Analisis Pengaruh Perubahan Lahan terhadap Debit Banjir pada Sub Das Cibeureum, Kawasan Bandung Utara

Analysis of Land Use Change to Flood Discharges in Cibeureum Sub-Watershed, North Bandung Area

Fauziyah Hani, Moh. Sapari Dwi H., dan Hendarmawan

Program Studi Magister Teknik Geologi, Fakultas Teknik Geologi, Universitas Padjadjaran
Jl. Dipati Ukur No.35, Kota Bandung, Jawa Barat 40132, Indonesia

e-mail: fauziyahhani90@gmail.com

naskah diterima 6 April 2020, selesai direvisi 20 April 2021, dan disetujui 30 April 2021

ABSTRAK

Sub DAS Cibeureum merupakan bagian dari Kawasan Bandung Utara. Pertumbuhan jumlah penduduk mengakibatkan pembangunan terus meningkat dan karena kondisi udaranya sejuk serta pemandangannya indah, Kawasan Bandung Utara menyebabkan lokasi ini banyak diminati. Akibat pemanfaatan lahan untuk pembangunan villa dan kawasan wisata adalah terjadinya perubahan lahan setiap tahunnya. Kawasan Bandung Utara berada di kawasan perbukitan, tersusun oleh batuan vulkanik dan memiliki curah hujan yang cukup tinggi ($\pm 1500 - 2500$ mm/tahun), sehingga lokasi ini sebagai kawasan resapan air yang baik sehingga memiliki potensi airtanah yang besar. Namun, perubahan lahan yang terus menerus terjadi mengakibatkan kawasan resapan tidak berfungsi dengan baik dan memperbesar debit limpasan permukaan. Akibatnya dapat terjadi krisis sumber daya air dan menyebabkan permasalahan baru salah satunya adalah banjir di hilir sungai. Oleh karena itu, perlu diketahui seberapa besar perubahan tata guna lahan di Sub DAS Cibeureum dan dampaknya terhadap besar debit limpasan di hilir Sub DAS. Dalam penelitian ini penulis menganalisis perubahan lahan dan besar koefisien *run-off* di Sub DAS Cibeureum pada tahun 2006, 2009, 2011, 2015, 2016, dan 2017. Selanjutnya penulis menghitung besar debit banjir rencana periode ulang 2, 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun dengan menggunakan metode rasional. Dari hasil perhitungan didapat bahwa nilai koefisien *run-off* meningkat setiap tahunnya yang mengakibatkan perhitungan debit banjir rencana berubah dan meningkat. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa dalam perencanaan infrastruktur bangunan air atau saluran drainase untuk pengelolaan air perlu dilakukan evaluasi setiap tahunnya dikarenakan tutupan lahan dan nilai koefisien *run-off* dapat berubah setiap tahunnya.

Kata kunci: debit banjir, Kawasan Bandung Utara, koefisien limpasan, perubahan tutupan lahan

ABSTRACT

Cibeureum sub-watershed is part of the North Bandung area. The growth in population has resulted in development continuing to increase and due to the cool air conditions and beautiful scenery, the North Bandung area has made much in demand. The result land use for the construction of villas and tourist areas is that the land changes every year. The North Bandung area is located in a hilly area, composed of volcanic rocks and has a fairly high rainfall ($\pm 1500 - 2500$ mm / year), so this is a good water catchment area meaning has great groundwater potential. However, land changes which continue to occur have resulted in the infiltration area not functioning properly and increasing the discharge of surface run-off. As a result, a water resource crisis can occur and cause new problems, one of which is flooding downstream of the river. Therefore, it is necessary to know the extent of land use change in the Cibeureum Sub-watershed and its impact on the amount of run-off discharge in the downstream of the Sub-watershed. In this study we analyzed land changes and the run-off coefficient in the Cibeureum sub-watershed in 2006, 2009, 2011, 2015, 2016 and 2017. Next, we calculated the flood discharge plans for the return period of 2, 5, 10, 20, 50, and 100 years using the rational method. From the results, it was found that the run-off coefficient

value increases every year and it causes the design flood discharge to changes and increases as well. Therefore, it can be concluded that in planning water infrastructure or drainage channels for water management it is necessary to evaluate every year because the land cover and run-off coefficient values can change every year.

Keywords: flood discharges, North Bandung Area, run-off coefficient, landuse change

PENDAHULUAN

Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) Cibeureum (Gambar 1) merupakan bagian dari kawasan Bandung Utara. Sub DAS Cibeureum menempati sebagian besar Kecamatan Lembang, Kabupaten Bandung Barat. Pada tahun 2014 - 2020, laju pertumbuhan penduduk Kabupaten Bandung Barat rata-rata meningkat 1,09% (BPS, 2020). Jumlah penduduk yang meningkat mengakibatkan fenomena urbanisasi terus terjadi di Kawasan Bandung Utara serta mengakibatkan perubahan lahan setiap tahunnya. Faktor pemicu pembangunan perumahan di Bandung Utara selain dipengaruhi oleh faktor fisik lingkungan luas lahan dengan panorama indah dan sejuk juga dipengaruhi oleh faktor aksesibilitas yang baik dan kedekatan dengan tempat kerja (Masri dan Purwaamijaya, 2011)

Curah hujan yang cukup tinggi yaitu sekitar $\pm 1500 - 2500$ mm/tahun (Tabel 5) dan berada di kawasan perbukitan menjadikan Bandung Utara sebagai kawasan resapan air yang baik sehingga memiliki potensi air tanah yang besar. Kawasan ini mempunyai peran yang sangat penting dalam penyediaan air tanah di Cekungan Bandung. Suplai air tanah bagi wilayah cekungan ini

sekitar 60% berasal dari Bandung Utara, dan 40% sisanya berasal dari Kawasan Bandung Selatan (PERDA JABAR No. 2 Tahun 2016). Di samping itu, perubahan tutupan lahan dari lahan hijau menjadi pemukiman di Bandung Utara, akan mengakibatkan air hujan tidak maksimal meresap ke dalam tanah sehingga, kawasan resapan tidak berfungsi dengan baik (Wibowo, 2011). Hal tersebut dapat menyebabkan krisis sumber daya air dan menyebabkan permasalahan lingkungan. Tercatat antara 2015-2018, wilayah konservasi kritis bertambah di KBU sebesar 1,41% (Samodro drr., 2020).

Perubahan tutupan lahan memiliki kontribusi pada bertambahnya air limpasan (Nurrochman drr., 2018). Perubahan lahan juga akan berdampak pada suplai air dengan mengubah proses-proses hidrologi seperti infiltrasi, pengisian air tanah, dan limpasan permukaan (Lin *et al.*, 2007). Jika perubahan lahan terjadi di kawasan hulu akan menyebabkan ektremitas debit air yang menimbulkan ancaman banjir dan kekeringan di wilayah hilir DAS (Sabar, 2009). Selain itu, fenomena urbanisasi juga dapat menyebabkan penurunan jumlah dan frekuensi kejadian debit maksimum (Chu drr., 2013).

