x 10 km, dan PERSIANN seluas 4.km x 4 km. Adapun gambar DAS

Dengkeng beserta grid data hujan satelit dapat dilihat pada **Gambar 2-Gambar 3**.



Gambar 2. DAS Dengkeng dan 6 Grid Data Satelit TRMM ($0.25^\circ \times 0.25^\circ$)



Gambar 3. DAS Dengkeng dan 13 Grid Data Satelit GPM ($0.10^\circ \times 0.10^\circ$)



Gambar 4. DAS Dengkeng dan 247 Grid Data Satelit PERSIANN ($0.04^\circ \times 0.04^\circ$)

Perhitungan hujan wilayah dari hujan satelit hampir sama dengan metode Polygon

Thiessen. Pada Polygon Thiessen, bobot ditentukan dari perbandingan antara luas areal poligon dengan luas DAS. Pada perhitungan hujan wilayah dari data hujan, bobot ditentukan dari perbandingan antara luas DAS tiap grid data satelit dengan luas DAS. Dengan demikian, hujan wilayah dari data hujan satelit dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$P = \frac{P_1.A_1 + P_2.A_2 + \dots + P_n.A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i.A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (8)$$

dengan :

P_1, P_2, \dots, P_n = curah yang grid 1, 2, ..., n (mm),

A_1, A_2, \dots, A_n = luas DAS pada grid 1, 2, ..., n (km^2),

nilai A pada data hujan satelit TRMM $\leq 25 \times 25 \text{ km}^2$,

nilai A pada data hujan satelit GPM $\leq 10 \times 10 \text{ km}^2$,

nilai A pada data hujan satelit GPM $\leq 4 \times 4 \text{ km}^2$,
n = banyaknya grid.

Cross Correlation

Menurut Erry Koriyanti (2009), *Cross correlation* merupakan metode standar untuk mengestimasi sudut (degree) dari dua buah barisan/ deret data (series) berkorelasi. Untuk dua buah deret $x(i)$ dan $y(i)$ dengan $i = 0, 1, 2, \dots, N - 1$, nilai cross correlation (r) setelah tunda d dinyatakan sebagai:

$$r(d) = \frac{\sum_i (x(i) - mx)(y(i - d) - my)}{\sqrt{\sum_i (x(i) - mx)^2} \sqrt{\sum_i (y(i - d) - my)^2}} \quad (9)$$

dengan mx dan my adalah nilai rerata masing-masing barisan data. Deret $x(i)$ adalah deret data hujan satelit dan deret $y(i)$ adalah deret data hujan pengamatan.

Dengan korelasi tersebut, akan diketahui bahwa antara data hujan satelit dan data hujan pengamatan memiliki korelasi sebesar $r(d)$. Jika d menunjukkan nilai yang positif, maka data satelit dapat digunakan untuk melakukan prediksi data hujan pengamatan.

Keakuratan Data Satelit

Menurut Fengge Su, dkk (2007), keakuratan data satelit yang digunakan untuk menghitung aliran dapat dilihat dari nilai *normalized root-mean-square error* (Nrmse), *correlation coefficient* (R^2), dan *bias* (BIAS).

$$Nrmse = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_{si} - P_{gi})^2}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{gi}} \quad (10)$$

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (P_{si} - P_{gi})}{\sum_{i=1}^n P_{gi}} \times 100\% \quad (11)$$

dimana :

P_s = data hujan satelit (mm),

P_g = data hujan observasi (mm),

Q_s = debit simulasi (m³/dt),

Q_o = debit pengamatan (m³/dt),

\bar{Q}_o = debit pengamatan rata-rata (m³/dt),

n = jumlah hari atau bulan dalam analisis.

