

Prediksi Debit Puncak DAS Ciliwung Hulu sebagai Pengendali Jasa Lingkungan Hidrologi

Enni Dwi Wahjunie¹, Yayat Hidayat¹, Kardina Yulia Dewanti², dan Wahyu Purwakusuma¹

¹ Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University

² Alumni Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, IPB University

ABSTRAK

Debit puncak aliran sungai Ciliwung bagian hulu dalam periode ulang tertentu merupakan informasi yang sangat penting dalam perencanaan pengendalian banjir maupun pemanfaatan sumberdaya air. Debit puncak aliran sungai utama tersebut dipengaruhi oleh debit aliran sungai dari setiap subDAS yang masuk ke sungai utama. Namun, Stasiun Pengamat Arus Sungai (SPAS) sebagai sarana pengukur debit tidak tersedia di setiap Sub DAS. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji akurasi Model Rasional dalam memprediksi debit puncak dan melakukan pendugaan debit puncak pada tiap Sub DAS Ciliwung Hulu. Pendugaan debit puncak dilakukan dengan metode Rasional menggunakan distribusi peluang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prediksi debit puncak menggunakan metode Rasional dengan periode ulang T1 hingga T10 tahun memiliki akurasi yang baik dengan $R^2 = 0,98$ dan *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) = 0,14 pada distribusi Gumbel, sementara pada distribusi Log Pearson tipe III dengan $R^2 = 0,99$ dan NSE = 0,86. Dengan demikian, model Rasional dengan distribusi Log Pearson tipe III lebih sesuai digunakan sebagai prediksi debit puncak pada periode ulang T1 hingga T10, T25, T50 dan T100 tahun. Selanjutnya model Rasional dengan distribusi Log Pearson tipe III dapat digunakan untuk memprediksi debit puncak aliran sungai di tiap sub DAS Ciliwung Hulu, yaitu Sub DAS Cibalok, Ciesek, Ciliwung Hulu, Cisarua, Ciseuseupan, Cisukabiru, dan Cisuren. Berdasarkan pendugaan dengan metode Rasional, nilai debit puncak prediksi terendah pada periode ulang 1 tahun terjadi di Sub DAS Cibalok sebesar 8,67 m³/detik dan tertinggi di Sub DAS Ciliwung Hulu sebesar 42,16 m³/detik. Data prediksi debit puncak dari tiap subDAS Ciliwung hulu ini dapat menjadi informasi yang sangat penting dalam pengendalian sumberdaya air di DAS Ciliwung Hulu.

Kata kunci: Debit, puncak, distribusi Gumbel, distribusi Log Pearson Tipe III, metode Rasional, periode ulang

ABSTRACT

The peak discharge of the Upstream Ciliwung in certain period is very important information in flood control planning and utilization of water resources. The peak discharge of the main river is influenced by the discharge of the river flow from each sub watershed that enters the main river. However, the Stream Flow Observer Station (SPAS) as a means of measuring discharge in every sub-watershed is not available. The purpose of this study was to examine the accuracy of the Rational Model in predicting peak discharge in each of the Upper Ciliwung Sub-Watershed. The Peak discharge estimation was carried out using the Rational method with a probability distribution. The result showed that the prediction of peak discharge using the Rational method with a return period of T1 to T10 years had a good accuracy with $R^2 = 0,98$ and Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE) = 0,14 in the Gumbel distribution, while in the Log Pearson type III distribution with $R^2 = 0,99$ and NSE = 0,86. Thus, the Rational model with Log Pearson Type III distribution is more suitable to be used as a prediction of peak discharge in the return period T1 to T10, T25, T50, and T100 years. Furthermore, the Rational model with the Log Pearson distribution Type III can be used to predict the peak discharge of the stream flow in each of the Upper Ciliwung Sub-Watershed, namely the Cibalok, Ciesek, Ciliwung Hulu, Cisarua, Cisesuseupan, Cisukabiru, and Cisuren. Based on the estimation using the Rational method, the lowest predicted peak discharge value in the 1-year return period occurs in the Cibalok Watershed at 8.67m³/second and the highest in the Ciliwung Hulu Watershed at 42.16 m³/second. The predicted peak discharge data from each upstream Ciliwung sub-Watershed can be very important information for controlling water resources in the Upper Ciliwung Watershed.

Keyword: Gumbel distribution, Log Pearson Type III distribution, Peak discharge, Rational method, return Period.

Citation: Wahjunie, E.D., Hidayat, Y., Dewanti, K.Y., dan Purwakusuma, W. (2023). Prediksi Debit Puncak DAS Ciliwung Hulu, sebagai Pengendali Jasa Lingkungan Hidrologi. Jurnal Ilmu Lingkungan, 21(4), 946-955, doi:10.14710/jil.21.4.946-955

1. Pendahuluan

Salah satu penyebab banjir di ibukota Negara, Jakarta, adalah tingginya debit aliran sungai Ciliwung dari bagian hulu di musim hujan. Selain menimbulkan

banjir di tempat yang rendah, debit puncak juga dapat merusak bangunan air. Tingginya debit aliran sungai dipengaruhi oleh sifat hujan, tipe penggunaan lahan, maupun topografi dan sifat Daerah Aliran Sungai

(DAS) lainnya (Rashid et al., 2015; dan Wei et al., 2019). Penelitian Muhadi *et al.* (2021) menemukan bahwa debit puncak dipengaruhi oleh luas DAS, panjang sungai utama, dan faktor bentuk DAS.

Hujan yang terjadi selama beberapa hari berturut-turut di hulu DAS Ciliwung telah dapat mengakibatkan banjir sungai, yang terekam di stasiun pengamat arus sungai (SPAS) di bendung Katulampa (Kuswardini, 2015). Banjir akibat debit aliran sungai yang mencapai maksimum dapat terjadi pada periode ulang tertentu, sehingga besarnya debit puncak dengan periode ulang tertentu merupakan informasi yang sangat penting bagi pengendalian jasa lingkungan hidrologi.

Pengendalian jasa lingkungan hidrologi, baik sebagai penyedia (*provisioning*) maupun sebagai pengaturan (*regulating*) telah banyak dilakukan melalui berbagai teknologi konservasi tanah dan air di wilayah DAS. Salah satu karakteristik DAS yang dapat dikendalikan oleh manusia dalam mempengaruhi debit puncak aliran sungai adalah penggunaan lahan. Rahman *et al.* (2017) telah mensimulasikan penerapan sistem agroforestry maupun kombinasi agroforestri dengan teknik konservasi tanah dan air dengan menggunakan model *Soil Water Assessment Tool (SWAT)* menghasilkan *zero run off*. Penerapan agroforestry maupun kombinasi agroforestry dengan teknik konservasi tanah dan air *zero run off* telah dapat menurunkan debit puncak di musim hujan dan meningkatkan debit minimum di musim kemarau.

