

DRAINASE WAWASAN LINGKUNGAN DI KAWASAN KONSERVASI AIR BOPUNCUR

ENVIRONMENTAL CONCEPT DRAINAGE IN THE BOPUNCUR WATER CONSERVATION REGION

Princenvo Tigana¹ dan Arwin Sabar²

Program Studi Teknik Lingkungan, FTSL, Institut Teknologi Bandung

Jalan Ganesha No. 10 Bandung 40132

Email : ctigana@yahoo.com dan arwinsabar@yahoo.com

Abstrak: Perubahan tutupan lahan Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung hulu memberikan pengaruh yang cukup dominan terhadap debit banjir di wilayah hilirnya yaitu Jakarta. Fenomena tersebut terjadi di DAS Ciliwung hulu dikarenakan oleh daerah Bogor, Puncak, Cianjur (BOPUNCUR) dan sekitarnya banyak mengalami perubahan tutupan lahan, dari kawasan hutan menjadi kawasan pertanian. Tahap penelitian mencakup analisis hidrologi dan analisis spasial. Analisis hidrologi dilakukan dalam beberapa tahap, yaitu melihat hubungan hujan dan debit, ekstrimitas debit, dan debit rencana kering dan banjir. Hubungan hujan dan debit dapat dilihat dengan persamaan regresi linear sederhana yang menunjukkan kecenderungan nilai koefisien limpasan yang meningkat dan nilai baseflow yang menurun. Ekstrimitas debit didapatkan menggunakan metode moving average lima tahunan yang menunjukkan terjadinya ekstrimitas debit. Debit rencana kering dan banjir dapat ditentukan dengan menggunakan analisis distribusi frekuensi dan uji kesesuaian distribusi. Analisis spasial dilakukan dengan cara meng-overlay peta-peta spasial guna mendapatkan nilai indeks konservasi. Peta spasial yang digunakan mencakup peta kelerengan, peta jenis tanah, dan peta tutupan lahan. Nilai indeks konservasi alami (IKa) DAS Ciliwung hulu yang diperoleh sebesar 0,75, sedangkan nilai indeks konservasi aktual (IKc) yang diperoleh untuk periode 2001 – 2007 berada dibawah nilai IKA. Hal ini menunjukkan terjadi degradasi lahan yang mengakibatkan kondisi kawasan DAS Ciliwung hulu un-sustainable. Konsep drainase wawasan lingkungan dan aplikasi rekayasa teknis diterapkan di Perumahan My Residence 1 Bogor untuk dapat mencapai zero limpasan. Penerapan sumur resapan skala individu dengan diameter 0,8 m dan kedalaman minimum 1,3 m dapat mengurangi debit air yang masuk ke dalam saluran hingga lebih dari 50%. Hal ini menunjukkan penerapan konsep drainase wawasan lingkungan dan aplikasi rekayasa teknis dapat mewujudkan tercapainya zero limpasan.

Kata kunci: perubahan tutupan lahan, DAS Ciliwung hulu, indeks konservasi, sumur resapan

Abstract: Changes in the land cover of the Ciliwung watershed have a dominant influence on the flood discharge in the downstream region, namely Jakarta. This phenomenon occurs in the upstream Ciliwung watershed because the Bogor, Puncak, Cianjur (BOPUNCUR) and surrounding areas increasingly change land cover, from forest areas to agricultural areas. The research phase includes hydrological analysis and spatial analysis. Hydrological analysis was carried out in several places, namely looking at the relationship of rain and

discharge, extreme discharge, and discharge of dry and flood plans. The relationship of rain and discharge can be seen with a simple linear regression equation that shows increased runoff coefficient value and baseflow value decreases. Extreme discharge uses a five-year moving average method that shows extreme discharge. Dry and flood discharge plans can be determined using distribution analysis and distribution conformity tests. Spatial analysis is done by overlaying spatial maps to get the conservation index value. Spatial maps used include slope maps, soil type maps, and land cover maps. The natural conservation index (IKa) value of the upstream Ciliwung watershed is 0.75, while the actual approval index value (IKc) obtained for the period 2001 - 2007 is below the IKA value. This shows that land degradation occurred in the area of the upstream Ciliwung watershed. The environmental drainage concept and technical engineering applications is applied in My Residence 1 Bogor Housing to be able to achieve zero runoff. The application of infiltration wells with an individual scale with a diameter of 0.8 m and a minimum depth of 1.3 m can reduce the water discharge entering the drainage by more than 50%. This shows the application of environmental drainage concept and technical engineering can realize the achievement of zero runoff.