Menurut Feidas (2010) dalam Rakhmat Prasetya (2012), nilai statistik yang menunjukkan hubungan data hujan TRMM dan data hujan observasi adalah *linear correlation coefficient* (r), the mean bias error (MBE), and *root mean square error* (RMSE) yang dihitung dengan rumus berikut:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})(G_i - \bar{G})}{(n-1)\sigma_s\sigma_G} \quad (12)$$

$$MBE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - G_i) \quad (13)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (S_i - Bias - G_i)^2} \quad (14)$$

dimana :

S_i = data hujan satelit data ke i (mm),

G_i = data hujan observasi satelit data ke i (mm),

σ_s = standar deviasi data hujan satelit data ke i (mm),

σ_G = standar deviasi data hujan observasi satelit data ke i (mm),

n = jumlah data.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan evaluasi data hujan satelit TRMM 3B42, TRMM 3B42RT, GPM dan PERSIANN CCS untuk prediksi data hujan pengamatan menggunakan *Cross Correlation* di DAS Dengkeng. Metode penelitian ini adalah metode deskriptif kuantitatif dan secara garis besar dibagi menjadi 3 tahapan pelaksanaan sebagai berikut : pengumpulan data, pengolahan data, kesimpulan dan saran.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data berupa data peta, data hujan pengamatan dan data hujan satelit. Peta DAS Dengkeng yang diperoleh dari Balai Pengelolaan Sumber Daya Air Bengawan Solo

dan pengamatan satelit NASA (<https://asterweb.jpl.nasa.gov/gdem.asp>). Data hujan pengamatan menggunakan data hujan harian pengamatan pos hujan di kabupaten Klaten dan Sukoharjo yang diperoleh dari Balai Pengelolaan Sumber Daya Air Bengawan Solo. Data hujan satelit TRMM dan GPM yang diperoleh dari NASA (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/giovanni>). Data hujan satelit PERSIANN yang diperoleh dari web University of California, Irvine (UCI) (<http://chrdata.eng.uci.edu/>).

Pengolahan Data Peta

Analisis Peta DAS Dengkeng menggunakan bantuan *Global Mapper* untuk menentukan batas DAS dan menggunakan *ArcMap* untuk plotting stasiun hujan pengamatan dan pembuatan Poligon *Thiessen*. Dalam pembuatan Poligon *Thiessen*, stasiun yang terdapat data hujan hilang diabaikan, sehingga untuk dalam penelitian ini didapatkan Poligon *Thiessen* yang berbeda-beda. Contoh hasil poligon Thiessen dapat dilihat pada **Gambar 5** berikut.



Gambar 5 Contoh Polygon Thiessen DAS Dengkeng

Pengolahan data peta menggunakan ArcMap juga digunakan untuk plotting grid data hujan satelit dan menentukan luas DAS pada grid data hujan satelit tersebut.

Pengolahan Data Hujan Pengamatan

Data hujan pengamatan berupa data hujan titik, sedangkan data hujan satelit. Untuk melakukan evaluasi data hujan satelit untuk prediksi data hujan pengamatan harus menggunakan data hujan yang sejenis, yaitu data hujan wilayah. Evaluasi tidak dapat dilakukan dengan membandingkan data hujan titik dengan data hujan area karena hujan

memiliki variabilitas ruang yang berbeda-beda. Pengolahan data hujan pengamatan dilakukan menggunakan batuan MS.Excel untuk mendapatkan hujan wilayah dengan langkah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan data hujan masing-masing stasiun.
2. Mencari data hujan tiap tahunnya.
3. Melakukan uji konsistensi data hujan
4. Mencari curah hujan wilayah dengan persamaan 7.

Pengolahan Data Hujan Satelit

Pengolahan data hujan pengamatan dilakukan menggunakan batuan MS.Excel untuk mendapatkan hujan wilayah dengan langkah sebagai berikut :

1. Mempersiapkan data hujan masing-masing stasiun.
2. Mencari curah hujan wilayah dengan persamaan 8.
3. Menguji keakuratan data satelit.
4. Melakukan evaluasi data satelit dengan *cross correlaton*.
5. Menguji keakuratan data satelit hasil evaluasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