Gambar 1. Lokasi penelitian Sub DAS Cibeureum (<http://earth.google.com/web/>, diakses januari 2020).

Selain curah hujan dan tutupan lahan, keadaan topografi mendukung adanya aliran air deras ke bagian lembah di wilayah Bandung bagian tengah dan selatan (Sukiyah dr., 2004). Tercatat pada 2016, daerah Bandung mengalami hujan lebat dengan intensitas hujan 77,7 mm selama kurang lebih 1,5 jam dan mengakibatkan di daerah Pasteur terjadi banjir (Permana dr., 2018). Contoh lain terjadinya banjir bandang di daerah Cicaheum, Kota Bandung, yang diakibatkan karena ketidakmampuan daerah hulu (Bandung Utara) sebagai kawasan resapan dalam meresapkan air hujan (Nurrohman, 2019)

Daerah Pasteur merupakan bagian hilir dari Sub DAS Cibeureum dan memiliki topografi datar sehingga menjadi potensi area genangan. Oleh karena itu, perlu diketahui seberapa besar perubahan tata guna lahan di Sub DAS Cibeureum dan dampaknya terhadap besar debit limpasan di hilir Sub Das, sehingga dapat dijadikan acuan

untuk menentukan strategi konservasi yang tepat dan efektif bagi daerah penelitian agar terhindar dari bencana banjir di kemudian hari.

Berdasarkan Keppres No.12 Tahun 2012, Sub DAS Cibeureum merupakan bagian dari Hulu DAS Citarum dan merupakan bagian dari Wilayah Sungai Citarum. Secara administratif, Sub DAS ini termasuk ke dalam sebagian besar Kecamatan Lembang, Kabupaten Bandung Barat, dan sebagian kecil Kabupaten Bandung serta Kota Bandung. Luas Sub DAS Cibeureum adalah sebesar 31,48 km².

Berdasarkan *Peta Geologi Lembar Bandung* (Silitonga, 1973) (Gambar 2), batuan yang menyusun Sub DAS Cibeureum didominasi oleh batuan vulkanik. Batuan tersebut di antaranya, Tufa Pasir (Qyd) yaitu tufa pasir coklat sangat berpori, mengandung kristal-kristal hornblenda yang kasar, lahar lapuk kemerah-merahan, lapisan-lapisan lapili dan breksi yang berasal

Gambar 2. Peta geologi regional Sub DAS Cibeureum (Modifikasi dari Silitonga, 1973).

dari G. Dano dan G. Tangkubanparahu (erupsi “C”, van Bemmelen, 1934), Hasil Gunungapi Muda Lava (Qyl) yang terdiri atas lava, Tufa Berbatuapung (Qyt) yang terdiri atas pasir tufaan, lapili, bom-bom, lava berongga dan kepingan-kepingan andesit-basal padat yang bersudut dengan banyak bongkah-bongkah dan pecahan-pecahan batuapung berasal berasal dari G. Tangkubanparahu dan G. Tampomas, dan Hasil Gunungapi Tua Tak Teruraikan (Qvu) yang terdiri atas breksi gunungapi, lahar, dan lava berselang-seling.

Berdasarkan *Peta Geologi Teknik Lembar Bandung, Jawa Barat* (Djadja dan Hermawan, 1996) (Gambar 3), litologi yang menyusun daerah penelitian yaitu terdiri atas Satuan Lanau Lempungan dan Lempung Organik; Satuan Lempung Tufaan dan Lempung Lanauan; Satuan Batupasir, Konglomerat, dan Batupasir Tufaan; dan Satuan Breksi dan Lahar.

METODE PENELITIAN

Tahap pengolahan data dalam penelitian ini meliputi analisis batas Sub DAS Cibeureum dan analisis karakteristik DAS seperti kemiringan lereng berdasarkan peta topografi dan jenis tanah yang diperoleh peta geologi teknik yang diterbitkan oleh Direktorat Geologi Tata Lingkungan. Selanjutnya inventarisasi data curah hujan dan mengisi data curah hujan yang kosong dengan metode *Inversed Square Distance*. Kemudian dilakukan pengujian seri data hujan dengan uji konsistensi dan uji homogenitas. Uji Konsistensi data dimaksudkan untuk menguji kebenaran data lapangan yang tidak dipengaruhi oleh kesalahan saat pengiriman atau pengukuran. Data tersebut harus menggambarkan fenomena hidrologi seperti keadaan sebenarnya di lapangan. Cara pengujian konsistensi data hujan dapat dilakukan dengan metode *Rescaled Adjusted Partial Sums (RAPS)*. Dalam metode

Gambar 3. Peta geologi teknik Sub DAS Cibeureum (Modifikasi dari Djadja dan Hermawan, 1996).

ini, konsistensi data hujan ditunjukkan dengan nilai kumulatif penyimpangannya terhadap nilai rata-rata berdasarkan persamaan berikut (Kamiana, 2011):

$$Sk^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \dots\dots\dots (1)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum Y_i}{N} \dots\dots\dots (2)$$

dengan $k = 1, 2, \dots, N$; pada saat $k = 0$ maka $Sk^*=0$

$$Dy^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(Y_i - \bar{Y})^2}{N} \dots\dots\dots (3)$$

$$Sk^{**} = \frac{Sk^*}{Dy} \dots\dots\dots (4)$$

di mana Sk^* adalah nilai kumulatif penyimpangannya terhadap nilai rata-rata, Y_i merupakan nilai data Y ke- i , $\bar{Y}$ adalah nilai Y rata - rata, n adalah jumlah data Y , Sk^{**} merupakan nilai *Rescaled Adjusted Partial Sums* (RAPS), dan D_y merupakan deviasi standar seri data Y . Setelah Sk^{**} diperoleh untuk setiap k , tentukan nilai Q dan R terhitung dengan persamaan berikut:

$$Q = |Sk^{**}| \text{ maks atau } R = Sk^{**} \text{ maks} - Sk^{**} \text{ min} \dots\dots\dots (5)$$

Bandingkan, untuk jumlah data (n) dan derajat kepercayaan (α) tertentu, Jika $Q_{\text{terhitung}} < Q_{\text{kritis}}$ atau $R_{\text{terhitung}} < R_{\text{kritis}}$, maka seri data yang di analisis adalah konsisten.