Sejak tahun 1998 debit maksimum di Ciliwung Hulu terus mengalami peningkatan dan debit minimum terus mengalami penurunan akibat terjadinya perubahan alih fungsi lahan (Departemen Kehutanan, 2015). Debit aliran sungai DAS Ciliwung Hulu yang terekam di pintu air bendung Katulampa merupakan sumbangan aliran air dari tiap sub DASnya. Oleh karena itu, besarnya debit aliran sungai dari tiap anak sungai (Sub DAS) juga perlu diketahui. Salah satu model yang dapat digunakan dalam memprediksi debit puncak aliran sungai adalah model Rasional. Model Rasional pada awalnya adalah untuk memprediksi debit puncak aliran sungai dalam kaitannya dengan perencanaan struktur bangunan air. Namun model ini juga telah banyak digunakan untuk memprediksi banjir aliran sungai (McCuen, 2017). Arisandhy *et al.* (2013) telah menggunakan model Rasional untuk prediksi genangan banjir di Makassar; Nomleni *et al.* (2019) telah menggunakannya untuk memprediksi debit puncak DAS Manikin Nusa Tenggara Timur; Auliyani dan Nugrahanto (2020) telah memprediksi debit puncak Sub DAS Jemelak Sintang, Kalimantan Tengah dengan model Rasional; Sudaryatno *et al.* (2021) telah menggunakannya untuk memprediksi koefisien aliran permukaan di sub DAS Kodil, DAS Bogowonto, Jawa Tengah; dan Naharuddin *et al.* (2021) telah menggunakannya untuk evaluasi kesehatan DAS Gumbasa, Sulawesi Tengah.

Menurut Baiamonte (2020), metode Rasional memiliki kelebihan dalam memprediksi debit puncak karena mempertimbangkan faktor-faktor yang

mempengaruhi debit aliran permukaan secara lebih rinci dan sederhana. Dalam penerapannya, metode Rasional ini memerlukan data jenis tanah, penggunaan lahan, topografi, curah hujan, dan luas DAS. Untuk mengetahui keakuratan dan kelayakan model Rasional dalam memprediksi debit puncak, diperlukan uji keakuratan dengan uji koefisien determinasi (R^2) dan uji Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) (Moriasi *et al.*, 2015). Uji kelayakan dan keakuratan dengan koefisien determinasi (R^2) dan uji Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) debit model terhadap debit observasi dalam prediksi model debit telah banyak dilakukan di beberapa wilayah DAS di Indonesia, antara lain Mubarok *et al.* (2015), Widiatmoko *et al.* (2020), Utami *et al.* (2020), dan Bushron *et al.* (2021), yang memprediksi debit puncak aliran sungai berbasis DAS dengan menggunakan model Soil and Water Assessment Tool (SWAT). Ratna *et al.* (2015) telah melakukan karakterisasi DAS Ciliwung Hulu dengan model berbasis DAS, yaitu *Waterhed Modeling System (WMS)*, di mana prediksi debit puncak dalam model WMS tersebut menggunakan model Rasional.

Analisis hidrologi sungai Ciliwung dalam memprediksi banjir Jakarta secara periodik dapat diamati dari Stasiun Pengamat Arus Sungai (SPAS) di bendung Katulampa. Data tinggi muka air dan tingkat kekeruhan air di SPAS dapat diketahui secara real time. SPAS untuk pengukuran tinggi muka air sebagai penentu terjadinya debit puncak Ciliwung Hulu hanya tersedia di bendung Katulampa, tetapi tidak tersedia di setiap Sub DAS Ciliwung Hulu yang merupakan penyumbang aliran di bendung Katulampa. Hal ini menyebabkan fluktuasi debit puncak yang terjadi pada setiap wilayah Sub DAS tidak dapat diprediksi secara akurat karena hanya mengacu pada pengukuran di bendung Katulampa. Oleh karena itu diperlukan suatu model prediksi debit puncak yang akurat dalam memprediksi debit sungai Ciliwung maupun sungai di tiap Sub DASnya dalam periode ulang tertentu.

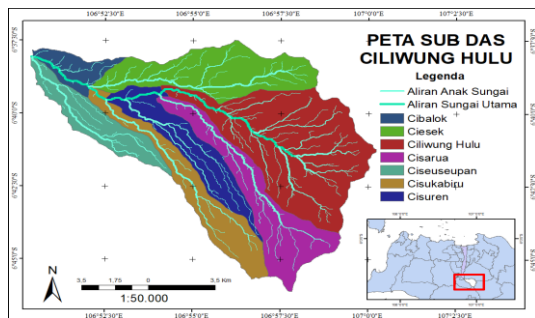
Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji akurasi metode Rasional dalam memprediksi debit puncak DAS Ciliwung Hulu dengan outlet Bendung Katulampa dan melakukan pendugaan debit puncak aliran sungai pada tiap Sub DAS pada periode ulang tertentu. Data debit puncak dengan periode ulang tertentu hasil prediksi diharapkan dapat digunakan sebagai pengendali jasa lingkungan hidrologi di wilayah DAS Ciliwung Hulu, seperti pengendalian banjir dan ketersediaan air.

2. Metode Penelitian

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian berada di DAS Ciliwung Hulu dengan outlet Bendung Katulampa. Pengolahan data dilakukan di Departemen Ilmu Tanah dan Sumberdaya Lahan, Fakultas Pertanian, Institut Pertanian Bogor, sejak bulan Maret 2020 hingga Februari 2021. Peta lokasi penelitian ditampilkan pada Gambar 1. Secara astronomis DAS Ciliwung

Hulu berada di 6°37'30" - 6°47'00" Lintang Selatan dan 106°50'22" - 107°0'15" Bujur Timur. Secara administratif DAS Ciliwung Hulu berada di wilayah Kabupaten Bogor yaitu kecamatan Ciawi, Megamendung, Cisarua, Sukaraja dan sebagian wilayah Kota Bogor yaitu Kecamatan Bogor Timur.



Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian

2.2. Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian adalah *Microsoft Excel 2010*, *Microsoft Word 2010*, *ArcGIS 10.3*, dan *Google Earth Pro 1.3.35.452*. Bahan-bahan yang digunakan dalam penelitian adalah data sekunder berupa data hidrologi dan data spasial yang didapat secara *online* dan *offline* seperti yang ditampilkan pada Tabel 1. Data hidrologi meliputi data curah hujan dan data debit aliran sungai. Data spasial *Geographic Information System (GIS)* yang digunakan berformat vektor (*shapefile*) dan raster. Data spasial GIS vektor meliputi data penggunaan lahan, data jenis tanah, dan data batas DAS Ciliwung Hulu. Data raster berupa data DEM 8 m.

2.3. Metode Penelitian

Prediksi debit puncak rencana (debit puncak dengan periode ulang T tahun tertentu) dengan model Rasional ditetapkan dengan menentukan nilai koefisien aliran permukaan (C), intensitas hujan rencana dalam periode ulang tertentu, dan luas DAS. Selanjutnya debit puncak rencana hasil prediksi dibandingkan dengan debit puncak observasi yang

dihitung dalam periode ulang T tahun. Keakuratan model Rasional dalam memprediksi debit puncak diuji dengan perhitungan koefisien determinasi (R^2) antara debit prediksi model dengan debit observasi; dan pengujian kelayakan model Rasional dengan menetapkan nilai *Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)*. Selanjutnya model Rasional digunakan untuk memprediksi debit puncak rencana dengan berbagai periode ulang. Debit puncak rencana dengan periode ulang tertentu di masing-masing subDAS maupun seluruh wilayah DAS Ciliwung Hulu dievaluasi untuk rekomendasi pengelolaan jasa lingkungan hidrologi.