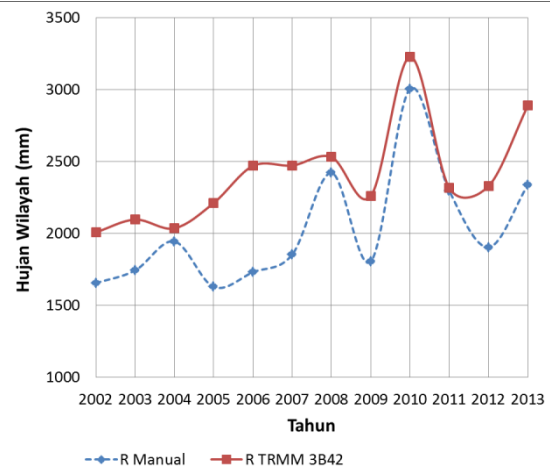
Data hujan satelit yang dievaluasi terhadap data hujan pengamatan adalah data hujan TRMM pada tanggal 1 Januari 2002 s/d 11 Maret 2014; data hujan GPM pada tanggal 12 Maret 2014 s/d 31 Desember 2016; data hujan PERSIANN pada 3 tanggal sebelum dan sesudah tanggal terjadinya hujan maksimum tahunan pada data hujan pengamatan, adapun data PERSIANN yang digunakan untuk evaluasi ditunjukkan pada **Tabel 2**. Perbandingan data hujan satelit dengan data hujan pengamatan dapat dilihat dari **Gambar 6** s/d **Gambar 15**. Data hasil evaluasi data hujan satelit untuk prediksi data hujan pengamatan menggunakan *cross correlation* ditunjukkan pada

Tabel 3.

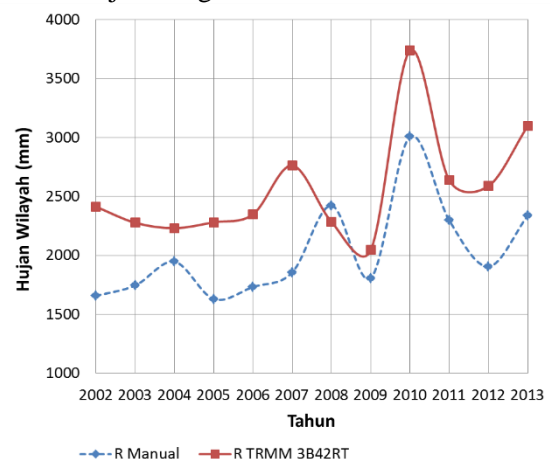
Tabel 3Keakuratan prediksi data hujan pengamatan menggunakan data hujan satelit sebelum dan sesudah evaluasi ditunjukkan pada **Tabel 4**.

Tabel 2. Data PERSIANN yang Digunakan untuk Evaluasi

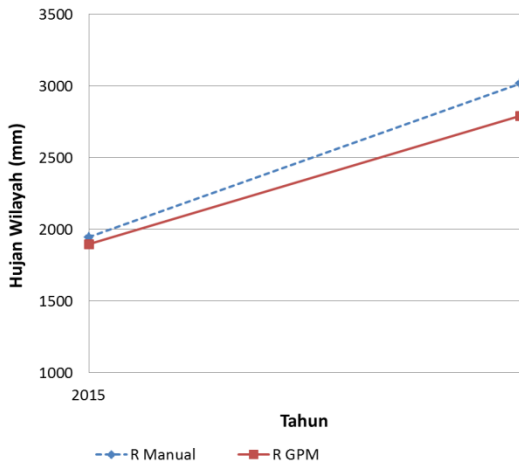
Th	Rmaks manual (mm)	R PERSIANN (mm)						
		H+3	H+2	H+1	H	H-1	H-2	H-3
2003	68.6	28.8	37.3	62.4	95.5	40.3	1.6	2.1
2004	95.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2005	40.3	23.7	19.7	18.8	72.5	76.8	9.6	6.9
2006	57.9	12.2	15.0	13.0	54.4	142.0	53.1	40.1
2007	66.3	0.6	36.8	22.1	12.7	114.8	40.3	0.9
2008	74.1	22.6	0.9	6.2	1.5	54.3	3.4	41.2
2009	80.6	13.2	11.4	18.9	2.3	31.4	31.1	12.0
2010	90.0	40.7	0.7	18.3	18.6	7.3	18.2	12.1
2011	80.3	17.1	26.8	44.1	52.8	82.9	28.9	35.2
2012	85.9	10.6	10.8	1.2	0.8	85.3	28.8	0.0
2013	63.7	0.8	4.7	9.3	44.5	93.2	54.3	1.9
2014	69.6	0.3	7.9	0.6	0.0	30.0	9.5	0.3
2015	62.3	61.9	7.6	2.2	1.6	49.6	1.6	2.2
2016	92.1	42.9	14.0	31.4	25.4	67.4	38.7	18.8