Data yang dianggap homogen adalah jika tidak ditemukan adanya perbedaan nilai rata-rata dan varians suatu sub kelompok data dengan sub kelompok data lainnya (Soewarno, 1995). Uji t digunakan untuk melihat homogenitas suatu seri data yang dihitung dengan persamaan:

$$t_{\text{hitung}} = \frac{(\bar{X}_1 - \bar{X}_2)}{\sigma \left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2} \right)^{1/2}} < t_{\text{kritis}} \dots\dots\dots (6)$$

$$\sigma = \left(\frac{(N_1 * S_1^2) + (N_2 * S_2^2)}{N_1 + N_2 - 2} \right)^{1/2} \dots\dots\dots (7)$$

$$S_1 = \sum \frac{(X_{1i} - \bar{X}_1)^2}{N_1 - 1} \dots\dots\dots (8)$$

$$S_2 = \sum \frac{(X_{2i} - \bar{X}_2)^2}{N_2 - 1} \dots\dots\dots (9)$$

$$Dk = N_1 + N_2 - 2 \dots\dots\dots (10)$$

di mana t merupakan variabel - t terhitung, $\bar{X}_1$ merupakan rata - rata hitung sampel ke-1, $\bar{X}_2$ merupakan rata - rata hitung sampel ke-2, N_1 = jumlah sampel set ke-1, N_2 = jumlah sampel set ke-2, σ merupakan deviasi standar S_1^2 merupakan varian sampel set ke -1, S_2^2 merupakan varian sampel set ke -2, dk merupakan derajat kebebasan. Berdasarkan hasil perhitungan nilai t (menggunakan persamaan di atas), akan diperoleh 2 kemungkinan yaitu: $T_{\text{terhitung}} > t_{\text{kritis}}$; artinya kedua sampel yang diuji tidak berasal dari populasi yang sama, jika $T_{\text{terhitung}} > t_{\text{kritis}}$; artinya kedua sampel yang diuji berasal dari populasi yang sama.

Selanjutnya data yang sudah homogen dan konsisten, dihitung rata-rata curah hujannya menggunakan metode *polygon thiessen*. Data curah hujan terdiri atas 6 stasiun curah hujan (Cipeusing, Dago Pakar, Kayu Ambon, Lembang, Margahayu, dan Geofisika Bandung). Data tersebut yang diperoleh dari PUSAIR. Metode ini dilakukan dengan cara menghubungkan antara stasiun pencatat hujan terdekat dengan garis putus-putus sehingga membentuk segitiga, lalu dibuat garis berat pada sisi-sisi segitiga dengan garis penuh sehingga membentuk poligon. Persamaan yang dipakai dalam metode ini adalah sebagai berikut (Hadisusanto, 2010):

$$\bar{p} = \frac{A_1 p_1 + A_2 p_2 + \dots + A_n p_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n} \dots\dots\dots (11)$$

Dimana $\bar{p}$ merupakan jumlah hujan rata-rata kawasan, $p_1, p_2, \dots, p_n$, merupakan jumlah hujan

pada stasiun 1, 2, ..., n , dan $A_1, A_2, \dots, A_n$ merupakan luas daerah mewakili stasiun 1, 2, ..., n . Selanjutnya dilakukan analisis hidrologi meliputi analisis data curah hujan rancangan dengan metode distribusi terpilih (Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Gumbel, dan Distribusi Log Pearson Tipe III), perhitungan intensitas curah hujan dengan menggunakan metode Mononobe, dan dilakukan uji distribusi dengan uji Chi Kuadrat dan Smirnov Kolmogorov.

Tahap pertama untuk analisis hidrologi adalah menyiapkan data hujan yang sudah dipilih berdasarkan metode pemilihan data terbaik menurut ketersediaan data. Data curah hujan maksimum diurutkan dari kecil ke besar (atau sebaliknya). Selanjutnya tentukan parameter statistik seperti: *mean* ($\bar{X}$), *standard deviation* (S), *Coefficient of variation* (C_v), *Coefficient of skewness* (C_s), dan *Coefficient of kurtosis* (C_k). Persamaan untuk menghitung parameter statistik dapat dilihat pada Tabel 1.

Selanjutnya tentukan jenis distribusi yang sesuai berdasarkan parameter statistik yang ada (Distribusi Normal, Distribusi Log Normal, Distribusi Gumbel, Distribusi Log Pearson Tipe III) (Harto, 1993) (Table 2).

Tabel 2. Syarat pemilihan jenis distribusi (Harto, 1993)

Jenis Sebaran	Syarat	
Normal	$C_s \approx 0$	
Log Normal	$C_s \approx 3C_v$	$C_s \geq 0$
Gumbel	$C_s \approx 1,4$	$C_k \approx 5,4$
Log Pearson III	$C_s + / -$, dan tidak memenuhi semua syarat diatas	

Persamaan untuk menghitung setiap jenis distribusi (Soemarto, 1995) dapat dilihat pada Tabel 3.

Intensitas curah hujan dihitung dengan menggunakan persamaan Mononobe. Berikut persamaan Mononobe (Hadisusanto, 2010):

$$I = \frac{R_{24}}{224} \left(\frac{24}{T_c} \right)^{\frac{2}{3}} \dots \dots \dots (12)$$

Di mana R_{24} adalah curah hujan pada periode ulang 2,5,10,20,50,100 tahun dalam satuan mm/jam dan T_c adalah waktu konsentrasi dalam satuan jam. Untuk menghitung waktu konsentrasi, digunakan persamaan Kirpich (1940):

$$T_c = 0,01947 x L^{0,77} x S^{-0,385} \dots \dots \dots (13)$$

Tabel 1. Persamaan untuk menghitung parameter statistik (Soewarno, 1995)

Parameter	Rumus	Keterangan
Nilai Rata-rata	$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n}$	$\bar{X}$ = nilai rata-rata curah hujan (mm/hari) x_i = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke-i (mm/hari) n = jumlah data curah hujan
Standar Deviasi	$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$	S = standar deviasi curah hujan $\bar{X}$ = nilai rata-rata curah hujan (mm/hari) x_i = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke-i (mm/hari) n = jumlah data curah hujan
Koefisien Variasi	$C_v = \frac{S}{\bar{X}}$	C_v = Koefisien variasi S = standar deviasi curah hujan $\bar{X}$ = nilai rata-rata curah hujan (mm/hari)
Koefisien Skewness	$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)S^3}$	C_s = Koefisien Skewness S = standar deviasi curah hujan $\bar{X}$ = nilai rata-rata curah hujan (mm/hari) x_i = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke-i (mm/hari) n = jumlah data curah hujan
Koefisien Kurtosis	$C_k = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)(n-3)S^4} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^4$	C_k = Koefisien Kurtosis S = standar deviasi curah hujan $\bar{X}$ = nilai rata-rata curah hujan (mm/hari) x_i = nilai pengukuran dari suatu curah hujan ke-i (mm/hari) n = jumlah data curah hujan

Tabel 3. Persamaan setiap jenis distribusi untuk analisis frekuensi curah hujan (Soemarto, 1995)

