

REDAMAN BANJIR PASCA PEMBANGUNAN BENDUNGAN CIAWI DAN SUKAMAHI

Alexandre Octavio Hartono¹, Istiarto², Joko Sujono³

^{1,2,3}Prodi Magister Teknik Pengelolaan Bencana Alam, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada
Jl. Grafika, Kampus No.2, Senolowo, Kabupaten Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta 55284

*Email: ¹alexandre.o@mail.ugm.ac.id

Abstrak

Bendungan Ciawi dan Sukamahi yang dibangun di hulu Sungai Ciliwung merupakan salah satu upaya pemerintah untuk mengurangi banjir DKI Jakarta. Kedua bendungan tersebut dibangun dengan konsep dry dam sehingga tidak menampung air pada kondisi aliran sungai normal dan hanya berfungsi untuk mereduksi debit banjir. Pemodelan dan kalibrasi hidrologi DAS Ciliwung Hulu dilakukan untuk mengetahui karakteristik DAS Ciliwung Hulu dengan bantuan software HEC-HMS. Data yang digunakan untuk melakukan kalibrasi adalah data hujan dan aliran pada tanggal 16-18 Januari 2013. Kemudian dilanjutkan dengan simulasi banjir menggunakan debit 50 tahun, 100 tahun, dan PMF untuk mengetahui kinerja bendungan terhadap banjir. Metode yang digunakan untuk penelusuran banjir adalah level pool routing dan channel routing (time lag method). Hasil penelusuran banjir 50 dan 100 tahunan menunjukkan redaman banjir yang cukup besar yaitu 36,4%-39% untuk banjir 50 dan 100 tahunan. Kontribusi redaman banjir oleh Bendungan Ciawi adalah 80-85% dan Bendungan Sukamahi adalah 15-20% dari total redaman banjir.

Kata kunci: dry dam, kalibrasi model hidrologi, penelusuran banjir

Abstract

Ciawi and Sukamahi Dam were build in the upstream of Ciliwung River as one of government's effort to reduce flood risk in DKI Jakarta. Both dams were constructed as dry dam so there will be no reservoir during normal condition and only functioned to reduce flood. HEC-HMS is used to create model and calibration of hydrologic parameter in Ciliwung Hulu river watershed. Data used to calibrate are rainfall data and water level data for January 16th -18th 2013. Flood simulation will use flood hydrograph with 50 and 100 years return period and PMF to find out the dam's performance. Flood routing method used in this research are level pool routing and channel routing (time lag method). Results of flood simulation with 50 and 100 years return period shows that damping percentage is 36,4%-39%. Ciawi Dam provide 80-85% reduction of total flood reduction, Sukamahi Dam provide 15-20% reduction of total flood reduction.

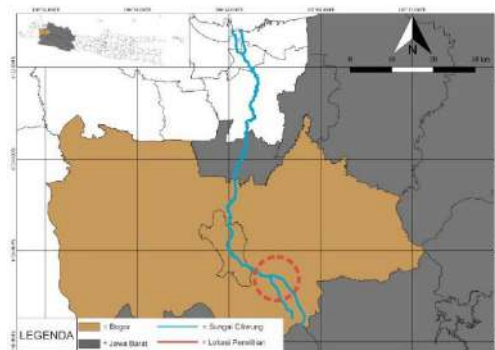
Keywords: dry dam, hydrologic model parameter calibration, flood routing

1 PENDAHULUAN

Berdasarkan pencatatan Badan Pusat Statistik (BPS) Provinsi Jakarta, pada tahun 2018, 2014, dan 2013 banjir yang terjadi di Jakarta dipicu oleh besarnya debit dari hulu Sungai Ciliwung. Dalam rangka mengurangi korban jiwa dan kerugian, pemerintah telah membuat *early warning system* dengan tinggi muka air di bendung Katulampa sebagai acuan (Ginting dan Putuhena, 2014). Namun hal tersebut dirasa belum cukup untuk mengurangi kerugian ekonomis akibat banjir, sehingga diperlukan bangunan air yang dapat mereduksi dan menunda datangnya debit banjir. Maka itu, pemerintah membangun Bendungan Ciawi dan Sukamahi pada tahun 2016 di Sungai Ciliwung sebagai salah satu upaya pemerintah mengurangi debit banjir ke DKI Jakarta (Inayah, 2019).