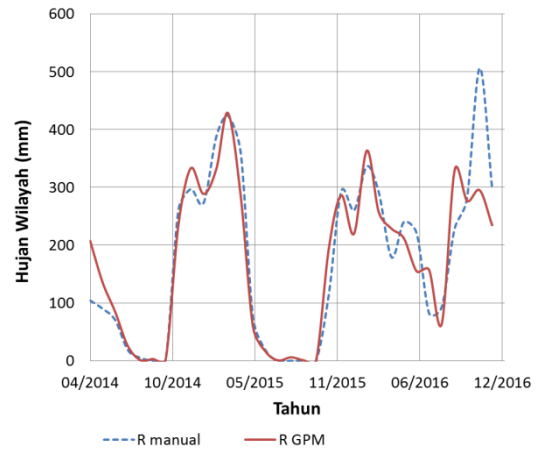
Gambar 6. Perbandingan Hujan Wilayah Tahunan menggunakan Data TRMM 3B42 dan Data Hujan Pengamatan tahun 2002 s/d 2013



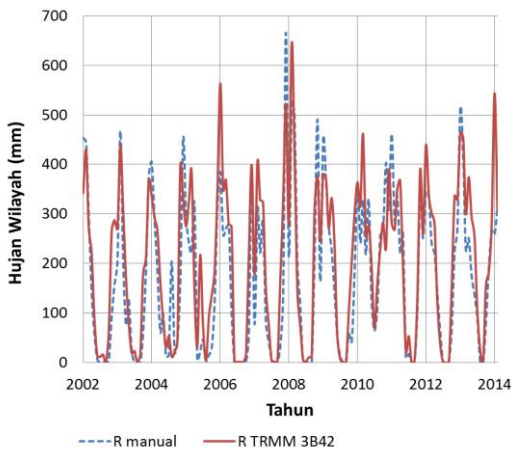
Gambar 7. Perbandingan Hujan Wilayah Tahunan menggunakan Data TRMM 3B42 dan Data Hujan Pengamatan tahun 2002 s/d 2013



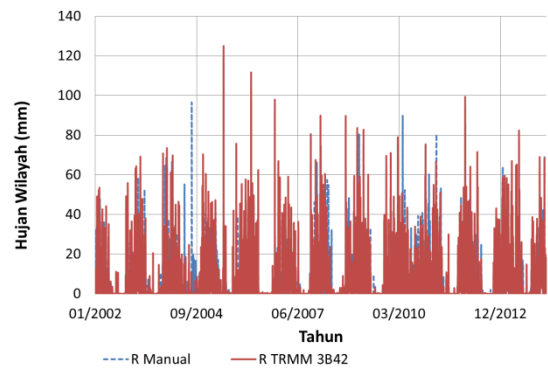
Gambar 8. Perbandingan Hujan Wilayah Tahunan menggunakan Data GPM dan Data Hujan Pengamatan tahun 2015 s/d 2016



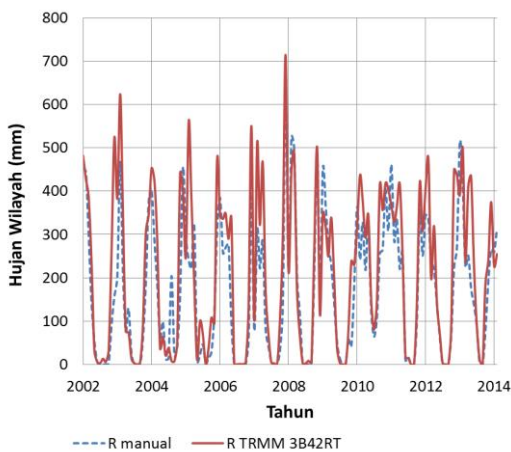
Gambar 11. Perbandingan Hujan Wilayah Bulanan menggunakan Data GPM dan Data Hujan Pengamatan April 2014 s/d Desember 2016



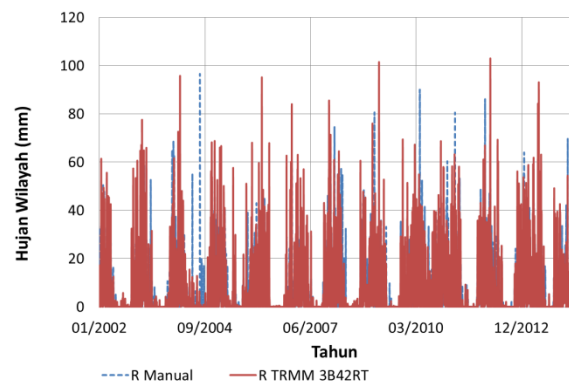
Gambar 9. Perbandingan Hujan Wilayah Bulanan menggunakan Data TRMM 3B42 dan Data Hujan Pengamatan Jan 2002 s/d Feb 2014