Jenis Distribusi	Rumus	Keterangan
Normal	$X_r = \bar{X} + (K_r \cdot S)$	X_r = curah hujan rencana (mm/hari) $\bar{X}$ = curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari) K_r = faktor frekuensi, nilainya tergantung dari T (Variabel Reduksi Gauss) S = Standar Deviasi
Log Normal	$\text{Log} X_r = \text{Log} \bar{X} + (K_r \cdot S \text{Log} X)$	X_r = curah hujan rencana (mm/hari) $\bar{X}$ = curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari) K_r = faktor frekuensi, nilainya tergantung dari T (Variabel Reduksi Gauss) S = Standar Deviasi
Gumbel	$X_r = \bar{X} + (S / S_n)(Y - Y_n)$	X_r = curah hujan rencana (mm/hari) $\bar{X}$ = curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari) S = Standar Deviasi S_n = reduced standar Y_n = reduced mean Y_t = reduced variate
Log Pearson III	$\text{Log} X_r = \text{Log} \bar{X} + (K_r \cdot S \text{Log} X)$	X_r = curah hujan rencana (mm/hari) $\bar{X}$ = curah hujan maksimum rata-rata (mm/hari) K_r = variabel standar, besarnya tergantung koefisien kepercengan (C_s atau G pada tabel frekuensi K_T untuk Distribusi Log Pearson Tipe III) S = Standar Deviasi

di mana T_c adalah waktu konsentrasi dalam satuan menit, L adalah panjang maksimum perjalanan air dalam satuan meter, S adalah kemiringan daerah aliran sungai dimana $S = \Delta H / L$ dan ΔH merupakan beda tinggi antara titik terjauh pada daerah aliran sungai dan outlet dalam satuan meter.

Selanjutnya analisis perubahan tutupan lahan dan koefisien limpasan di Sub DAS Cibeureum pada tahun 2006, 2009, 2011, 2015, 2016, dan 2017. Data tutupan lahan diperoleh dari *Peta Tutupan Lahan Jawa Barat* yang diterbitkan oleh Kementerian Kehutanan. Perhitungan rata-rata koefisien *run-off* pada penelitian ini dihitung berdasarkan jenis tutupan lahan, kemiringan lereng dan jenis tanah (Tabel 3 dan Tabel 4). Contoh Nilai Koefisien air limpasan dapat dilihat pada Tabel 4 dan 5.

Untuk menentukan besarnya koefisien *run off* rata-rata wilayah dapat menggunakan persamaan di bawah ini (Suripin, 2004):

$$C = \sum_{i=1}^N \frac{C_i x A_i}{A_i} \dots\dots\dots (14)$$

Di mana C adalah koefisien aliran permukaan rata-rata, C_i adalah koefisien aliran permukaan jenis penutupan lahan i , A adalah luas penutup

Tabel 4. Nilai koefisien limpasan, C, (Kombinasi Kodoatie dan Syarif (2005), dan Sayoga (1993))

Penutupan Lahan	Harga C
Hutan Lahan Kering Primer	0,02
Hutan Lahan Kering Sekunder	0,03
Hutan Mangrove Sekunder	0,05
Hutan Rawa Sekunder	0,15
Hutan Tanaman Industri	0,05
Perkebunan	0,4
Pemukiman	0,6
Pertanian Lahan Kering	0,1
Pertanian Lahan Kering campur Semak	0,1
Rawa	0,2
Sawah	0,15
Belukar	0,07
Belukar Rawa	0,2
Tambak	0,05
Tanah terbuka	0,2
Perairan	0,05

lahan dengan jenis penutupan lahan i , dan n adalah jumlah jenis penutupan lahan i .

Tahap terakhir yaitu menghitung debit banjir rencana pada tahun 2006, 2009, 2011, 2015, 2016 dan 2017 dengan periode ulang 2 tahun, 5 tahun 10 tahun, 20 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun. Untuk menghitung debit banjir maksimum digunakan metode metode rasional. Metode rasional pada umumnya banyak digunakan untuk menghitung debit banjir pada daerah aliran sungai yang tidak terlalu luas dengan batasan

Tabel 5. Nilai koefisien run-off berdasarkan tutupan lahan, jenis tanah dan kemiringan lereng (Mahmoud, 2015)

Land use	Slope (%)	Sand	Loamy sand	Sandy loam	Loam	Silt loam	Silt	Sandy clay loam	Clay loam	Silty clay loam	Sandy clay	Silty Clay	Clay
Forest	<0,5	0,03	0,07	0,10	0,13	0,17	0,20	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40
	0,5-5	0,07	0,11	0,14	0,17	0,21	0,24	0,27	0,31	0,34	0,37	0,41	0,44
	5-10	0,13	0,17	0,20	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50
	>10	0,25	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,45	0,49	0,52	0,55	0,59	0,62
Grass	<0,5	0,13	0,17	0,20	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50
	0,5-5	0,17	0,21	0,24	0,27	0,39	0,34	0,37	0,41	0,44	0,47	0,51	0,54
	5-10	0,23	0,27	0,30	0,33	0,27	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,57	0,60
	>10	0,35	0,39	0,42	0,45	0,31	0,52	0,55	0,59	0,62	0,65	0,69	0,72
Crop	<0,5	0,23	0,27	0,30	0,33	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,57	0,60
	0,5-5	0,27	0,31	0,34	0,37	0,41	0,44	0,47	0,51	0,54	0,57	0,61	0,64
	5-10	0,33	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,57	0,60	0,63	0,67	0,70
	>10	0,45	0,49	0,52	0,55	0,59	0,62	0,65	0,69	0,72	0,75	0,79	0,82
Bare Soil	<0,5	0,33	0,37	0,40	0,43	0,47	0,50	0,53	0,57	0,60	0,63	0,67	0,70
	0,5-5	0,37	0,41	0,44	0,47	0,51	0,54	0,57	0,61	0,64	0,67	0,71	0,74
	5-10	0,43	0,47	0,50	0,53	0,57	0,60	0,63	0,67	0,70	0,73	0,77	0,80
	>10	0,55	0,59	0,62	0,65	0,69	0,72	0,75	0,79	0,82	0,85	0,89	0,92
IMP		1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

hingga luas 50 km². Adapun rumus umum metode rasional (Hadisusanto, 2010):

$$Q = 0,2778 \times C \times I \times A \dots\dots\dots (15)$$

di mana Q adalah debit banjir maksimum dalam satuan m³/detik, C adalah koefisien aliran permukaan rata-rata, I adalah Intensitas hujan maksimum dalam satuan mm/jam, dan A adalah luas daerah aliran sungai dalam satuan km².

HASIL PENELITIAN

Berdasarkan analisis curah hujan menggunakan metode polygon thiessen yang dapat dilihat pada Gambar 4, terdapat 6 stasiun curah hujan terdekat yang dapat mewakili daerah penelitian, di antaranya Stasiun Cipeusing, Stasiun Dago Pakar, Stasiun Kayu Ambon, Stasiun Lembang, Stasiun Margahayu, dan Stasiun Geofisika Bandung.