Keywords: *land use change, upper Ciliwung river basin, conservation index, infiltration well*

PENDAHULUAN

Jakarta sebagai ibu kota Negara Indonesia hampir selalu dilanda oleh masalah banjir di setiap tahunnya. Sungai yang melewati wilayah Jakarta ada 13 dan semuanya bermuara di pantai utara. Diantara sungai-sungai yang mengalir di Jakarta, sungai Ciliwung memiliki potensi terbesar menyebabkan banjir ketika musim hujan tiba, karena sungai Ciliwung mengalir melalui tengah Kota Jakarta dan melintasi banyak perkampungan dan perumahan padat. Ciliwung juga dianggap sebagai sungai yang mengalami kerusakan paling parah dibandingkan sungai-sungai lain yang mengalir di Jakarta.

Dampak banjir di Jakarta tidak lepas dari karakteristik Daerah Aliran Sungai (DAS) Ciliwung hulu (Dasanto dan Risyanto, 2006). Kerugian mencakup kerugian fisik maupun non fisik. Kerugian fisik meliputi kerusakan infrastruktur seperti rusaknya jalan, prasarana pendidikan seperti bangunan sekolah, pemukiman penduduk serta lahan-lahan pertanian. Kerugian non fisik berupa munculnya korban jiwa dan terganggunya aktivitas kehidupan manusia seperti terputusnya jalur lalu lintas, terganggunya kegiatan perdagangan, pertanian, industri dan lain-lain (Sudradjat, A., 2012).

Banjir merupakan salah satu bencana alam yang menimbulkan kerugian besar bagi kehidupan manusia, telah mengalami peningkatan frekuensi dalam beberapa dekade terakhir. Ada beberapa hal yang memberikan kontribusi terhadap fenomena banjir tersebut, seperti perubahan tata guna lahan yang tidak dapat dihindari. Salah satu penyebab perubahan tutupan lahan dikarenakan adanya urbanisasi yang membutuhkan peningkatan daerah terbangun

secara cepat. Peningkatan daerah terbangun di DAS Ciliwung hulu, Kabupaten Bogor dan sekitarnya, mengambil peran yang sangat besar. Perubahan penggunaan lahan di DAS Citarum mengakibatkan berkurangnya wilayah tangkapan air dan meningkatnya jumlah limpasan hujan (Sudradjat, A., 2016). Semakin besarnya daerah yang diperkeras seperti aspal, beton atau paving sehingga semakin besar pula air hujan yang langsung masuk ke saluran drainase yang dapat mengakibatkan penurunan muka air tanah (Land Subsidence) karena tidak adanya pengisian air tanah, terjadi genangan saat terjadi hujan deras di lokasi yang salurannya tidak dapat menampung kapasitas air hujan, dan dapat mengakibatkan banjir di daerah hilir (Kamila, N., Wardhana, I. W., & Sutrisno, E., 2016).

Perubahan tutupan lahan dapat memberikan dampak yang *non-linear* terhadap kondisi hidrologis daerah aliran sungai. Secara lebih spesifik, peningkatan kecil dalam perluasan daerah terbangun dapat meningkatkan limpasan permukaan secara besar dan menurunkan infiltrasi, yang berakibat pada pengisian kembali akuifer dan perubahan rezim aliran (Chudkk, 2013). Perubahan lingkungan yang terjadi di Kabupaten Bogor dan sekitarnya, seperti perubahan daerah hutan menjadi pemukiman, vila, tempat wisata, dan lainnya sangat berperan terhadap peningkatan debit sungai di DAS Ciliwung hulu.