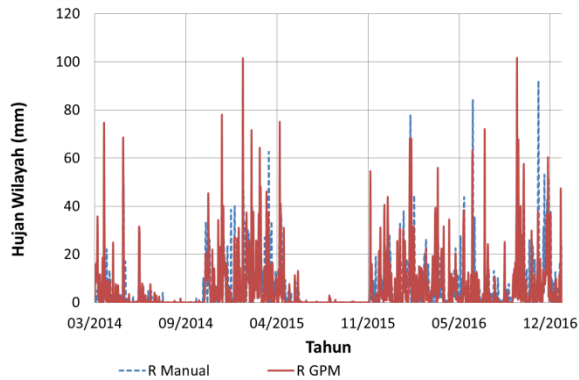
Gambar 12. Perbandingan Hujan Wilayah Harian menggunakan Data TRMM 3B42 dan Data Hujan Observasi 1 Jan 2002 s/d 11 Mar 2014



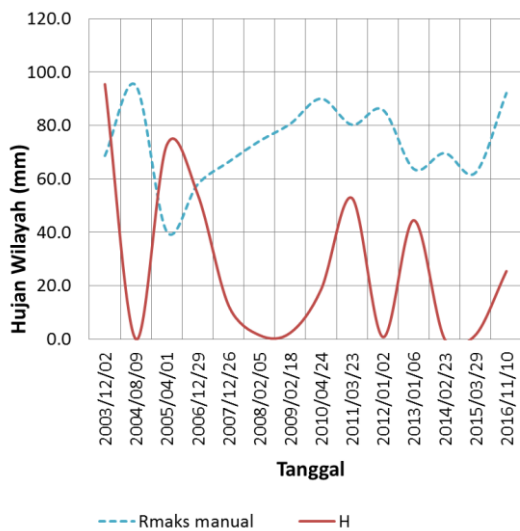
Gambar 10. Perbandingan Hujan Wilayah Bulanan menggunakan Data TRMM 3B42RT dan Data Hujan Pengamatan Jan 2002 s/d Feb 2014



Gambar 13. Perbandingan Hujan Wilayah Harian menggunakan Data TRMM 3B42RT dan Data Hujan Observasi 1 Jan 2002 s/d 11 Mar 2014



Gambar 14. Perbandingan Hujan Wilayah Harian menggunakan Data GPM dan Data Hujan Observasi 12 Mar 2014 s/d 31/12/2016



Gambar 15. Perbandingan Hujan Wilayah Harian Maksimum Tahunan Data Hujan Observasi dengan Data PERSIANN pada Hari yang Sama

Dari **Gambar 6** s/d **Gambar 8** menunjukkan bahwa data hujan tahunan TRMM 3B42 dan TRMM 3B42RT memiliki *trend* yang hampir sama dengan data hujan pengamatan dan menunjukkan data perkiraan yang cenderung *overestimates* terhadap data pengamatan. Sedangkan, data hujan tahunan GPM memberikan *trend* yang sama terhadap data pengamatan dengan perkiraan yang cenderung *underestimates*. Dari **Gambar 9** s/d **Gambar 14** menunjukkan bahwa untuk perkiraan data hujan bulanan dan harian, data satelit TRMM dan GPM memberikan perkiraan yang terkadang *overestimates*, terkadang *underestimates*. Dari **Gambar 15** menunjukkan bahwa hubungan antara data hujan pengamatan

dan data hujan satelit PERSIANN *trend* yang berbeda dan selisih yang cukup jauh.