Data curah hujan rata-rata (tahun 2004-2017) tertinggi berada pada Stasiun Margahayu yaitu sebesar 2568,81 mm/tahun. Berdasarkan metode *polygon thiessen*, rata-rata curah hujan di daerah penelitian antara 2004 – 2017 sebesar 1915,68 mm/tahun. Berdasarkan klasifikasi Mohr, secara umum bulan basah (>100 mm) terjadi pada bulan Oktober sampai Mei, sedangkan bulan lembab

(60 – 100 mm) terjadi pada bulan Juni, dan bulan kering (<60 mm) terjadi pada Juli – Agustus. Data rata-rata curah hujan tahunan pada SubDAS Cibeureum dapat dilihat pada Tabel 6.

Data rata-rata curah hujan maksimum pada SubDAS Cibeureum dapat dilihat pada Tabel 7. Berdasarkan grafik curah hujan maksimum pada Gambar 5, curah hujan maksimum tertinggi terjadi pada November 2011 yaitu sebesar 222,5 mm/bulan pada Stasiun Cipeusing.

Uji konsistensi dihitung menggunakan metode RAPS (*Rescaled Adjusted Partial Sums*). Berdasarkan hasil uji RAPS yang dapat dilihat pada Tabel 8, data curah hujan maksimum di semua stasiun dinyatakan konsisten.

Sedangkan dari hasil uji homogenitas dengan menggunakan uji T yang dapat dilihat pada Tabel 9, data curah hujan maksimum dinyatakan homogen.

Berdasarkan hasil perhitungan dari analisis frekuensi yang dapat dilihat pada Tabel 10, diperoleh bahwa distribusi yang cocok untuk perhitungan curah hujan rancangan maksimum di daerah penelitian adalah distribusi Log Pearson III.

Hasil perhitungan curah hujan rancangan di daerah penelitian menggunakan distribusi Log Pearson III dapat dilihat pada Tabel 11.

Gambar 4. Peta *polygon thiesen* SubDAS Cibeureum.

Tabel 6. Rata-rata curah hujan tahunan di Sub DAS Cibeureum

	Jumlah Curah Hujan Tahunan (mm/tahun)						Rata-Rata CH Tahunan (mm/tahun)
	Stasiun Cipeusing	Dago Pakar	Kayu Ambon	Lembang	Margahayu	Geof Bandung	
Luas (km ²)	10,43	0,26	7,15	8,881	0,03	4,725	
2004	702,0	1110,0	1800,7	1801,0	1361,4	1929,4	1449,9
2005	1662,0	1159,0	2146,0	2319,5	1982,5	2328,9	2053,7
2006	1156,0	1879,0	3274,2	2127,0	3252,4	1701,6	2001,0
2007	1797,0	1932,2	2134,3	2097,2	3019,7	2178,2	2017,8
2008	1400,5	1430,0	1355,0	1341,3	3891,5	1978,4	1462,8
2009	1113,9	1690,0	1751,0	1747,2	3732,3	2097,6	1592,2
2010	2204,5	3357,0	2561,7	2905,4	3397,3	3693,7	2717,6
2011	1839,7	1296,0	1876,0	1989,1	2228,0	1788,7	1878,3
2012	2074,5	1530,0	2803,0	1869,7	2279,1	2510,7	2243,4
2013	1181,3	2189,0	1816,2	2187,9	2475,5	2680,5	1844,1
2014	2033,5	1743,0	1818,9	1632,5	2060,8	2388,0	1922,5
2015	2137,0	1452,0	1713,7	769,0	1888,6	2216,1	1660,8
2016	2137,0	2167,0	1968,8	3042,8	3016,8	3406,2	2546,0
2017	1171,4	2303,0	1406,9	1302,0	1377,5	2224,2	1429,3
Rata-rata	1615,0	1802,7	2030,5	1938,0	2568,8	2365,9	1915,7

Tabel 7. Rata-rata curah hujan maksimum di Sub DAS Cibeureum

	Curah Hujan Maksimum Tahunan (mm)						Rata-Rata CH Max (mm)
	Stasiun Cipeusing	Dago Pakar	Kayu Ambon	Lembang	Margahayu	Geof Bandung	
Luas (km ²)	10,43	0,26	7,15	8,881	0,03	4,725	
2004	13,00	80,00	72,00	82,00	94,50	70,20	55,09
2005	31,00	55,00	91,30	88,00	56,00	85,00	69,11
2006	58,00	70,00	69,00	79,50	70,00	94,50	72,12
2007	54,00	113,00	83,50	79,00	55,00	69,50	70,57
2008	48,00	80,00	59,80	72,00	186,00	67,80	60,82
2009	37,30	73,00	85,20	78,10	145,00	88,90	67,84
2010	29,00	104,00	70,10	69,70	76,50	122,90	64,58
2011	222,50	45,00	61,00	140,00	98,00	73,50	138,59
2012	49,50	70,00	115,00	75,40	103,50	83,00	76,94
2013	30,00	95,00	95,00	94,00	77,50	68,40	69,17
2014	73,00	79,00	43,50	56,00	145,50	62,00	59,97
2015	83,00	85,00	98,00	39,00	62,50	77,70	73,19
2016	83,00	86,00	53,00	52,23	71,50	112,60	71,96
2017	79,00	187,00	67,46	79,50	79,50	73,50	76,58
Rata-rata	63,59	87,29	75,99	77,46	94,38	82,09	73,32

Probabilitas hujan rencana diploting pada grafik log yang dapat digambarkan pada Gambar 6. Uji distribusi dilakukan dengan uji Smirnov Kolmogorov dan Uji Chi Kuadrat. Dari hasil uji tersebut disimpulkan bahwa distribusi diterima. Hasil uji Smirnov Kolmogorov dapat dilihat pada Tabel 12, sedangkan hasil uji Chi kuadrat dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 8. Hasil Uji RAPS curah hujan maksimum

Stasiun	Q terhitung	Q kritis	Keterangan
Cipeusing	0,95	1,14	Konsisten
Dago Pakar	0,82	1,14	Konsisten
Kayu Ambon	0,59	1,14	Konsisten
Lembang	0,99	1,14	Konsisten
Margahayu	0,73	1,14	Konsisten
Geof Bandung	0,37	1,14	Konsisten

Tabel 9. Hasil uji homogenitas curah hujan maksimum

Stasiun	t _{hitung}	t _{kritis}	Keterangan
Cipusung	0,441157247	1,706	Homogen
Margahayu	0,619081144	1,706	Homogen
Kayu Ambon	0,10180788	1,706	Homogen
Lembang	0,375080302	1,706	Homogen
Dago Pakar	0,229123911	1,706	Homogen

Tabel 10. Analisis frekuensi pemilihan distribusi

Jenis Sebaran	Syarat	Hasil Perhitungan
Normal	Cs ≈ 0	
Log Normal	Cs ≈ 3Cv	Cs = 3,07
Gumbel	Cs ≈ 1,4	Cv = 0,27
Log Pearson III	Cs + / -, dan tidak memenuhi semua syarat diatas	Ck = 13,57
Distribusi yang cocok = Log Pearson III		

Tabel 11. Hasil perhitungan curah hujan rancangan

Periode Ulang	Faktor Frekuensi	Hujan Rencana (mm)
2	0,351	66,39495615
5	0,537	80,21386317
10	1,262	93,60326259
20	2,256	115,6664132
50	3,023	136,1860453
100	3,8	160,6877095

Gambar 6. Plotting probabilitas hujan rencana.