Perubahan dari luas lahan terbangun atau peningkatan pemukiman di kawasan hulu tersebut dapat menyebabkan pengaruh terhadap nilai debit air sungai yang terdapat di kawasan hilir DAS Ciliwung (Jakarta), dengan dampak berupa ekstrimisasi debit air yang menimbulkan ancaman banjir dan kekeringan di wilayah hilir (Sabar, 2009). Beberapa studi juga menunjukkan bahwa perubahan tutupan lahan dapat mengakibatkan meningkatnya frekuensi terjadinya banjir serta peningkatan volume banjir. Peningkatan lahan terbangun, pemukiman, juga mengakibatkan terjadinya penurunan jumlah aliran air tanah (*baseflow*) dan peningkatan air limpasan.

Untuk mempertahankan fungsi hidrologis dari kawasan DAS Ciliwung hulu dibutuhkan suatu pengendalian yang dapat menggambarkan keterkaitan antara pemanfaatan ruang dan kondisi hidrologis lahan. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah indeks konservasi. Penerapan dari konservasi tersebut bertujuan untuk mengurangi beban drainase makro (sungai) dengan menggunakan konsep *zero* limpasan. Oleh karena itu, akan dilakukan penelitian untuk mengendalikan ancaman banjir di DKI Jakarta dengan cara melakukan konservasi di DAS Ciliwung hulu melalui penerapan konsep drainase wawasan lingkungan dan aplikasi rekayasa teknis di lokasi studi.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini membahas pengaruh perubahan tutupan lahan terhadap perubahan debit sungai dan identifikasi kondisi hidrologis lahan dengan pendekatan indeks konservasi dalam rangka keberlanjutan air di DAS Ciliwung hulu dan Rehabilitasi lahan untuk kondisi hidrologis yang memiliki kriteria degradasi/krisis menggunakan ide zero limpasan. Penelitian mengambil lokasi di DAS Ciliwung Hulu sampai pintu air bendung Katulampa. ($6,62^{\circ}\text{LS}$ sampai $6,76^{\circ}\text{LS}$; $106,83^{\circ}\text{BT}$ sampai $107,00^{\circ}\text{BT}$), Jawa Barat. Hal ini dikarenakan dalam sebuah ekosistem daerah aliran sungai, perubahan yang terjadi di daerah hulu, akan berdampak terhadap daerah lainnya di daerah aliran sungai tersebut, terutama daerah hilirnya (Jakarta).

Analisis Hidrologi

1. Pelengkapan Data Curah Hujan

Dalam mengisi data kosong ini, metode umum yang sering digunakan adalah metode regresi linear sederhana atau *simple linear regression*. Seperti yang diungkapkan oleh Villazon dkk (2010), metode regresi linear sederhana dilakukan dengan menghitung korelasi antara semua stasiun untuk setiap bulan dimana panjang data yang ideal adalah minimal 10 tahun. Korelasi yang didapat dari masing-masing pasang stasiun hujan diurutkan dan data-data yang kosong di suatu stasiun hujan diperkirakan menggunakan regresi linear dengan stasiun lainnya yang memiliki korelasi tertinggi di waktu yang bersamaan.

Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan model korelasi sederhana dengan empat variabel hidrologi lebih efektif dalam menentukan hubungan variasi hujan dan debit dengan kenaikan koefisien determinasi yang lebih besar dibandingkan yang memiliki lebih dari empat variabel (Sabar, 2002). Data curah hujan yang digunakan pada penelitian ini merupakan data dari tujuh stasiun pengamatan hujan dalam periode 1979 – 2015. Tabel 1 merupakan cara penyusunan koefisien korelasi antar pos hujan.

Tabel 1. Penyusunan Koefisien Korelasi Antar Pos Hujan

| Nilai | P ₁ | P ₂ | P ₃ | P ₄ | P _n |
|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| P ₁ | 1 | | | | ρ_{1n} |
| P ₂ | ρ_{21} | 1 | | | ρ_{2n} |
| P ₃ | ρ_{31} | ρ_{32} | 1 | | ρ_{3n} |
| P ₄ | ρ_{41} | ρ_{42} | ρ_{43} | 1 | ρ_{4n} |
| ... | ... | ... | ... | ... | ... |
| P _m | ρ_{m1} | ρ_{m2} | ρ_{m3} | ρ_{m4} | ρ_{mn} |