Bendungan Ciawi berada di Desa Cipayung, Kecamatan Megamendung, Kabupaten Bogor, 480 m dari jalan raya Puncak Pass

(Gambar 1). Bendungan Sukamahi berada di Desa Sukamahi, Kecamatan Megamendung, Kabupaten Bogor, 515 m dari Jalan Raya Pasir Muncang (Gambar 1 dan Gambar 2). Bendungan Ciawi dan Sukamahi adalah bendungan “kering” (dry dam), yaitu bendungan yang tidak memiliki waduk permanen. Tampungan air di hulu bendungan hanya terjadi saat banjir.



Gambar 1 Lokasi Bendungan Ciawi dan Sukamahi



Gambar 2 Situasi Bendungan Ciawi dan Sukamahi

Bendungan Ciawi dan Sukamahi merupakan *dry dam* pertama di Indonesia, dimana secara teoritis redaman banjir yang diberikan oleh kedua bendungan ini tidak sebesar bendungan/waduk konvensional. Maka penelitian ini bertujuan meneliti kinerja Bendungan Ciawi dan Sukamahi terhadap banjir. Parameter kinerja bendungan yang diteliti adalah redaman puncak banjir di Bendungan Ciawi dan Sukamahi serta redaman puncak banjir ditinjau dari Bendung Katulampa.

2 METODOLOGI

2.1 Metode

Mengacu pada Astuti (2016), banjir rencana untuk Bendungan Ciawi adalah 50 tahunan, sedangkan untuk Bendungan Sukamahi adalah 100 tahunan. Pada penelitian ini kala ulang tersebut akan menjadi acuan untuk analisis frekuensi curah hujan yang nantinya akan di transformasi menjadi hidrograf banjir menggunakan parameter-parameter DAS yang sudah dikalibrasi sebelumnya.

Analisis Frekuensi Data Hujan

Tujuan dari analisis frekuensi data hujan adalah mencari hubungan antara besarnya kejadian ekstrim terhadap frekuensi kejadian dengan menggunakan distribusi probabilitas. Data hidrologi yang digunakan adalah data hujan maksimum tahunan seperti pada Gambar 2. Distribusi probabilitas data hidrologi umumnya memiliki bentuk histogram yang kemudian dapat didekati oleh suatu fungsi distribusi kontinu. Pada penelitian kali ini, distribusi kontinu yang akan digunakan adalah distribusi Normal, Log-Normal, Gumbel, dan Log-Pearson III. Kemudian metode Chi Kuadrat dan Smirnov Kolmogorov untuk menguji jenis distribusi yang akan digunakan (Brotowiryatmo, 1991).

Analisis Probable Maximum Precipitation

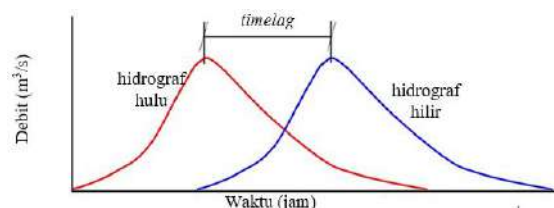
PMP dapat diartikan sebagai tebalnya curah hujan turun dan merupakan batas atas secara fisik, untuk suatu durasi tertentu. Terdapat beberapa pendekatan yang dapat dilakukan untuk menghitung PMP di antaranya pendekatan meteorologi dan statistik. Pendekatan secara meteorologi tidak dapat dilakukan di Indonesia dikarenakan data yang diperlukan seperti pusat tekanan tinggi dan rendah, *moisture source*, dan *dew point* tidak tersedia. Oleh karena itu pendekatan yang dapat dilakukan adalah pendekatan statistik dengan metode Hersfield. Pada penelitian ini, analisis PMP dilakukan dengan mengacu pada SNI 7746 tahun 2012 tentang Tata Cara Perhitungan Hujan Maksimum Boleh Jadi dengan Metode Hersfield.

Transformasi Hujan-Limpasan

Hujan yang jatuh di suatu DAS akan berubah menjadi aliran di suatu sungai. Dengan demikian terdapat suatu hubungan antara hujan dan debit aliran yang tergantung pada karakteristik DAS. Pada penelitian ini transformasi hujan-aliran akan menggunakan metode SCS untuk menghitung hujan efektif dan hidrograf satuan sintetik Nakayasu untuk menghitung hidrograf banjir. Metode SCS digunakan karena lebih menggambarkan kejadian yang sesungguhnya dan memiliki *artificial value* yang lebih baik (Sari, 2014). Menurut Limantara (2010), hidrograf satuan sintetik merupakan suatu cara untuk memperkirakan penggunaan konsep hidrograf satuan dalam suatu perencanaan yang tidak tersedia pengukuran langsung mengenai hidrograf banjir.