2.3.1. Pengolahan Data

Pengolahan data dimulai dengan prediksi debit puncak aliran sungai dengan model Rasional, menggunakan data koefisien aliran permukaan (C), Intensitas hujan rencana (I_T), dan luas DAS (A). Untuk menentukan nilai koefisien aliran permukaan (C) digunakan data penggunaan lahan dan jenis tanah. Data curah hujan harian maksimum dalam setahun untuk menentukan curah hujan harian wilayah rencana dan intensitas hujan rencana dalam periode ulang tertentu. Data debit puncak observasi tiap tahun dihitung dalam periode ulang T tahun untuk digunakan sebagai uji model pendugaan debit puncak aliran sungai.

a. Koefisien aliran permukaan (C)

Koefisien aliran permukaan yaitu rasio laju aliran permukaan dengan intensitas hujan yang terjadi. Penetapan koefisien aliran permukaan (C) menggunakan data penggunaan lahan dan jenis tanah. Jenis tanah digunakan untuk penetapan Kelas Hidrologi Tanah (KHT) berdasar McCuen (2017). Data KHT dari tiap jenis tanah diintegrasikan dengan data penggunaan lahan tiap tahun (2010-2019) untuk menetapkan nilai C berdasar McCuen (2017). Nilai C seluruh DAS tiap tahun dihitung dengan metode rata-rata tertimbang dari luas tiap KHT dan penggunaan lahan masing-masing.

Tabel 1. Data sekunder untuk pendugaan debit puncak

Jenis Data	Sumber Data	Kegunaan Data
Data Curah Hujan Harian Citeko 2010-2019 dan Katulampa 2010-2015 dan 2019	Badan Meterologi, Klimatologi, dan Geofisika (<i>online</i> dan <i>offline</i>)	<ul style="list-style-type: none"> • Penentuan distribusi curah hujan • Penentuan curah hujan rencana • Pengukuran intensitas hujan rencana metode Mononobe
Data Curah Hujan Harian Gadog, Gunung Mas, Cilember 2010-2019	Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Ciliwung-Cisadane	
Data Debit Observasi Katulampa 2010-2019	Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Ciliwung-Cisadane	Perhitungan debit observasi (Q_{po}) sebagai uji model pada prediksi debit puncak metode Rasional
Batas DAS dan Sub DAS Ciliwung Hulu	Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Ciliwung-Cisadane	Penentuan luas DAS dan Sub DAS Ciliwung Hulu dengan ArcGIS 10.3
Data Penggunaan Lahan 2010 - 2019 Skala 1:50.000	Direktorat Jendral Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan	Penentuan nilai koefisien aliran permukaan (C) dengan metode pembobotan C berdasarkan McCuen (2017)
Data Jenis Tanah skala 1:50.000	Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian	Penentuan Kelompok Hidrologi Tanah (KHT) untuk penentuan nilai C menurut McCuen (2017)
Data DEMNAS 8 m	Badan Informasi Geospasial (<i>online</i>)	Penentuan panjang aliran sungai utama dan ketinggian DAS Ciliwung Hulu untuk perhitungan waktu konsentrasi (T_c)
Data Koordinat Stasiun Hujan Citeko, Gadog, Gunung Mas, dan Cilember	<i>Google Earth Pro (online)</i>	Penentuan curah hujan wilayah DAS Ciliwung Hulu dan Sub DAS Ciliwung Hulu

b. Intensitas Hujan (I)

Intensitas hujan (I) dihitung menggunakan data curah hujan harian maksimum per tahun pada setiap stasiun hujan. Data curah hujan wilayah DAS Ciliwung Hulu ditetapkan dengan metode Polygon Thiessen dari data curah hujan harian maksimum tahunan seluruh stasiun. Intensitas hujan (I) selama waktu konsentrasi (Tc) dihitung dengan metode Mononobe (Hendri, 2015) sebagai berikut:

$$I = \frac{R}{24} \times \left(\frac{24}{t}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (1)$$

I = Intensitas hujan (mm/jam)

t = Lamanya hujan setara waktu konsentrasi (Tc) (jam)

R = Curah hujan harian maksimum (selama 24 jam) (mm)

Waktu konsentrasi (Tc) yang digunakan dalam Mononobe adalah dalam satuan jam, sedangkan perhitungan Tc dari persamaan (2) dalam satuan menit sehingga nilai Tc untuk perhitungan intensitas rencana harus dikonversi ke satuan jam terlebih dahulu. Rumus perhitungan Tc berdasarkan de Almeida *et al.* (2014) adalah sebagai berikut:

$$Tc = \left(\frac{0,87 \cdot L^2}{1000 \cdot S}\right)^{0,385} \quad (2)$$

Tc = Waktu konsentrasi (menit)

L = Panjang saluran (m)

S = Beda tinggi antara titik terjauh/panjang saluran (m)

c. Luas DAS (A)

Luas DAS dan tiap subDAS Ciliwung Hulu ditetapkan dari batas DAS dan Sub DAS Ciliwung Hulu, menggunakan aplikasi ArcGIS pada fungsi Calculate Geometry. Luas DAS dan SubDAS yang digunakan untuk penghitungan debit puncak dengan metode Rasional dalam satuan km².

Prediksi Debit Puncak Aliran Sungai

a. Distribusi Peluang Hujan

Penetapan debit puncak rencana dengan periode ulang T (tahun) tertentu, memerlukan penetapan curah hujan rencana maksimum tahunan. Curah hujan rencana maksimum tahunan ditetapkan menggunakan metode distribusi peluang, yaitu distribusi Normal, log Normal, Gumbel atau Log Pearson Type III. Penetapan tipe distribusi peluang hujan terhadap data curah hujan wilayah dilakukan dengan pengukuran dispersi terlebih dahulu. Menurut Soewarno (2014) dalam Widyawati *et al* (2020), pengukuran dispersi dilakukan untuk mendapatkan nilai rata-rata (X), standar deviasi (Sd), koefisien Skewness (kemencengan, Cs), koefisien kurtosis (Ck), dan koefisien varian (Cv) sebagai parameter statistik masing-masing tipe distribusi. Nilai parameter-parameter tersebut ditetapkan menurut Soewarno (2014) dalam Widyawati *et al* (2020). Nilai hasil perhitungan parameter-parameter dengan berbagai jenis distribusi dibandingkan dengan

Tabel 2 sehingga dapat dipilih jenis distribusi yang paling sesuai.