Sumber: Arwin, 2009

2. Perhitungan Hujan Wilayah

Perhitungan curah hujan wilayah dilakukan dengan Metode *Polygon Thiessen*. Rumus perhitungan hujan wilayah seperti pada Persamaan 1 adalah:

$$\bar{P} = \frac{P_1.A_1 + P_2.A_2 + P_3.A_3 + \dots + P_n.A_n}{A} \quad (1)$$

keterangan :

| | |
|------------------------|---|
| \bar{P} | = Curah hujan wilayah (mm) |
| P_1, P_2, \dots, P_n | = Curah hujan masing-masing stasiun (mm) |
| A_1, A_2, \dots, A_n | = Luas daerah pada masing-masing stasiun (km ²) |
| A | = Luas daerah total (km ²) |

3. Penentuan Tipe Iklim

Tipe iklim merupakan karakteristik iklim di suatu wilayah yang menunjukkan pola hujan di wilayah tersebut. Terdapat empat tipe iklim yang ada di Indonesia, yaitu tipe iklim monsun, ekuatorial, semi arid, dan lokal. Penentuan tipe iklim ini dapat ditentukan dengan menggunakan nilai-rata-rata curah hujan wilayah setiap bulannya sehingga dapat diketahui tipe iklim di DAS Ciliwung Hulu.

4. Hubungan Hujan dan Debit

Hubungan antara hujan dan debit dapat dicari dengan menggunakan pendekatan persamaan regresi linear sederhana model hidrologi DAS yaitu : $Q = C.(P.A) + b$. Pendekatan persamaan regresi linear tersebut menggunakan data curah hujan wilayah dan data debit. Berdasarkan persamaan tersebut maka didapati koefisien limpasan (C) dan *baseflow* (b) untuk melihat perubahan rezim aliran di DAS Ciliwung hulu.

5. Ekstrimitas Debit

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mencari ekstrimitas debit adalah dengan metode analisis *moving average*. Analisis *moving average* diperlukan untuk mereduksi sifat acak dari data debit tersebut. Perhitungan yang dilakukan adalah dengan menggunakan data debit maksimum dan minimum tahunan dengan periode pengamatan lima tahunan. Kecenderungan perubahan data debit didapatkan untuk memperoleh gambaran ekstrimitas debit di pos pengamatan debit Katulampa.

6. Analisa Peluang Debit

Dalam menentukan debit rencana kering dan banjir, maka dilakukan analisa peluang/frekuensi debit. Analisa frekuensi debit digunakan untuk mengetahui berulangnya curah hujan baik jumlah frekuensi persatuan waktu maupun periode ulangnya. Untuk menganalisa frekuensi debit ini menggunakan empat metode sebagai perbandingan, yaitu (Kamiana, 2011): distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson III.

7. Uji Kesesuaian Distribusi Frekuensi

Pemeriksaan uji kesesuaian distribusi frekuensi (*The Goodness of Fit Test*) dimaksudkan untuk mengetahui kebenaran hipotesa distribusi frekuensi menggunakan dua macam uji, yaitu secara *Metode Kolmogorov-Smirnov* dan *Metode Chi-square* (Kamiana, 2011).

Analisis Spasial

1. Digitasi dan Editing

Tahapan digitasi dan editing perlu dilakukan dikarenakan oleh bentuk file peta-peta yang digunakan memiliki format yang berbeda-beda. Digitasi dapat diartikan bahwa format dan tipe data yang digunakan perlu melalui penyesuaian untuk mendapatkan keseragaman input, sedangkan editing dapat diartikan bahwa semua data input yang digunakan perlu melalui penyesuaian batasan ataupun target pengolahan data lanjutan.