Penelusuran Banjir Melalui Sungai

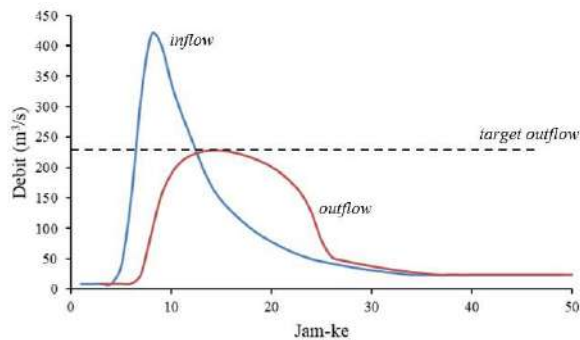
Pada penelitian ini penelusuran banjir melalui sungai menggunakan metode *time lag* dengan referensi dari Davis (2000) dimana untuk channel slope lebih besar dari 0,002 dapat menggunakan metode apapun untuk melakukan *channel routing*. Pada metode *time lag* hidrograf *inflow* sama dengan hidrograf *outflow* namun dengan translasi waktu. Gambar 3 memberikan ilustrasi penggunaan metode *time lag*.



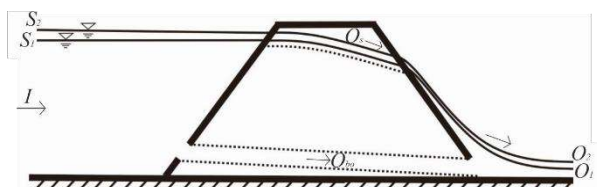
Gambar 3 Ilustrasi metode *time lag*

Penelusuran Banjir Melalui Dry Dam

Salah satu tujuan dari pembangunan waduk atau tampungan adalah mereduksi debit puncak *outflow* dibandingkan *inflow* dengan perhitungan penelusuran banjir melalui waduk (Indarto, 2010). Metode *reservoir routing* (1) digunakan karena bendungan terletak di hulu dengan kemiringan dasar sungai yang relatif curam sehingga diasumsikan tidak ada backwater yang dapat mempengaruhi *outflow* dari bendungan tersebut. Kemiringan dasar sungai yang relatif curam menyebabkan aliran sungai berupa aliran kritik sehingga ketinggian aliran relatif rendah. Maka itu diasumsikan bahwa badan sungai dapat mengalir debit *inflow* dan *outflow* tanpa adanya luapan (Davis, 2000). Gambar 4 menunjukkan ilustrasi redaman banjir akibat adanya waduk dan Gambar 5 menunjukkan ilustrasi penelusuran banjir melalui *dry dam*.



Gambar 4. Ilustrasi redaman banjir akibat waduk



Gambar 5 Ilustrasi penelusuran banjir melalui *dry dam*

$$\frac{I_1 + I_2}{2} - \frac{O_1 + O_2}{2} = \frac{S_2 - S_1}{\Delta t} \quad (1)$$

dengan:

I_1, I_2 : *inflow* pada waktu ke-1 dan ke-2

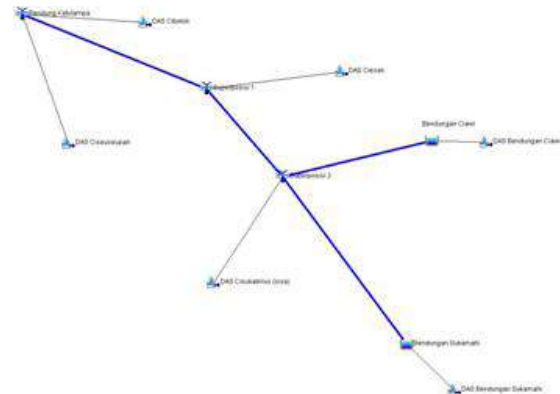
O_1, O_2 : *outflow* pada waktu ke-1 dan ke-2