Tabel 2. Pedoman Pemilihan Distribusi

Jenis Sebaran	Syarat
Normal	Cs ≈ 0 Ck = 3
Gumbel	Cs ≤ 1,1396 Ck ≤ 5,4002
Log Pearson Tipe III	Cs ≠ 0 Cv ≈ 0,3
Log Normal	Cs ≈ 3Cv + Cv ³ = 3 Ck = 5,383

b. Curah Hujan dan Intensitas Hujan Rencana

Curah hujan rencana (CH_T) adalah curah hujan yang diprediksi akan terjadi dalam periode ulang T tahun pada suatu wilayah. CH_T ditetapkan dari curah hujan wilayah menggunakan sebaran peluang yang sesuai dengan Tabel 2. Curah hujan rencana digunakan untuk perhitungan intensitas hujan rencana (I_T), dengan metode Mononobe (persamaan 1) dalam periode ulang T1 hingga T10 tahun. Karena ketersediaan data curah hujan hanya ada 10 tahun, maka prediksi curah hujan rencana dan intensitas hujan rencana hanya bisa dilakukan untuk periode ulang hingga 10 tahun.

c. Prediksi Debit Puncak Aliran Sungai

Debit puncak model dengan metode Rasional diprediksi berdasarkan nilai masing-masing parameter komponen model yang telah didapatkan, yaitu C, I_T, dan A. Perhitungan nilai debit puncak model (Q_{pm}) metode Rasional menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{pm} = 0,028 C I_T A \quad (3)$$

Q_{pm} = Debit puncak hitung (m³detik⁻¹)

C = Koefisien aliran permukaan

I_T = Intensitas curah hujan rencana (mmjam⁻¹)

A = Luas DAS (km²)

Debit Puncak Observasi

Debit puncak observasi (Q_{po}) dihitung dari data debit puncak aliran sungai Ciliwung Hulu yang terukur oleh Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Ciliwung-Cisadane dalam periode ulang tertentu. Menurut Chow (1964) dalam Brodie dan Khan (2016), periode ulang debit adalah waktu hipotetik saat debit dengan nilai tertentu akan dilampaui satu kali dalam waktu tertentu (T tahun). Penetapan periode ulang menurut Weibull dalam Upomo dan Kusumawardani (2016) adalah sebagai berikut:

$$T = \left(\frac{n+1}{m}\right) \quad (4)$$

T = Periode ulang (tahun)

n = Jumlah data

m = Ranking data

Uji Model

Untuk menentukan tingkat keakuratan metode Rasional dalam memprediksi debit puncak DAS Ciliwung Hulu, dilakukan uji model Koefisien determinasi (R²) dan Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)

terhadap data debit puncak model hasil perhitungan distribusi curah hujan yang paling sesuai dengan Tabel 2. Koefisien determinasi (R^2) antara data debit puncak model (Q_{pm}) dengan data debit puncak observasi (Q_{po}) digunakan untuk menentukan keakuratan model dan *Nash-Sutcliffe Efficiency* (NSE) untuk menentukan kelayakan metode Rasional dalam memprediksi debit puncak.

Prediksi Debit Puncak Aliran Sungai pada Sub DAS Ciliwung Hulu

Prediksi debit puncak aliran sungai pada setiap Sub DAS Ciliwung Hulu dilakukan dengan data C , I_T , dan A pada masing-masing Sub DAS. Prediksi debit puncak dilakukan dengan model distribusi terbaik berdasarkan hasil uji model. Prediksi debit puncak tiap Sub DAS dilakukan dalam periode ulang T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T25, T50, dan T100.

Evaluasi Debit prediksi sebagai pengendali jasa lingkungan Hidrologi.

Data debit aliran sungai Ciliwung Hulu maupun debit aliran setiap anak sungai penyumbang debit aliran utama tiap periode ulang tertentu hasil prediksi dapat digunakan dalam pengendalian jasa lingkungan hidrologi (untuk penghasil/penyedia air). Debit puncak subDAS yang tinggi dapat menyumbangkan debit sungai utama yang tinggi juga. Dari sini dapat dilakukan evaluasi terhadap karakter DAS, sehingga dapat direkomendasikan untuk pengendaliannya dengan berbagai macam teknik konservasi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Karakteristik DAS Ciliwung Hulu.

Karakteristik DAS Ciliwung Hulu yang berpengaruh terhadap debit puncak aliran sungai adalah topografi, jenis tanah, dan penggunaan lahan. Topografi atau kemiringan lereng lahan mempengaruhi kecepatan aliran permukaan sehingga berpengaruh terhadap waktu konsentrasi aliran sungai pada DAS maupun pada tiap subDAS. Kemiringan lereng di lokasi penelitian dapat diklasifikasikan dalam 5 kelas, yaitu datar (0-8%), landai (8-15%), agak curam (15-25%) curam (25-45%), dan sangat curam (>45%).

Jenis tanah dan penggunaan lahan secara bersama mempengaruhi koefisien aliran permukaan (C). Jenis tanah dengan tekstur, kedalaman solum tanah, dan laju infiltrasi mempengaruhi Kelompok Hidrologi Tanah (KHT). Berdasarkan penetapan KHT oleh McCuen (2017), jenis tanah di DAS Ciliwung Hulu dapat dikelompokkan ke dalam tiga jenis KHT yaitu KHT A seluas 28,77%, KHT B seluas 1,63%, dan KHT C menempati 69,60% luasan wilayah Ciliwung Hulu sebesar 151,45km².

Penggunaan lahan di DAS Ciliwung Hulu selama tahun 2010 hingga 2019 terdiri dari pertanian lahan kering, permukiman, hutan lahan kering, hutan tanaman, perkebunan, dan sawah. Distribusi penggunaan lahan tersebut tiap tahun mengalami perubahan selama tahun 2010 hingga 2019. Hasil integrasi data penggunaan lahan dengan data KHT menghasilkan data koefisien aliran permukaan, sehingga perubahan penggunaan lahan tiap tahun berpengaruh terhadap nilai C yang selanjutnya mempengaruhi debit puncak prediksi tiap tahun.

3.2. Distribusi Curah Hujan dan Curah Hujan Rencana.

Untuk memprediksi debit puncak rencana pada periode ulang T tahun, terlebih dahulu ditetapkan curah hujan rencana (CH_T). Curah hujan rencana diperhitungkan dari curah hujan harian wilayah maksimum DAS Ciliwung Hulu. Curah hujan wilayah DAS Ciliwung Hulu dihitung dengan metode *Polygon Thiessen* dari curah hujan harian maksimum seluruh stasiun dengan mempertimbangkan wilayah yang terwakili oleh tiap stasiun penakar hujan. Stasiun hujan Citeko (30,18 km²), stasiun Cilember (33,91 km²), stasiun Gunung Mas (58,66 km²) dan stasiun Gadog (28,71 km²). Data curah hujan harian wilayah DAS Ciliwung hulu ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Curah Hujan Harian Wilayah Maksimum DAS Ciliwung Hulu

Tahun	Curah hujan wilayah (mm)
2010	52.86
2011	62.16
2012	60.79
2013	76.15
2014	65.74
2015	52.85
2016	43.82
2017	52.43
2018	144.25
2019	104.68

Dari data curah hujan harian wilayah maksimum DAS Ciliwung Hulu pada Tabel 3, dihitung parameter distribusi untuk tiap jenis distribusi yang nilainya ditampilkan pada Tabel 4. Berdasarkan pencocokan parameter di Tabel 4, maka distribusi curah hujan harian wilayah DAS Ciliwung Hulu lebih sesuai dengan distribusi Gumbel dan Log Pearson tipe III. Ruhiat (2022), mengkaji tingkat kecocokan metode distribusi peluang *Gumbel*, *Log Normal* dan *Log Pearson type III* dalam memprediksi curah hujan rencana di DAS Cimanuk, memperoleh bahwa metode distribusi Gumbel adalah yang terbaik.