Hasil perhitungan curah hujan rencana dan intensitas curah hujan dengan berbagai durasi dan dengan periode ulang 2, 5, 10, 20, 50, dan 100 tahun dapat dilihat pada Tabel 14.

Berdasarkan grafik pada Gambar 7, semakin lama durasi hujan, intensitas hujan akan semakin

Tabel 12. Perhitungan perbedaan peluang D maks (Uji Distribusi dengan Uji Smirnov Kolmogorov)

No	Tahun	Rata-Rata CH Max (mm)	Urutan dari terbesar (mm)	Kemungkinan Terjadi m/(n+1)x100 (%)	Kemungkinan Teoritis (%)	D maks (%)
1	2004	55,09	138,59	6,67	1,94	4,73
2	2005	69,11	76,94	13,33	25,61	-12,27
3	2006	72,12	76,58	20,00	26,13	-6,13
4	2007	70,57	73,19	26,67	31,86	-5,20
5	2008	60,82	72,12	33,33	33,99	-0,66
6	2009	67,84	71,96	40,00	34,33	5,67
7	2010	64,58	70,57	46,67	37,40	9,27
8	2011	138,59	69,17	53,33	40,84	12,50
9	2012	76,94	69,11	60,00	40,99	19,01
10	2013	69,17	67,84	66,67	44,47	22,19
11	2014	59,97	64,58	73,33	55,18	18,15
12	2015	73,19	60,82	80,00	71,79	8,21
13	2016	71,96	59,97	86,67	76,36	10,30
14	2017	76,58	55,09	93,33	110,82	-17,49
D maks = 22,19		<		D kritis = 34		→ diterima

Tabel 13. Uji distribusi dengan menggunakan uji chi kuadrat

Probabilitas	EF	Of	EF - Of	(EF-Of) ² /Ef
0 < P < 20	3	1	2	1,3
20 < P < 40	3	6	-3	3,0
40 < P < 60	3	4	-1	0,3
60 < P < 80	3	2	1	0,3
80 < P < 100	2	1	0	0,0
Total	14	14		5
Chi Kuadrat Hitung : 5	Tingkat Kepercayaan : 95%			
DK : 2	Chi Kuadrat Kritis : 7,815			
Derajat signifikansi : 5%	$\chi^2 < \chi^2_{Cr} \longrightarrow$ Diterima			

kecil dan semakin besar periode ulang, intensitas hujan akan semakin tinggi.

Untuk menghitung intensitas hujan dengan metode Mononobe, terlebih dahulu dihitung nilai waktu konsentrasi menggunakan persamaan Kirpich, dari hasil perhitungan didapat bahwa nilai konsentrasi adalah sebesar 130,30 menit atau 2,17 jam. Karakteristik SubDAS Cibeureum dapat dilihat pada Tabel 15.

Intensitas curah hujan dihitung menggunakan metode Mononobe. Hasil perhitungan intensitas curah hujan dapat dilihat pada Tabel 16.

Berdasarkan peta tutupan lahan pada Gambar 8, terlihat bahwa terjadi perubahan lahan dari tahun 2006 sampai 2017. Berdasarkan data tutupan lahan tahun 2006, 2009, 2011, 2015, 2016, dan 2017 yang dapat dilihat pada Tabel 17, terjadi perubahan lahan yaitu dari lahan tertutup seperti hutan, pertanian lahan kering, perkebunan menjadi lahan terbuka seperti

Tabel 14. Periode ulang intensitas hujan daerah kajian dengan berbagai durasi

Durasi (jam)	Intensitas Hujan (mm/jam)					
	T=2 yr	T=5 yr	T=10 yr	T=20 yr	T=50 yr	T=100 yr
0,083	66,39	80,21	93,60	115,67	136,19	160,69
0,167	81,90	97,94	107,56	116,13	126,72	134,51
0,25	62,50	74,74	82,08	88,62	96,71	102,65
0,5	39,37	47,09	51,71	55,83	60,92	64,66
1	24,80	29,66	32,58	35,17	38,38	40,74
2	15,63	18,69	20,52	22,16	24,18	25,66
3	11,92	14,26	15,66	16,91	18,45	19,58
4	9,84	11,77	12,93	13,96	15,23	16,17
6	7,51	8,98	9,87	10,65	11,62	12,34
12	4,73	5,66	6,21	6,71	7,32	7,77
60	1,62	1,94	2,13	2,29	2,50	2,66

Gambar 7. Grafik frekuensi durasi intensitas hujan.

Tabel 15. Karakteristik SubDAS Cibeureum

Panjang Sungai (L)	18,8 km	18800 m
Luas SubDAS Cibeureum (A)	31,48 km ²	
Elevasi Tertinggi	2050 m	2,05 km
Elevasi Terendah (Outlet)	762,5 m	0,7625 km
ΔH	1287,5 m	1,2875 km
S (kemiringan)	0,0409	
Tc	130,304 menit	2,1717 jam

Tabel 16. Intensitas curah hujan di daerah kajian

Periode Ulang	Probability	R max	t _c (jam)	I (mm/jam)
2	50	66,395	2,1717	13,725454
5	20	80,214	2,1717	16,582159
10	10	93,603	2,1717	19,350074
20	5	115,67	2,1717	23,911064
50	2	136,19	2,1717	28,152972
100	1	160,69	2,1717	33,218062

pemukiman. Luas pemukiman cenderung meningkat setiap tahunnya sehingga mengakibatkan nilai koefisien limpasan pun meningkat.

Nilai koefisien limpasan dihitung berdasarkan jenis tutupan lahan, jenis tanah dan kemiringan lereng. Jenis tanah dan kemiringan lereng cenderung tidak akan berubah, sehingga tutupan lahan merupakan hal yang perlu dikendalikan agar nilai koefisien limpasan tidak terus meningkat setiap tahun. Sebagian besar jenis tanah di daerah kajian adalah lempung lanauan, sehingga laju infiltrasi akan kecil dan limpasan akan semakin besar. Selain itu, kemiringan lereng di bagian hulu relatif terjal. Kemiringan lereng yang terjal akan mengakibatkan aliran air mengalir lebih deras. Hal ini akan mengakibatkan infiltrasi menjadi lebih kecil dan nilai koefisien limpasan semakin tinggi. Oleh karena itu, hal tersebut dapat membuat debit limpasan semakin tinggi. Jika intensitas curah hujan sangat tinggi dan saluran drainase buruk serta tidak dapat menampung debit limpasan maka akan dapat menyebabkan banjir di bagian hilir.