S_1, S_2 : tampungan pada waktu ke-1 dan ke-2

Kalibrasi Model Hidrologi

Proses kalibrasi diperlukan untuk mengetahui nilai masing-masing parameter DAS dan sebagai dasar untuk melakukan simulasi hujan aliran (Sutikno, 2014). Agar hasil kalibrasi dapat merepresentasikan kondisi DAS

sesungguhnya, maka hidrograf hasil model harus menyerupai hidrograf terukur dan menghasilkan nilai *objective function* sekecil mungkin. Data hidrograf terukur yang digunakan untuk kalibrasi menggunakan debit jam-jaman pada Bendung Katulampa. Skema kalibrasi ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Skema kalibrasi model

Pada penelitian ini, parameter yang akan dikalibrasi adalah I_a (*initial abstraction*), *recession method* (*recession constant* dan *threshold discharge*), dan *routing method* (*time lag* dan *loss*). Nilai CN (*curve number*) diestimasi menggunakan peta tata guna lahan dan peta kelompok hidrologi tanah. *Transform method* menggunakan hidrograf satuan sintetik nakayasu dengan nilai $\alpha = 3$. Pada penelitian ini metode statistik yang digunakan adalah *percent error in peak* dengan persamaan:

$$Z = 100 \left| \frac{q_s(\text{puncak}) + q_o(\text{puncak})}{q_s(\text{puncak})} \right| \quad (2)$$

dengan:

Z : *objective function*

$q_s(\text{puncak})$: debit puncak simulasi (m^3/s)

$q_o(\text{puncak})$: debit puncak simulasi (m^3/s)

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Kalibrasi

Setelah dilakukan *trial and error*, hasil kalibrasi ditunjukkan pada Tabel 1 dan Gambar 7. Hasil menunjukkan terdapat perbedaan volume yang cukup jauh untuk hidrograf simulasi dengan hidrograf terukur. Hal ini disebabkan karena metode statistik yang digunakan adalah *percent error peak* sehingga hidrograf simulasi hanya difokuskan untuk mendapatkan debit puncak dan waktu puncak yang mendekati hidrograf terukur. Hidrograf terukur menunjukkan kurva naik dan turun yang cepat, hal ini disebabkan oleh

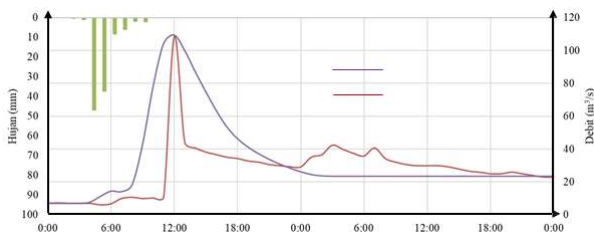
kemiringan DAS yang relatif curam karena berlokasi di bagian hulu sungai (Smith, 2010).

Metode statistik *percent error peak* merupakan metode yang paling cocok digunakan pada penelitian ini karena penelitian ini bertujuan untuk menguji Bendungan Ciawi dan Sukamahi dengan banjir rancangan, sehingga penting untuk mengetahui puncak hidrograf banjir yang dapat merepresentasikan kondisi aktual. Metode lain yang tersedia seperti *sum of absolute errors* dan *sum of squared residuals* bertujuan untuk mencari nilai Δ kumulatif terkecil antara hidrograf simulasi dan hidrograf terukur. Hidrograf simulasi yang dihasilkan dengan metode tersebut tidak dapat merepresentasikan kondisi banjir aktual karena puncak hidrograf yang dihasilkan metode ini tidak mendekati data terukur.

Metode *baseflow* menggunakan *threshold discharge* untuk mendapatkan angka yang mendekati hidrograf terukur, apabila ingin mendapatkan hasil yang lebih baik maka data hidrograf terukur perlu diperpanjang untuk mengetahui berapa lama debit banjir akan surut. Untuk debit puncak dan waktu puncak, hidrograf simulasi mendekati hidrograf terukur dengan Δ sebesar 1,3% untuk debit puncak. Hal ini menunjukkan bahwa model hidrologi sudah dapat dianggap merepresentasikan kondisi aktual.