Tabel 4. Hasil perhitungan parameter tiap tipe distribusi curah hujan wilayah Ciliwung Hulu

Tipe Distribusi	Syarat	Hasil	Keterangan
Normal	$Cs \approx 0$ $Ck = 3$	$Cs = 1,8093$ $Ck = 3,3937$	Kurang
Gumbel	$Cs \leq 1,1396$ $Ck \leq 5,4002$	$Cs = 1,8093$ $Ck = 3,3937$	Sesuai/ cocok
Log Pearson Tipe III	$Cs \neq 0$ $Cv \approx 0,3$	$Cs = 1,2431$ $Cv = 0,0858$	Sesuai/ cocok
Log Normal	$Cs \approx 3Cv + Cv^2 = 3$ $Ck = 5,383$	$Cs = 0,25808$ $Ck = 2,5202$	Kurang

**Debit Puncak Aliran Sungai DAS Ciliwung Hulu
Prediksi Debit Model Rasional**

1. Koefisien Aliran Permukaan (*C*)

Nilai *C* tiap tahun merupakan hasil pembobotan berdasarkan luas tiap penggunaan lahan pada setiap KHT. Nilai *C* yang digunakan merupakan rata-rata dari nilai *C* tiap tahun yaitu sebesar 0,286. Perubahan penggunaan lahan memiliki pengaruh yang cukup besar pada aliran permukaan. Penggunaan lahan bervegetasi menjadi non vegetasi seperti wilayah pertanian lahan kering menjadi permukiman akan meningkatkan koefisien aliran permukaan. Peningkatan koefisien aliran permukaan akan memperbesar nilai debit puncak.

2. Intensitas Hujan Rencana

Nilai intensitas hujan rencana (*I_T*) dihitung berdasarkan data *CH_T* menggunakan persamaan 1. Waktu konsentrasi dihitung dengan persamaan 2 sebesar 5,07 jam. Hasil perhitungan dengan distribusi Log Pearson tipe III memiliki nilai *I_T* yang lebih rendah dibandingkan hasil perhitungan dengan distribusi Gumbel. Hal tersebut dikarenakan distribusi Log Pearson tipe III menggunakan fungsi Log dalam perhitungan *CH_T* sehingga nilai *error* yang terhitung semakin rendah.

3. Debit Puncak Aliran Sungai

Debit puncak aliran sungai dihitung dengan metode Rasional berdasarkan persamaan 3. Hasil perhitungan debit puncak aliran sungai menghasilkan dua nilai, yaitu berdasarkan tipe distribusi Gumbel dan Log Pearson Type III. Debit puncak prediksi berdasar distribusi Gumbel (*Q_{pm1}*) memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan dengan distribusi Log Pearson tipe III (*Q_{pm2}*) (Tabel 7). Hal ini disebabkan oleh curah hujan rencana berdasar distribusi Gumbel lebih besar daripada distribusi Log Pearson Tipe III. Ardyansyah *et al* (2021), juga mendapatkan bahwa perhitungan curah hujan rencana dengan distribusi peluang Gumbel lebih besar dibanding dengan distribusi log Pearson Type III dan distribusi Iway Kadoya. Curah hujan rencana yang lebih besar akan menghasilkan debit prediksi yang lebih besar.

Debit Puncak Observasi

Debit puncak observasi yang digunakan untuk pengujian model Rasional adalah debit puncak

observasi pada periode ulang *T* tahun (*Q_o*). Data debit puncak observasi tahunan ditampilkan pada Tabel 5, sedangkan Debit puncak observasi hasil pendugaan pada periode ulang *T* tahun (*Q_o*) ditampilkan pada Tabel 6. Data pada Tabel 6 merupakan debit pada periode ulang *T*1 hingga *T*10 tahun yang dihitung berdasarkan persamaan 4 dan interpolasi dari data di Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Debit observasi

Tahun	Debit (m ³ /detik)
2010	62,14
2011	17,41
2012	18,03
2013	17,68
2014	37,26
2015	47,42
2016	85,61
2017	45,97
2018	120,39
2019	76,62

Tabel 6. Nilai Debit periode ulang

Periode Ulang	Debit (m ³ /detik)
1	17,41
2	46,63
3	66,09
4	78,25
5	83,16
6	88,77
7	95,10
8	101,42
9	107,74
10	114,07

Uji model Rasional dalam prediksi debit puncak DAS Ciliwung Hulu

Uji model dilakukan terhadap data debit puncak model menurut distribusi Gumbel (*Q_{pm1}*) dan Log Pearson Tipe III (*Q_{pm2}*) dengan debit puncak observasi (*Q_{po}*) (Tabel 7) untuk mengetahui keakuratan dan kelayakan metode Rasional. Data hasil uji model dapat dilihat pada Gambar 2 dengan Tabel 8 untuk distribusi Gumbel dan Gambar 3 dengan Tabel 8 untuk distribusi Log Pearson Tipe III.

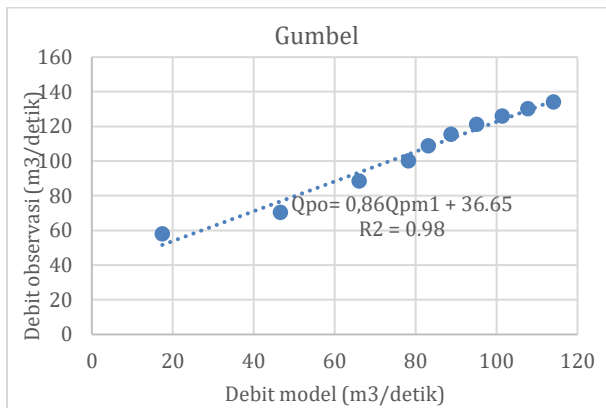
Nilai *R²* pada distribusi Log Pearson tipe III lebih tinggi yaitu sebesar 0,99 dibandingkan dengan *R²* pada distribusi Gumbel yaitu hanya sebesar 0,98 (Tabel 8). Hasil uji NSE juga menunjukkan nilai 0,14 pada distribusi Gumbel dan 0,86 pada distribusi Log Pearson tipe III (Tabel 8).

Tabel 7. Debit model (Gumbel, Q_{pm1}), Log Pearson Tipe III (Q_{pm2}), dan Debit Observasi (Q_{po})

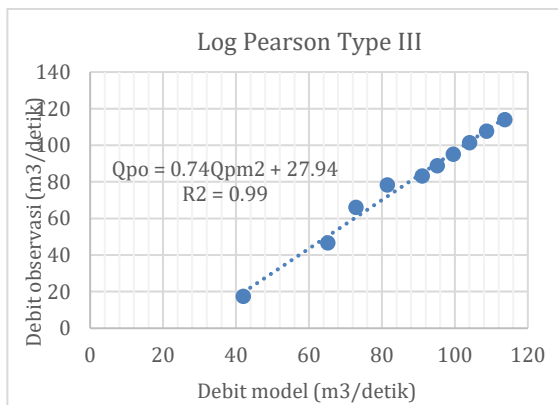
Periode Ulang (tahun)	${}^aQ_{pm1}$ (m ³ /detik)	${}^aQ_{pm2}$ (m ³ /detik)	${}^bQ_{po}$ (m ³ /detik)
1	58,10	41,98	17,41
2	70,49	65,18	46,63
3	88,61	72,87	66,09
4	100,21	81,48	78,25
5	108,79	91,10	83,16
6	115,62	95,22	88,77
7	121,29	99,53	95,10
8	126,14	104,03	101,42
9	130,38	108,74	107,74
10	134,15	113,66	114,07