2. Overlay

Dalam tahap overlay, dilakukan penggabungan tiga data spasial yaitu data kemiringan, data jenis tanah, dan data tutupan lahan. Setelah melalui tahapan proses overlay, maka akan didapat nilai koefisien limpasan yang kemudian nilai tersebut akan digunakan untuk menentukan nilai indeks konservasi. Secara umum air hujan yang jatuh di suatu daerah selanjutnya akan menjadi air limpasan (*run off*) dan menyerap ke dalam tanah (infiltrasi). Dengan demikian membentuk hubungan yang kemudian dikenal sebagai hukum kekekalan massa air bila kesetimbangan massa $P = I + R$, dimana (P) adalah curah hujan, (I) adalah infiltrasi dan (R) adalah air limpasan. Jika persamaan tersebut dibuat menjadi persamaan non dimensi, maka didapatkan persamaan $1 = IK + C$, dimana (IK) merupakan nilai indeks konservasi atau jumlah massa air hujan yang tertahan didalam tanah (I/P), sedangkan (C) merupakan koefisien limpasan atau jumlah massa air hujan yang menjadi air limpasan (Sabar, 2009).

Indeks Konservasi

1. Indeks Konservasi Alami (IKa)

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Sabar (1999), indeks konservasi alami (IKa) merupakan koefisien yang menunjukkan kemampuan alami pada suatu wilayah untuk menyerap air hujan sebelum adanya perubahan tutupan lahan yang diakibatkan oleh manusia. Nilai indeks konservasi alami dapat dihitung dengan cara menggabungkan tiga data spasial. Dikarenakan indeks konservasi alami mewakili kondisi tutupan lahan yang belum tersentuh peradaban manusia, maka dalam proses overlay tutupan lahan dapat dianggap keseluruhannya berupa hutan yang menunjukkan penggambaran kondisi alami dari suatu wilayah dan memiliki nilai kondisi hidrologis yang terbaik.

2. Indeks Konservasi Aktual (IKc)

Seperti halnya dengan indeks konservasi alami (IKa), indeks konservasi aktual (IKc) dapat dihitung dengan menggabungkan tiga data spasial. Hal yang membedakan indeks konservasi aktual (IKc) dengan indeks konservasi alami (IKa) adalah pada indeks konservasi aktual (IKc) merupakan koefisien yang menunjukkan kemampuan aktual suatu kondisi tutupan lahan yang sudah mengalami perubahan akibat aktifitas manusia untuk dapat menyerap air hujan. Sehingga dalam proses overlay, tutupan lahan yang digunakan merupakan data tutupan lahan aktual pada tahun 2001 hingga 2007 serta topografi dan jenis tanah wilayah DAS Ciliwung hulu diasumsikan tidak mengalami perubahan yang cukup berarti selama periode pengamatan.

Penilaian Kondisi Kawasan

Penilaian kondisi kawasan dapat dilihat berdasarkan nilai indeks konservasinya, dimana penambahan rehabilitasi kondisi hidrologis lahan (ΔIK) di daerah yang berada pada kondisi kritis dapat memulihkan kondisi hidrologis lahan di kawasan tersebut. Tabel 2 menunjukkan penilaian kondisi kawasan dengan indeks konservasi.

Tabel 2. Penilaian Kondisi Kawasan Terbangun dengan Indeks Konservasi

| Perbandingan Indeks Konservasi | Penilaian Kondisi Kawasan |
|--------------------------------|---------------------------|
| $IKc + \Delta IK > IKa$ | Baik |
| $IKc = IKa$ | Normal |
| $IKc < IKa$ | Kritis |