Debit banjir rencana dihitung dengan metode rasional dengan periode ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 20 tahun, 50 tahun, dan 100 tahun yang dapat dilihat pada Tabel 18. Debit banjir dihitung dengan nilai koefisien limpasan yang berbeda sesuai dengan tutupan lahan pada tahun tertentu.

Berdasarkan hasil perhitungan di atas yang telah digambarkan pada grafik yang terdapat pada Gambar 9, dapat disimpulkan bahwa perubahan lahan akan sangat berpengaruh terhadap besar debit banjir rencana. Karena dengan meningkatnya koefisien limpasan akan mengakibatkan kenaikan dalam perhitungan debit banjir rencana. Perhitungan debit banjir rencana ini biasanya digunakan dalam perencanaan infrastruktur bangunan air seperti drainase, embung, bendungan, dan lain-lain, dimana pembangunan tersebut dimaksudkan untuk pengelolaan air di suatu daerah agar terhindar dari masalah seperti kesulitan mencari air bersih saat kemarau dan bencana banjir ketika musim penghujan.

Berdasarkan penelitian, wilayah Cekungan Bandung memiliki indeks kelembapan topografi yang tinggi, hal ini menunjukkan bahwa

Gambar 8. Peta tutupan lahan SubDAS Cibeureum.

Tabel 17. Data tutupan lahan SubDAS Cibeureum

Tutupan Lahan	Luas (km ²)					
	2006	2009	2011	2015	2016	2017
Hutan (silty clay, >10%)	0,16	0,17	0,17	0,17	0,17	0,15
Hutan (sand, >10%)	0,95	0,92	0,91	0,91	0,9	0,91
Hutan Tanaman Industri	5,55	5,32	5,38	5,46	5,52	5,56
Pemukiman	9,72	12,3	13,5	15,5	15,6	16
Pertanian Lahan Kering	0,88	1,02	0,9	8,14	8,02	7,58
Pertanian Lahan Kering Campur Semak	12,3	10,7	9,5	0,26	0,18	0,23
Perkebunan (silty clay, >10%)	1,03	0,99	1,11	1,09	1,08	1,04
Tanah terbuka (silty clay, 0,5-5%)	0,26	-	-	-	-	-
Tanah terbuka (silty clay (>10%))	0,44	-	-	-	-	-
Tanah terbuka (sand, 0,5-5%)	0,14	-	-	-	-	-
Total	31,48	31,48	31,48	31,48	31,48	31,48
Rata-Rata Koefisien Run-off	0,28	0,32	0,34	0,37	0,37	0,37

Tabel 18. Hasil perhitungan debit banjir rencana

Periode Ulang	Debit Banjir Rencana (m ³ /detik)					
	2006	2009	2011	2015	2016	2017
C=0,27%	C=0,316	C=0,337	C=0,368	C=0,370	C=0,375	
2	33,3662	37,9271	40,4476	44,1683	44,4083	45,0084
5	40,3108	45,8209	48,866	53,3611	53,6511	54,3761
10	47,0395	53,4694	57,0228	62,2682	62,6066	63,4526
20	58,1272	66,0726	70,4635	76,9454	77,3635	78,409
50	68,4392	77,7942	82,964	90,5957	91,0881	92,319
100	80,7523	91,7904	97,8904	106,895	107,476	108,928

wilayah bandung sangat berpotensi terhadap bencana banjir (Irawan, drr., 2018).

Oleh karena itu, dengan terus terjadinya perubahan lahan, untuk perencanaan infrastruktur sangat perlu dilakukan perhitungan perencanaan infra-

Gambar 9. Garfik debit banjir rencana SubDAS Cibeureum.

struktur yang lebih cermat dan dilakukan evaluasi secara berkala agar terhindar dari kerusakan/kegagalan infrastruktur. Selain itu, evaluasi tersebut dilakukan untuk melihat apakah bangunan air dapat menampung perubahan debit rencana apa tidak, jika ternyata tidak dapat menampung maka bangunan air perlu dilakukan evaluasi agar dapat menampung debit banjir rencana dan terhindar dari masalah banjir. Selain perubahan lahan, perubahan besar intensitas curah hujan rata-rata yang cenderung berubah juga dapat mempengaruhi besar debit banjir di daerah penelitian. Selain itu, pengaruh antropogenik juga dapat menjadi salah satu faktor yang dapat mengakibatkan sungai tidak dapat menampung debit banjir, di antaranya pengurangan kapasitas tampungan sungai akibat penyumbatan karena tumpukan sampah atau karena menyempitnya lebar sungai akibat pembangunan kota.

Berdasarkan PP No.37 Tahun 2010 evaluasi terhadap infrastruktur sumber daya air, dilakukan minimal lima tahun sekali. Namun, dengan melihat hasil perhitungan perubahan besar debit rencana dari tahun ke tahun di Sub DAS Cibeureum, evaluasi tersebut seperti-nya harus dilakukan bahkan maksimal 5 tahun sekali. Hal ini sangat penting, terlebih bagian hilir Sub DAS Cibeureum merupakan daerah Pasteur yang merupakan pintu akses ke Kota Bandung. Topografi yang cenderung datar di daerah Pasteur dapat menjadi daerah genangan

saat intensitas hujan tinggi dan debit limpasan melebihi kapasitas tampungan sungai, sehingga jika terjadi banjir, akses transportasi menuju Kota Bandung akan terhambat.