Keterangan:

- Q_{pm1} = debit puncak model menurut distribusi Gumbel
- Q_{pm2} = debit puncak model menurut distribusi Log Pearson Tipe III
- Q_{po} = debit puncak observasi



Gambar 2 Hubungan debit observasi dan debit model berdasar distribusi Gumbel



Gambar 3 Hubungan debit observasi dan debit model berdasar distribusi Log Pearson tipe III

Tabel 8. Hasil Uji Model Rasional terhadap Debit Puncak berdasar Distribusi Gumbel dan Log Pearson tipe III

	R^2	NSE
Q_{pm1} (Gumbel) dan Q_{po}	0,98	0,14
Q_{pm2} (Log Pearson Tipe III) dan Q_{po}	0,99	0,86

Berdasarkan Tabel 8, nilai R^2 sebesar 0,99 dan NSE sebesar 0,86 menunjukkan bahwa debit model dapat dijelaskan oleh debit observasi sebesar 99%. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikatakan bahwa hasil pendugaan debit puncak dengan metode Rasional pada distribusi Log Pearson tipe III (Q_{pm2}) dapat mewakili 99% data debit puncak observasi

(Q_{po}) dan memiliki kelayakan sebesar 86%. Menurut Almeida *et al.* (2018) nilai R^2 yang semakin mendekati 1 menunjukkan sebaran nilai Q_{pm} dapat mewakili nilai Q_{po} . Nilai $NSE = 0,86$ menunjukkan bahwa nilai model lebih unggul dari nilai rata-rata observasi dan menunjukkan keakuratan model. Apabila dibandingkan dengan penggunaan model fisik deterministik seperti SWAT atau HEC-HMS dalam prediksi debit puncak aliran sungai di beberapa DAS di Indonesia, model tersebut menghasilkan nilai R^2 dan NSE yang lebih rendah (Mubarok *et al.*, 2015; Widiatmoko *et al.*, 2020; Utami *et al.*, 2020; dan Islami *et al.*, 2022).

Uji R^2 dan NSE menunjukkan bahwa metode Rasional memiliki keakuratan dan kelayakan sangat baik untuk digunakan dalam perhitungan debit puncak DAS Ciliwung Hulu. Nilai R^2 dan NSE pada distribusi peluang Log Pearson tipe III yang lebih tinggi menunjukkan bahwa debit puncak model lebih mendekati debit puncak observasi. Penggunaan distribusi Log Pearson Type III lebih sesuai dibandingkan dengan menggunakan distribusi Gumbel. Dengan demikian, metode Rasional dengan distribusi Log Pearson Tipe III dapat digunakan dalam pendugaan debit puncak tiap sub-DAS Ciliwung Hulu.

Debit Puncak Aliran Sungai Sub DAS Ciliwung Hulu

Pendugaan debit puncak aliran sungai dilakukan pada masing-masing sub DAS di DAS Ciliwung Hulu dengan luas masing-masing yaitu DAS Cibalok (6,40 km²), DAS Ciesek (25,43 km²), DAS Ciliwung Hulu (48,81 km²), DAS Cisarua (23,12 km²), DAS Ciseuseupan (13,11 km²), DAS Cisukabiru (18,06 km²), dan DAS Cisuren (16,52 km²) (Gambar 1). Data curah hujan dan penggunaan lahan yang digunakan juga data tahun 2010 hingga 2019. Prediksi debit puncak dihitung pada periode ulang T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7, T8, T9, T10, T25, T50, dan T100 tahun dengan metode Rasional menggunakan distribusi Log Pearson tipe III (Q_T). Prediksi debit puncak pada periode ulang T25, T50 dan T100 tahun dilakukan dengan ekstrapolasi, karena data yang tersedia secara lengkap dan kontinu hanya selama 10 tahun. Curah hujan wilayah (CH_w) di setiap Sub DAS dihitung untuk digunakan dalam menghitung curah hujan rencana (CH_T). Waktu konsentrasi di tiap sub DAS juga dihitung dengan persamaan (2), yaitu sebesar 1,97 jam (Cibalok); 3,68 jam (Ciesek); 2,78 jam (Ciliwung Hulu); 2,98 jam (Cisarua); 3,23 jam (Ciseuseupan); 2,60 jam (Cisukabiru); dan 2,01 jam (Cisuren). Curah hujan rencana (CH_T) bersama dengan waktu konsentrasi (T_c) digunakan dalam penentuan intensitas hujan rencana (I_T) menggunakan persamaan (1). Intensitas hujan rencana (I_T) bersama dengan nilai koefisien aliran permukaan (C) dan luas sub DAS (A) digunakan untuk perhitungan debit puncak rencana (Q_T), seperti pada model Rasional di persamaan (3). Debit puncak rencana tiap subDAS yang diprediksi ditampilkan di Tabel 9.

Dari hasil prediksi debit tiap periode ulang (T tahun), dapat diketahui bahwa Ciliwung Hulu merupakan subDAS yang paling besar sumbangan airnya ke sungai Ciliwung (Tabel 9). Debit semakin besar akan terjadi jika periode ulang kejadiannya semakin lama. Debit aliran sungai tiap Sub DAS tidak berkorelasi dengan luas subDAS. Sebagai contoh DAS Cisarua yang lebih luas dibanding DAS Ciseuseupan, debit prediksi DAS Cisarua lebih rendah dibandingkan DAS Ciseuseupan. Hal ini menunjukkan bahwa debit aliran sungai juga sangat dipengaruhi oleh karakter DAS yang lain, seperti kemiringan lereng, kondisi tanah, tutupan lahan, dan karakter curah hujannya. Oleh karena itu, perlu terus adanya penelitian tentang pengaruh karakter curah hujan dan karakter DAS terhadap aliran sungai Ciliwung.

Dengan diketahuinya debit prediksi setiap periode ulang tahun tertentu di setiap Sub DAS, dapat digunakan sebagai kendali dalam pengelolaan Sub DAS, yang selanjutnya juga mempengaruhi debit DAS sungai utama. BPSDA Ciliwung-Cisadane (2014) telah menetapkan bahwa jika debit aliran sungai Ciliwung > 90 m³/detik sudah masuk ke kategori Siaga 4 (siaga 4 pada debit 90m³/detik - 276 m³/detik). Berdasar Tabel 7, kondisi siaga 4 dapat terjadi dalam periode ulang empat tahun sekali. Teknologi konservasi tanah dan air dapat disarankan terhadap SubDAS dengan potensi banjir tinggi, dengan harapan selain

mencegah banjir di hilir juga untuk meningkatkan simpanan dan ketersediaan air di musim kemarau.