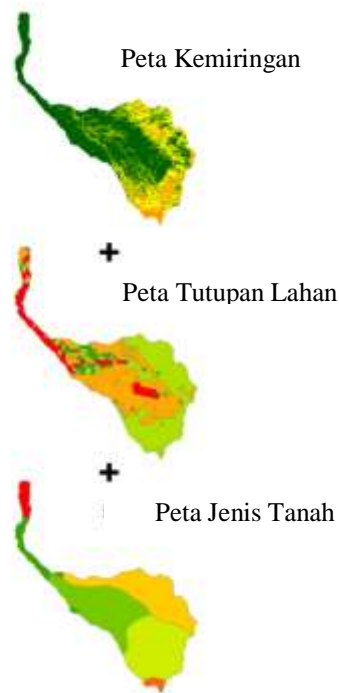
Analisis dan Identifikasi

Dalam tahapan analisis dan identifikasi, hal yang penting dilakukan adalah pengendalian fungsi hidrologis lahan. Pengendalian fungsi hidrologis lahan merupakan suatu upaya penanggulangan permasalahan penggunaan tutupan lahan yang terjadi di DAS Ciliwung Hulu. Dalam mengendalikan fungsi hidrologis lahan di kawasan yang masuk dalam kategori kritis, terdapat beberapa cara yang dapat digunakan yaitu antara lain : penerapan drainase kawasan lingkungan dan aplikasi rekayasa teknis yang berupa sumur resapan dengan menggunakan konsep *zero* limpasan. Pengendalian fungsi hidrologis lahan dapat dilakukan dengan dua skala yaitu skala individu dan skala komunal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Spasial

Setelah semua peta spasial memiliki batasan wilayah dan format yang sama, maka selanjutnya akan digabungkan dengan cara *overlay*. *Overlay* dilakukan dengan cara menggabungkan peta kemiringan, peta jenis tanah, dan peta tutupan lahan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Peta gabungan ini merupakan peta spasial DAS Ciliwung hulu yang sudah memiliki atribut-atribut berupa data kemiringan, data jenis tanah, dan data tutupan lahan. Setiap atribut diberikan nilai koefisien limpasan (C) yang merepresentasikan jenis peta yang digunakan.



Gambar 1. Overlay Peta Gabungan

Indeks Konservasi Alami (IKa)

Tutupan lahan yang digunakan dalam mencari indeks konservasi alami (IKa) adalah tutupan lahan jenis hutan yang memiliki nilai $C = 0,04$. Hal ini dilakukan untuk melihat berapa besar fraksi air hujan yang masuk ke dalam tanah ketika kondisi tutupan lahan merupakan kondisi alami yaitu hutan. Nilai indeks konservasi alami (IKa) yang dihasilkan sebesar 0,75 dengan rentang data dari 0,52 sampai 0,89. Berdasarkan Jatikusuma (2016), nilai IKa tersebut memiliki penilaian kondisi kawasan yang mendekati dengan kondisi hidrologis lahan hutan sekunder ($IK = 0,8$).

Indeks Konservasi Aktual (IKc)

Tutupan lahan yang digunakan dalam mencari indeks konservasi aktual (IKc) adalah tutupan lahan aktual pada tahun 2001 hingga 2007. Nilai indeks konservasi aktual (IKc) yang dihasilkan sebesar memiliki rentang data dari 0,28 sampai 0,89. Jika dibandingkan dengan nilai IKa atau pada kondisi alami, maka nilai IKc yang dihasilkan lebih rendah. Nilai $IKc < IKa$ menunjukkan terjadinya degradasi lahan sehingga dapat dikatakan kondisi kawasan DAS Ciliwung Hulu *un-sustainable*.

Analisis Hidrologi

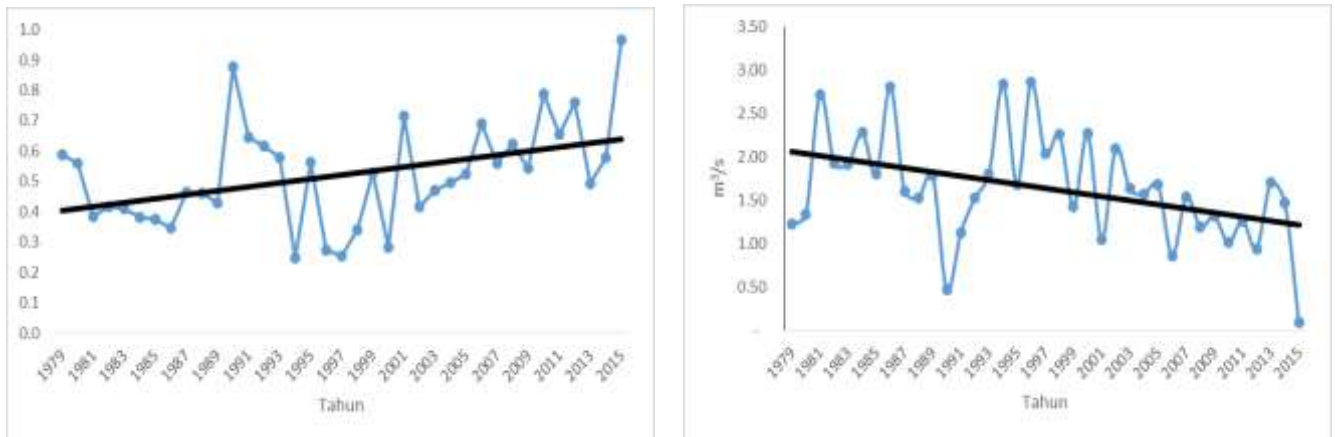
Analisis hidrologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah pengolahan data curah hujan dan pengolahan data debit. Pengolahan data hujan yang dilakukan terdiri dari pengisian data kosong hujan, perhitungan curah hujan wilayah dan penentuan tipe iklim di DAS Ciliwung hulu. Dalam pengolahan data debit, dilakukan analisis hubungan hujan – debit yang ditandai dengan kecenderungan pola rezim aliran di sungai Ciliwung hulu, ekstrimitas debit Katulampa dan analisis debit rencana.