Tabel 1.
Hasil kalibrasi hidrograf simulasi dan hidrograf terukur

Parameter	Simulasi	Terukur	Δ (%)
Q_p (debit puncak)	109,4 m ³ /s	108 m ³ /s	1,3
T_p (waktu puncak)	16 Jan 2013 pukul 12:00	16 Jan 2013 pukul 12:00	0



Gambar 7. Perbandingan hidrograf model dan hidrograf terukur setelah kalibrasi

3.2 Hasil Penelusuran Banjir

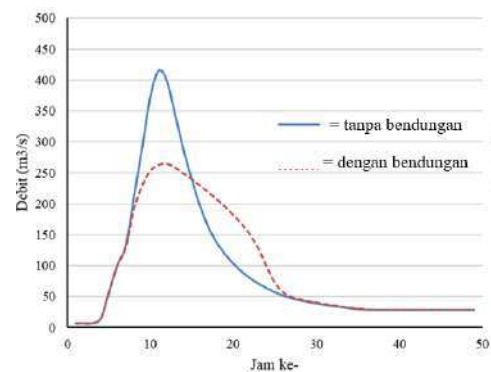
Persentase redaman banjir pasca pembangunan Bendungan Ciawi dan Sukamahi ditinjau pada titik kontrol Bendung Katulampa untuk kala ulang 50 dan 100 tahun adalah 36,4-39% (Tabel 2). Apabila dilihat dari total redaman

banjir, Bendungan Ciawi menyumbang 80-85% dari total redaman banjir sedangkan Bendungan Sukamahi menyumbang 10-15%. Pada simulasi banjir 50 tahunan, volume banjir yang datang adalah 17 juta m³ sedangkan untuk 100 tahunan adalah 19 juta m³ sementara volume tampungan efektif Bendungan Ciawi adalah 4,8 juta m³ dan Bendungan Sukamahi adalah 0,9 juta m³. Fajar dan Sudinda (2019) pada penelitiannya menyatakan bahwa Bendungan Ciawi sendiri dapat mereduksi 30-35% debit banjir pada kala ulang 50 dan 100 tahun. Apabila angka tersebut ditambah dengan persentase redaman banjir akibat Bendungan Sukamahi maka total redaman debit banjir menjadi sekitar 35-40% untuk banjir kala ulang 50 dan 100 tahun. Redaman banjir yang disumbangkan oleh Bendungan Ciawi dan Sukamahi berkisar di 150-200 m³/s (Gambar 8 dan Gambar 9) untuk banjir rancangan kala ulang 50-100 tahun. Pergeseran waktu puncak yang terjadi di Bendung Katulampa pasca pembangunan Bendungan Ciawi dan Sukamahi adalah sekitar 1 jam (Tabel 2). Hal ini sesuai dengan pendapat Adhiputranto (2020) yang menyatakan bahwa tampungan yang relatif kecil dari Bendungan Ciawi dan Sukamahi menyebabkan waktu tunda yang rendah apabila banjir yang datang memiliki hidrograf debit naik yang cepat.

Tabel 2.

Rekapitulasi simulasi banjir rancangan

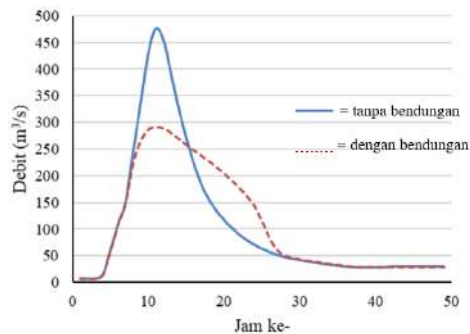
Simulasi	Redaman puncak banjir (%)	Pergeseran waktu puncak (jam)
50 tahun	36,4	1
100 tahun	39	0



Gambar 8. Simulasi banjir 50 tahunan

Bendungan Ciawi dan Sukamahi memiliki kinerja yang cukup baik terhadap banjir dengan kala ulang 50 sampai 100 tahun. Untuk mencari tahu kinerja bendungan terhadap banjir yang lebih kecil maka dilakukan simulasi dengan kala ulang rendah seperti 2, 5, 10, dan 20 tahun. Hasil rekap simulasi ditunjukkan pada Tabel 3. Hasil menunjukkan bahwa semakin rendah kala ulang banjir banjir, persentase redaman yang dihasilkan

oleh Bendungan Ciawi dan Sukamahi semakin kecil. Hal ini sejalan dengan pendapat Astuti (2016), yang menyatakan bahwa semakin kecil banjir maka kinerja Bendungan Ciawi dan Sukamahi akan semakin rendah dikarenakan *bottom outlet* yang selalu terbuka dapat mengalirkan banjir sehingga tampungan yang tersedia menjadi tidak efektif.