Pengelolaan DAS Ciliwung Hulu tidak hanya untuk tujuan pencegahan banjir, tetapi juga sebagai jasa lingkungan penyedia air. Agar tercapai kelestarian DAS, diperlukan perencanaan dan pengelolaan DAS yang berwawasan lingkungan dengan mempertimbangkan DAS sebagai suatu unit pengelolaan berdasar jasa lingkungan pengaturan tata air dan banjir. Menurut Suprpto *et al.* (2016), ketersediaan air Sungai Ciliwung berdasar air di bendung Katulampa, masih cukup untuk memenuhi kebutuhan di Jabodetabek hingga tahun 2023. Analisis ini berdasar pada ketersediaan air dengan Debit Andalan 90%. Debit Andalan 90 % adalah debit air sungai sebagai penyedia air baku dan Pembangkit Listrik Tenaga Air (SNI 6738, 2015). Namun, apakah ketersediaan air di musim kemarau (berdasar aliran dasar/ *base flow*) masih dapat memenuhi Debit Andalan 90% tersebut, masih perlu dilakukan kajian/ penelitian secara detil. Begitu juga, dengan makin bertambahnya jumlah penduduk, apakah ketersediaan air berbasis debit andalan 90% setelah tahun 2023 masih terpenuhi. Agar dapat berkesinambungan, pengelolaan DAS perlu dilakukan secara terpadu antar lintas sektor. Pengelolaan DAS Ciliwung juga perlu dilakukan dengan pendekatan kelembagaan (Saridewi *et al.*, 2014).

Tabel 9. Debit puncak rencana prediksi pada setiap Sub DAS Ciliwung Hulu

T ^a	Debit Puncak Rencana (Q _T) Sub DAS Ciliwung Hulu (m ³ /detik)						
	Cibalok	Ciesek	Ciliwung Hulu	Cisarua	Ciseuseupan	Cisukabiru	Cisuren
1	8,67	10,28	42,16	13,82	18,18	9,27	14,52
2	9,28	12,17	46,21	15,04	19,31	10,14	15,79
3	9,95	14,41	50,66	16,36	20,51	11,09	17,17
4	10,65	17,06	55,53	17,80	21,78	12,13	18,67
5	11,41	20,20	60,87	19,36	23,13	13,27	20,30
6	11,66	21,32	62,68	19,89	23,58	13,66	20,85
7	11,92	22,49	64,54	20,43	24,04	14,05	21,42
8	12,18	23,73	66,45	20,98	24,50	14,46	22,00
9	12,45	25,04	68,42	21,55	24,97	14,89	22,60
10	12,73	26,42	70,44	22,14	25,46	15,32	23,22
25	14,40	35,80	83,10	25,76	28,37	17,90	26,85
50	15,30	41,50	90,05	27,73	29,91	19,81	29,52
100	16,30	48,50	98,02	29,97	31,62	21,73	32,18

Keterangan:

^aT: periode ulang (Tahun)

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa prediksi debit puncak DAS Ciliwung Hulu dengan Metode Rasional memiliki tingkat akurasi yang tinggi, dengan nilai NSE dan R² masing-masing 0,86 dan 0,99 berdasar distribusi Log Pearson tipe III; sedangkan berdasar distribusi Gumbel bernilai masing-masing 0,14 dan 0,98. Dengan demikian distribusi Log Pearson tipe III lebih sesuai digunakan untuk memprediksi debit puncak DAS Ciliwung Hulu. Dengan demikian, model Rasional berdasar distribusi Log Pearson Type III dapat digunakan untuk memprediksi debit puncak aliran sungai dari tiap SubDAS Ciliwung Hulu dengan menggunakan data tiap SubDAS yang terdiri atas: penggunaan lahan, jenis

tanah, curah hujan wilayah, dan topografi. Debit puncak Sub DAS Ciliwung Hulu berdasar distribusi Log Pearson tipe III dapat diprediksi pada periode ulang T1 hingga T10, T25, T50 dan T100 tahun. Pendugaan debit puncak pada periode ulang 1 tahun menghasilkan nilai terendah di DAS Cibalok sebesar 8,67 m³/detik dan tertinggi di DAS Ciliwung Hulu sebesar 42,16 m³/detik. Begitu juga, prediksi debit puncak pada periode ulang 100 tahun terendah juga terjadi di DAS Cibalok sebesar 16,30 m³/detik dan tertinggi juga di DAS Ciliwung Hulu sebesar 98,02 m³/detik. Nilai debit puncak prediksi dipengaruhi secara bersama oleh parameter C, I dan A yang digunakan dalam metode Rasional pada masing-masing Sub DAS. Dengan mengetahui debit prediksi

dari tiap SubDAS, maka dapat diketahui SubDAS yang merupakan penyumbang terbesar debit Ciliwung Hulu. Sebaiknya tersedia data curah hujan, debit, dan karakteristik DAS dalam jangka waktu yang lebih lama secara kontinyu, agar dapat digunakan untuk prediksi debit puncak dengan periode ulang yang lebih panjang dan menghasilkan akurasi yang lebih tinggi. Teknologi konservasi tanah dan air dapat disarankan terhadap SubDAS dengan potensi banjir tinggi, dengan harapan selain mencegah banjir di hilir juga untuk meningkatkan simpanan dan ketersediaan air di musim kemarau. Pengelolaan terhadap aliran sungai Ciliwung Hulu disarankan tidak hanya ditujukan untuk mencegah banjir, tetapi juga untuk jasa penyediaan air. Perlu terus dilakukan penelitian tentang pengaruh karakter curah hujan maupun karakter DAS terhadap debit aliran sungai di DAS Ciliwung Hulu.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih saya ucapkan kepada Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Ciliwung-Cisadane, Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), Direktorat Jendral Planologi Kehutanan dan Tata Lingkungan, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian (BBSDLP), dan Badan Informasi Geospasial (BIG).