Tabel 3. Hasil Evaluasi Data Hujan Satelit untuk Prediksi Data Hujan Pengamatan Menggunakan *Cross Correlation*

Data yang dievaluasi	Cross Correlation dengan time lag						
	-3	-2	-1	0	1	2	3
TRMM 3B42							
tahunan	0.32	0.46	-0.16	0.82	0.34	0.22	0.50
bulanan	0.02	0.36	0.57	0.88	0.71	0.39	0.06
harian	0.18	0.21	0.26	0.36	0.58	0.30	0.26
TRMM 3B42-RT							
tahunan	0.43	0.52	-0.09	0.75	0.21	-0.19	0.43
bulanan	0.01	0.29	0.52	0.88	0.62	0.41	0.05
harian	0.20	0.24	0.29	0.39	0.61	0.33	0.29
GPM							
bulanan	0.01	0.32	0.66	0.92	0.76	0.46	0.08
harian	0.18	0.16	0.18	0.36	0.66	0.28	0.17
PERSIANN	0.01	-0.33	-0.01	-0.49	-0.50	-0.05	0.00

Tabel 4 Keakuratan Prediksi Data Hujan Pengamatan Menggunakan Data Hujan Satelit sebelum dan sesudah Evaluasi

Data yang dievaluasi	Nilai Statistik				
	r	BIAS	MBE	RMSE	NRMSE
TRMM 3B42					
tahunan	0.82	15.22%	389.57	444.59	0.010
bulanan	0.88	19.99%	33.91	82.94	0.034
harian	0.36	20.31%	1.13	12.84	0.191
TRMM 3B42-RT					
tahunan	0.75	15.22%	542.96	617.66	0.012
bulanan	0.88	25.94%	44.01	97.42	0.039
harian	0.39	26.12%	1.45	12.69	0.217
GPM					
tahunan		-5.85%	-137.14	162.94	0.005
bulanan	0.92	-1.64%	-2.88	57.01	0.010
harian	0.36	0.63%	0.04	12.75	0.033
PERSIANN -0.49					
--setelah evaluasi--					
TRMM 3B42					
harian	0.58	20.38%	1.13	10.52	0.191
TRMM 3B42-RT					
harian	0.61	26.18%	1.46	10.42	0.217
GPM					
harian	0.66	0.66%	0.04	9.38	0.034

Dari

Tabel 3

Tabel 3, dapat dilihat bahwa data hujan satelit TRMM 3B42, TRMM 3B42-RT dan GPM menunjukkan korelasi terbesar $r(d)$ untuk *time lag* (d) = 0 pada data hujan tahunan dan bulanan, sehingga data TRMM 3B42, TRMM 3B42-RT dan GPM dapat digunakan untuk melakukan prediksi data hujan bulanan dan tahunan secara langsung tanpa melakukan koreksi terhadap waktu. Namun, untuk data hujan harian satelit TRMM 3B42, TRMM 3B42-RT dan GPM menunjukkan korelasi terbesar $r(d)$ untuk *time lag* (d) = +1. Hal ini berarti data satelit dapat digunakan untuk melakukan prediksi data hujan pengamatan pada satu hari setelahnya. Data PERSIANN memberikan nilai korelasi $r(d)$ negatif pada $d = -2$ s/d $+2$ dan $r(d)$ positif pada $d = -3$. Hal ini menunjukkan bahwa data satelit PERSIANN masih kurang sesuai untuk melakukan prediksi data hujan di DAS Dengkeng karena menunjukkan hasil yang berbalik.

Dari **Tabel 4**, pada penelitian ini prediksi data hujan tahunan paling baik menggunakan data hujan satelit TRMM 3B42 yang menghasilkan nilai r , BIAS, MBE, RMSE dan NRMSE berturut-turut sebesar 0.88, 19.99%, 33.91, 82.94 dan 0.034. Prediksi data hujan bulanan paling baik menggunakan data hujan satelit GPM yang menghasilkan nilai r , BIAS, MBE, RMSE dan NRMSE berturut-turut sebesar 0.92, -1.64%, -2.88, 57.01 dan 0.010. Prediksi data hujan harian paling baik menggunakan data hujan satelit GPM dengan *time lag* +1 yang menghasilkan nilai r , BIAS, MBE, RMSE dan NRMSE berturut-turut sebesar 0.66, 0.66%, 0.04, 9.38 dan 0.034.