KESIMPULAN

Perubahan lahan di Kawasan Bandung Utara khususnya Sub DAS Cibeureum terus terjadi setiap tahun, lahan tertutup terus berubah menjadi lahan terbuka, sehingga mengakibatkan luas resapan air menjadi berkurang dan meningkatkan nilai koefisien limpasan. Pada tahun 2006, koefisien limpasan sebesar 0,278 dan pada 2017 meningkat menjadi 0,375, dalam 11 tahun nilai koefisien *run-off* meningkat sebesar 0,093 (34%). Hal tersebut mengakibatkan besar debit limpasan meningkat. Tidak heran bila kemarau panjang akan mengalami kesulitan mendapatkan air bersih, dan saat musim penghujan kadang banjir terjadi. Untuk itu diperlukan pengelolaan sumber daya air yang baik agar permasalahan tersebut dapat diatasi. Salah satunya dengan membangun bangunan air seperti drainase yang tepat dan dibangunnya bangunan penampung air seperti embung. Debit banjir rencana dihitung sebagai acuan dalam perencanaan pembangunan infrastruktur sumber daya air. Dari hasil perhitungan, debit banjir rencana di Sub DAS Cibeureum pada setiap tahunnya terus meningkat akibat nilai koefisien limpasan terus meningkat. Oleh karena itu dalam pembangunan infrastruktur sumber daya air di Sub DAS Cibeureum perlu dilakukan evaluasi secara berkala, agar terhindar dari kerusakan/kegagalan pembangunan infrastruktur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala Laboratorium Geologi Lingkungan dan Hidrogeologi, Fakultas Teknik Geologi Universitas Padjadjaran, Kementerian Kehutanan, dan PUSAIR karena telah memfasilitasi segala keperluan dan memberikan data-data yang dibutuhkan untuk keperluan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- BPS. 2010. *Laju Pertumbuhan Penduduk di Provinsi Jawa Barat Menurut Kabupaten/Kota, 2014-2020*. Diakses pada tanggal 2 Maret 2020 pada situs <https://jabar.bps.go.id/dynamictable/2020/01/30/197/laju-pertumbuhan-penduduk-di-provinsi-jawa-barat-menurut-kabupaten-kota-2014-2020.html>
- Chu, M.L., Knouft, J.H., Ghulam, A., Guzman, J.A., Pan, Z. 2013. *Impacts of Urbanization on River Flow Frequency: A Controlled Experimental Modeling – Based Evaluation Approach*. Journal of Hydrology. Elsevier B.V, Vol. 495, 1-12. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.04.051>
- Djaja dan Hermawan. 1996. *Peta Geologi Teknik Lembar Bandung, Jawa Barat*. Bandung Direktorat Geologi Tata Lingkungan.
- Google Earth. <http://earth.google.com/web/> Diakses Januari 2020
- Hadisusanto, Nugroho. 2010. *Aplikasi Hidrologi*. Malang: Jogja Mediautama
- Harto, S.B. 1993. *Hidrologi : Teori, Masalah, Penyelesaian*. Yogyakarta : Nafiri Offset
- Kamiana, I Made. 2011. *Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air*. Yogyakarta :Graha Ilmu
- Irawan, M. F., Hidayat, Y., dan Tjahjono, B. 2018. *Penilaian Bahaya dan Arahan Mitigasi Banjir di Cekungan Bandung*. J. II. Tan. Lingk., 20(1) April 2018 :1-6. <http://dx.doi.org/10.29244/jitl.20.1.1-6>
- Keputusan Presiden Nomor 12 Tahun 2012. *Penetapan Wilayah Sungai*
- Kirpich, T. P. 1940. *Time of Concentration of Small Agricultural Watersheds*. Civil Engineering, 10(6), 362. <https://doi.org/10.1007/s10333-016-0534-2>
- Kodoatie, Robert, J. dan Syarief, Roestam. 2005. *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*. Yogyakarta : Andi Offset.
- Lin, Y., Hong. N., Wu, P., Wu, C., & Verburg, P. H. 2007. *Impacts of Land Use Change Scenarios on Hydrology and Land Use Patterns in The Wu-Tu Watershed in Northern Taiwan*. *Landscape and Urban Planning*, 80, 111-126. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2006.06.007>
- Mahmoud SH, Alazba AA. 2015. *Hydrological Response to Land Cover Changes and Human Activities in Arid Regions Using a Geographic Information System and Remote Sensing*. PLoS ONE 10(4): e0125805. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0125805>
- Masri, R. M., dan Purwaamijaya, I. M. 2011. *Analisis Dampak Lingkungan untuk Pembangunan Perumahan di Kawasan Bandung Utara berbasis Model Sistem Dinamis*. Jurnal Permukiman Vol.6 No.3 November 2011 : 147-153.
- Nurrochman, dr. 2018. *Kajian Sistem Hidrologi Akibat Perubahan Tataguna Lahan Di Kawasan Bandung Utara (Studi Kasus Kabupaten Bandung Barat)*. Enviroson: Vol.1 Nomor 1, Juni 2018
- Nurrohman, Arif. 2019. *Pemetaan Kondisi Tutupan Lahan di Sub Daerah Aliran Sungai (DAS) sebagai Tolak Ukur perencanaan Tata Ruang Wilayah. Studi Kasus : Sub DAS Citarum yang ada di Kawasan Bandung Utara*. Prosiding Seminar Nasional Geomatika 2018. <http://dx.doi.org/10.24895/SNG.2018.3-0.966>
- Peraturan Daerah Provinsi Jawa Barat Nomor 2 Tahun 2016 tentang *Pengendalian Kawasan Bandung Utara sebagai Kawasan Strategis Provinsi Jawa Barat*.
- Permana, D.S., Sasmito, A., Kurniawan, R., Sudewi, R.S.S., Hanggoro, W., dan Praja, A.S. 2018. *Analisis Hujan Ekstrem Menggunakan Data Satelit Himawari-8 dan Radar Cuaca di Wilayah Bandung Tanggal 24 Oktober 2016*. Seminar Nasional Sains dan Antariksa 2017, LAPAN.
- Sabar, A. 2009. *Perubahan Iklim, Konversi Lahan dan Ancaman Banjir dan Kekeringan di Kawasan Terbangun*. Pidato Ilmiah Guru Besar MGB-ITB. Institut Teknologi Bandung.
- Samodro, P., Rahmatunnisa, M., dan Endyana, C. 2020. *Kajian Daya Dukung Lingkungan dalam Pemanfaatan Ruang di*

- Kawasan Bandung Utara. *Jurnal Wilayah dan Lingkungan*, 8(3), 214-229. <http://doi.org/10.14710/jwl.8.3.214-229>
- Sayoga, G. R. 1993. *Diklat Kuliah Sistem Penyaliran Tambang*. Jurusan Teknik Pertambangan ITB, Bandung.
- Silitonga, P.H. 1998. *Peta Geologi Lembar Bandung, Jawa*. Bandung : Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Soemarto, C.D. 1995. *Hidrologi Teknik Edisi ke-2*. Jakarta:Erlangga.
- Soewarno.1995. *Aplikasi Metode Statistik Untuk Analaisa Data Hidrologi Jilid I*. Bandung: Nova.
- Sukiyah, E., Haryanto, A.D., dan Zakaria, Z. 2004. *Aplikasi Sistem Informasi Geografis dalam Penetapan Kawasan Berpotensi Banjir di Kabupaten Bagian Selatan*. *Bulletin of Scientific Contribution*. Volume 2, Nomor 1, Januari 2004: 26-37.
- Wibowo, M. 2011. Analisis Pengaruh Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Debit Sungai (Studi Kasus Sub-DAS Cikapundung Gandok, Bandung). *Jurnal Teknologi Lingkungan*. Vol. 6 No. 1 (2005). <https://doi.org/10.29122/jtl.v6i1.328>