Daftar Pustaka

- Almeida1, R.A., S.B. Pereira, D. B. F. Pinto. 2018. Calibration and Validation of The SWAT Hydrological Model for The Mucuri River Basin. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 38 (1):55-63.
- de Almeida, I. K., Almeida, A. K., Anache, J. A. A., Steffen, J. L., and Alves Sobrinho, T. 2014. Estimation on Time of Concentration of Overland Flow in Watersheds: A Review. *Geociencias* 33(4): 661-671.
- Ardiansyah, M., Suyono, I. Titisariwati, T. A. Cahyadi, Kresno. 2021. Analisis Perbandingan Perhitungan Curah Hujan Rencana Berdasarkan Periode Ulang Hujan Dengan Metode Gumbell, Metode Log Pearson III, Metode Iway Kadoya Studi Kasus Tambang Andesit. *Jurnal Inovasi Pertambangan dan Lingkungan*. 1(2): 11 - 16
- Arisandhy, D.R., Westi Susi Aysa, W. S., dan Ihsan. 2013. Prediksi Genangan Banjir Menggunakan Metode Rasional USSCS 1973. Studi Kasus: Perumahan BTN Hamzy, BTN Antara, BTN Asal Mula, Kelurahan Tamalanrea Indah, Kota Makassar. *Prosiding Temu Ilmiah Ikatan Peneliti Lingkungan Binaan Indonesia IPLBI*. Jurusan Arsitektur, Universitas Hasanuddin · Selasa, 12 November 2013
- Auliyani, D. E.B. Nugrahanto. 2020. Peak Discharge in Jemelak Subwatershed, Sintang District. *Jurnal Sylva Lestari*. Vol. 8 No. 3, September 2020 (273-282)
- Baiamonte, G. 2020. A rational runoff coefficient for a revisited rational formula. *Hydrological Sciences Journal*, 65(1): 112- 126.
- BPSDA Ciliwung-Cisadane. 2014. Peraturan Menteri Kehutanan Republik Indonesia Nomor: P.61/Menhut-II/2014 Tentang Monitoring dan Evaluasi Pengelolaan Daerah Aliran Sungai. Jakarta.
- Brodie, I. M. dan S. Khan. 2016. A direct analysis of flood interval probability using approximately 100-year streamflow datasets. *Hydrological Sciences J. Vol 61 (12): 2213-2225.*
- Bushron, R., L M Rachman, D P T Baskoro. 2021. Projected conservation of agricultural land to prevent detrimental effects of land-use changes upstream Brantas Watershed in Indonesia. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science* 756 (2021) 012055
- Departemen Kehutanan. 2015. Penyusunan Rencana Detil Penanganan Banjir di Wilayah Jabodetabekjur. Balai Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Citarum-Ciliwung, Direktorat Jenderal Rehabilitasi Lahan dan Perhutanan Sosial. Departemen Kehutanan. Jakarta
- Hendri, A. 2015. Analisis Metode Intensitas Hujan Pada Stasiun Hujan Pasar Kampar Kabupaten Kampar. *Annual Civil Engineering Seminar 2015, Pekanbaru*. ISBN: 978-979-792-636-6
- Islami, F. A. 2022. Pemodelan Debit Banjir Pada DAS Sadar Propinsi Jawa Timur Berdasarkan Prediksi Curah Hujan Dan Perubahan Penggunaan Lahan. Tesis. Program Pascasarjana IPB. Bogor
- Kuswardini L. 2015. Analisis debit puncak dan aliran permukaan DAS Ciliwung hulu pada bulan Januari 2014 [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor.
- McCuen, R. H. (2017). *Hydrologic analysis and Design (4nd ed.)*. Prentice-Hall.
- Moriasi, D.N.; Gitau, M.W.; Pai, N.; Daggupati, P. 2015. Hydrologic and water quality models: Performance measures and evaluation criteria. *Am. Soc. Agric. Biol. Eng.*, 58: 1763-1785.
- Mubarok, Z., K. Murtalaksono, dan E.D. Wahjunie. 2015. Kajian Respons Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Karakteristik Hidrologi DAS Way Betung, Lampung. *J. Penelitian Kehutanan Wallace Vol 4(1):1-10.*
- Muhadi., Limantara, M., dan Prayogo, T.B. 2021. Analysis of Flood Peak Discharge Based on Watershed Shape Factors. *Civil and Environmental Science J. (Civense)*, 5(1),816. doi: <https://doi.org/10.21776/ub.civense.2022.00501.2>
- Naharuddin, N., S. M. M. Sadeghi, A. Malik, A. Rosyid and A. Ahyauddin. 2021. Peak discharge estimation to evaluate and monitor the Gumbasa Watershed performance, Central Sulawesi, Indonesia. *Agricultural Engineering International: CIGR J.*, 23 (3):31-41.
- Nezalia G. 2017. Analisis indeks aliran dasar Sungai Ciliwung dengan metode tapis dari Lyne-Hollick dan Eckhardt [skripsi]. Bogor: Institut Pertanian Bogor
- Nomleni, R. A., Judi K. Nasjono, Rosmiyati A. Bella. 2019. Perhitungan Debit Simulasi dengan Debit Terukur pada Daerah Aliran Sungai Manikin. *Jurnal Teknik Sipil*, Vol. VIII, No. 2: 141-152
- Rachman, L.M., Y. Hidayat, D.P.T. Baskoro, dan N. Noywuli. 2017. Simulasi Pengendalian Debit DAS Ciliwung Hulu Dengan Menggunakan Model SWAT. *Prosiding Seminar Nasional Pengelolaan Daerah Aliran Sungai Secara Terpadu*. Universitas Riau Pekanbaru. 27 November 2017.
- Rashid, M., R. Kausar, S. Alvi, and M. R. Sajjad. 2015. Assessment of runoff and sediment losses under different slope gradients and crop covers in semi-arid watersheds. *Soil and Environment*, 34(1): 75 - 81.
- Ratna. D. P., M. B. R. Prayoga, dan A. Yananto. 2015. Pemodelan Hidrologi Dengan Menggunakan WMS (*Watershed Modeling System*), Daerah Kajian Di DAS Ciliwung Hulu. *Jurnal Sains dan Teknologi Modifikasi Cuaca*, Vol. 16, No. 1, 2015: 1-7

- Ruhiat, D. 2022. Implementasi Distribusi Peluang Gumbel Untuk Analisis Data Curah Hujan Rencana. *Teorema: Teori dan Riset Matematika*, 7(1): 213–224,
- Saridewi, T. R., S. Hadi, A. Fauzi, dan I. W. Rusastra. 2014. Penataan Ruang Daerah Aliran Sungai Ciliwung Dengan Pendekatan Kelembagaan Dalam Perspektif Pemantapan Pengelolaan Usahatani. Forum penelitian Agro Ekonomi. Vol 32(2): 87–102
- [SNI] Standar Nasional Indonesia 2015. *Perhitungan Debit Andalan Sungai Dengan Kurva Durasi Debit*. Badan Standarisasi Nasional (ID). SNI6738:2015.
- Sudaryatno, N Rahardjo, Winanda, S Y Saputri. 2021. Estimation of peak discharge using a rational method in Kodil Sub-Watershed, Purworejo Regency, Central Java. The International Conference on Smart and Innovative Agriculture. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 686 (2021) 012025.
- Suprpto, M., A. Prasetyo, dan A.P. Saido. 2016. Prediksi Pasok Dan Kebutuhan Air Sungai Ciliwung Ruas Hulu Bendung Katulampa. Prediksi Pasok Dan Kebutuhan Air Sungai Ciliwung Ruas Hulu Bendung Katulampa.
- Utami, W.U., E.D. Wahjunie, dan S.D. Tarigan., 2020. Karakteristik Hidrologi dan Pengelolaannya dengan Model Hidrologi *Soil and Water Assessment Tool* Sub DAS Cisadane Hulu. *J. Ilmu Pertanian Indonesia*. Vol. 25 (3): 344-350.
- Upomo TC, Kumawardani R. 2016. Pemilihan distribusi probabilitas pada Analisa hujan dengan metode *goodness of fit test*. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*. 18 (2): 139-148. <https://doi.org/10.15294/jtsp.v18i2.7480>
- Wei, L., H. Sun, G. Wu, and W. Xie. 2019. The effects of rainfall regimes and rainfall characteristics on peak discharge in a small debris flow-prone catchment. *Journal of Mountain Science*, 16(7): 1646-1660.
- Widiatmoko, N., S.D. Tarigan., E.D. Wahjunie. 2020. Analisis Respons Hidrologi untuk Mendukung Perencanaan Pengelolaan Sub-DAS Opak Hulu, Daerah Istimewa Yogyakarta. *J. Ilmu Pertanian Indonesia*
- Widyawati, D. Yuniarti, dan R. Goejantoro. 2020. Analisis Distribusi Frekuensi dan Periode Ulang Hujan Studi Kasus: Curah Hujan Kecamatan Long Iram Kabupaten Kutai Barat Tahun 2013-2017). *Jurnal EKSPONENSIAL11* (1):65-70