Gambar 9. Simulasi banjir 100 tahunan

Tabel 3.
Rekapitulasi simulasi banjir beberapa kala ulang pada Bendungan Ciawi dan Sukamahi

Kala ulang	Persentase redaman (%)	
	Bendungan Ciawi	Bendungan Sukamahi
2	14,24	6,17
5	23,83	11,01
10	29,01	13,63
20	33,8	18,27
50	45,48	20,15
100	41,4	23,57

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan sebelumnya, kesimpulan yang dapat ditarik pada penelitian ini adalah:

1. Persentase redaman debit banjir pasca pembangunan Bendungan Ciawi dan Sukamahi ditinjau dari Bendung Katulampa adalah 36,4% untuk banjir kala ulang 50 tahun dan 39% untuk banjir kala ulang 100 tahun. Sedangkan pergeseran waktu puncak adalah 1 jam untuk banjir kala ulang 50 tahun dan 0 jam (tidak ada pergeseran puncak) untuk banjir kala ulang 100 tahun. Apabila dibandingkan dengan kapasitas Kanal Banjir Barat, maka redaman yang dihasilkan Bendungan Ciawi dan Sukamahi sekitar 20%. Hal ini menunjukkan bahwa Bendungan Ciawi dan Sukamahi dapat membantu reduksi debit banjir dari DAS Ciliwung Hulu sehingga diharapkan frekuensi kejadian banjir di DKI Jakarta dapat menurun.

2. Kontribusi redaman banjir yang disumbangkan oleh Bendungan Ciawi adalah 80-85% dan Bendungan Sukamahi adalah 15-20% dari total redaman banjir.
3. Efektivitas kinerja Bendungan Ciawi dan Sukamahi akan menurun apabila debit banjir yang terjadi lebih rendah daripada debit rancangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhiputranto, G. N., 2020, *Pengaruh Pembangunan Bendungan Ciawi dan Bendungan Sukamahi Terhadap Perubahan Flood Early Warning System di Pintu Air Manggarai*, Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok
- Astuti, Y., 2016, *Laporan Akhir Bendungan Ciawi dan Sukamahi*, Bendungan Ciawi dan Sukamahi, PT Indra Karya, Malang.
- Brotowiryatmo, S. H., 1991, *Analisis Hidrologi*. Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Davis, D. W., 2000, *Hydrologic Modeling System HEC-HMS Technical Referece Manual*, Hydrologic Engineering Center, Virginia.
- Fajar, I. dan Sudinda, T. W., 2019, *Analisis Bendungan Kering (Dry Dam) Ciawi Sebagai Upaya Pengendalian Banjir DKI Jakarta*, Seminar Intelektual Muda #2, Jakarta, 5 September 2019,
- Ginting, S. dan Putuhena, W. M., 2014, Sistem Peringatan Dini Banjir Jakarta, *Jurnal Sumber Daya Air*, No. 1, Vol. 10, Hal. 71-84.
- Hartono, A. O., 2020, *Kajian Hidrologi dan Hidraulika Pelimpah Bendungan Sukamahi*, Jawa Barat, Skripsi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Sleman.
- Inayah, A. N., Hidayat. Y. dan Tarigan, S. D., 2019, *Simulasi Bendungan Ciawi dan Sukamahi Sebagai Pengendali Banjir Das Ciliwung Hulu*, Seminar Nasional Teknologi, Sains, dan Humaniora 2019, Gorontalo, 7 November 2019.
- Indarto, 2010, *Hidrologi Dasar Teori dan Contoh Aplikasi Model Hidrologi*, Bumi Aksara, Jakarta
- Limantara, L. M., 2010, *Hidrologi Praktis*, Lubuk Agung, Bandung.
- Oshikawa, H., Imamura, T., Komatsu, T., 2011, Study on The Flood Control Ability of a Dry Dam Used as a Flood Retarding Basin in a River, *Journal of Japan Society of Civil Engineers*, Ser. B1, Volume 67, Issue 4.

Sari, A. N., 2014, *Kajian Beberapa Metode Perhitungan Hujan Efektif dan Pengaruhnya Terhadap Hidrograf Satuan*, Thesis, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Sleman.

Smith, A., 2010, *Streamflow Routing: International Edition*, NOAA National Weather Services, Colorado

Sutikno, S., 2014, *Kalibrasi dan Validasi Model Hidrologi Hujan-Aliran dengan Menggunakan Data Satelit*, Pertemuan Ilmiah Tahunan (PIT) XXXI HATHI, Padang, 22-24 Agustus 2014.

Triatmodjo, B., 2019, *Hidrologi Terapan*, Beta Offset Yogyakarta, Sleman.