SIMPULAN DAN SARAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa data satelit TRMM 3B42, TRMM 3B42-RT dan GPM mampu digunakan untuk memprediksi data hujan pengamatan, namun data PERSIANN masih kurang sesuai untuk melakukan prediksi data hujan pengamatan, khususnya di DAS Dengkeng. Hasil evaluasi menunjukkan prediksi data hujan pengamatan yang akurat menggunakan satelit TRMM 3B42 ($d=0$) dengan nilai r , BIAS, MBE, RMSE dan NRMSE sebesar 0.88, 19.99%, 33.91, 82.94 dan 0.034 untuk periode tahunan; satelit GPM ($d=0$) dengan nilai r , BIAS, MBE, RMSE dan NRMSE sebesar 0.92, -1.64%, -2.88, 57.01 dan

0.010 untuk periode bulanan; satelit GPM ($d=+1$) dengan nilai r , BIAS, MBE, RMSE dan NRMSE sebesar 0.66, 0.66%, 0.04, 9.38 dan 0.034 untuk periode harian.

Walaupun hasil evaluasi data hujan satelit memberikan kesimpulan data hujan satelit memungkinkan untuk memprediksi data hujan di lapangan, penelitian ini perlu peneliti kembangkan dalam penggunaannya sebagai input prediksi debit banjir di DAS Dengkeng untuk mengetahui keandalannya dalam memprediksi debit banjir. Perlu dilakukan evaluasi lanjutan mengenai koreksi data hujan satelit agar dapat memperoleh keakuratan prediksi yang lebih baik.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih kepada Prof. Ir. Joko Sujono, M.Eng., Ph.D. dan Ir. Adam Pamudji Rahardjo, M.Sc., Ph.D. yang telah membimbing dan memberi arahan serta masukan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- As-syakur, A.R. 2011. Status of the TRMM Level 3 in Indonesia. Proceeding Of The 2Nd Cresos International Symposium On South East Asia Environmental Problems And Satellite Remote Sensing Denpasar, Bali-Indonesia, 21 – 22 February 2011
- Asdak, Chay. 1995. *Hidrologi dan Pengeolaan Daerah Aliran Sungai*. Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Fadholi, A., dkk. 2014. *Pemanfaatan Model Weather Research and Forecasting (WRF) dalam Analisis Cuaca terkait Hujan Lebat Batam 30-31 Januari 2011*. Surabaya : Jurnal Fisika Dan Aplikasinya Volume 10, Nomor 1 Januari 2014
- Prasetya, R., As-syakur, A.R., Osawa, T. 2013. *Validation of TRMM Precipitation Radar satellite data over Indonesian region*. Theor Appl Climatol (2013) 112:575–587. DOI 10.1007/s00704-012-0756-1
- Putu PW, Nurhastuti AR. 2016. *Analisis Kondisi Atmosfer pada Kejadian Hujan Lebat di Ambon Tanggal 29 Juli 2016*. Proseding Seminar Nasional Fisika dan Aplikasinya, Bale Sawala Kampus Universitas Padjadjaran, Jatinangor
- Marzuki, et al. 2013. *Raindrop axis ratios, fall velocities and size distribution over*

- Sumatra from 2D-Video Disdrometer measurement*. Atmospheric Research 119 (2013) 23–37. doi:10.1016/j.atmosres.2011.08.006
- Soemarto, CD. 1999. *Hidrologi Teknik*. Erlangga. Jakarta.
- Sri Harto Br., 2009. *Hidrologi: Teori, Masalah, Penyelesaian*. Yogyakarta: Nafiri Offset.
- Su, F., Hong, Y. Lettenmaier, D.P. 2007. *Evaluation of TRMM Multisatellite Precipitation Analysis (TMPA) and Its Utility in Hydrologic Prediction in the La Plata Basin*. Journal Of Hydrometeorology Volume 9
- Suripin. 2004. *Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan*. Andi Offset. Yogyakarta.
- Tan, M.L., Duan,Z. 2017. *Assessment of GPM and TRMM Precipitation Products over Singapore*. Remote Sensing 2017, 9(7), 720; doi:10.3390/rs9070720
- Triatmodjo, Bambang. *Hidrologi Terapan*. 2015. Beta Offset. Yogyakarta
- Vernimmen, R.R.E., Hooijer, A., Mamenun, Aldrian, E., van Dijk, A.I.J.M. 2012. *Evaluation and bias correction of satellite rainfall data for drought monitoring in Indonesia*. Hydrol. Earth Syst. Sci., 16, 133–146, 2012. www.hydrol-earth-syst-sci.net/16/133/2012/. doi:10.5194/hess-16-133-2012