Degradasi Rezim Aliran DAS Ciliwung Hulu

Setelah dilakukan tahapan pengisian data curah hujan kosong dan uji konsistensi data yang menunjukkan rata-rata korelasi sebesar 0,99; maka dapat ditentukan tipe iklim di DAS Ciliwung hulu menggunakan metode *polygon thiessen*. Berdasarkan hasil curah hujan wilayah, maka DAS Ciliwung hulu masuk dalam kategori tipe iklim monsunial yang ditandai dengan adanya dua puncak hujan di awal dan di akhir tahun dan satu lembah hujan yang terjadi di pertengahan tahun.

Setelah data curah hujan dan data debit sudah lengkap, maka dapat dilihat hubungan antara hujan dan debit. Berdasarkan persamaan regresi linear maka didapati nilai koefisien

limpasan yang cenderung meningkat dan nilai *baseflow* (b) yang cenderung menurun untuk periode tahun 1979 – 2015 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.



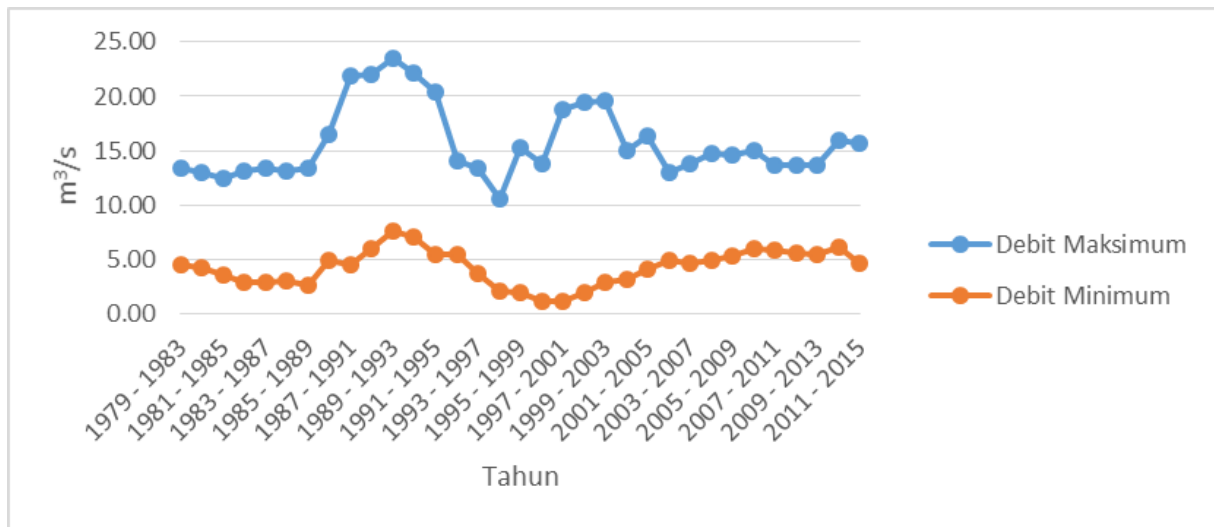
Gambar 2. Nilai Koefisien Limpasan (kiri) dan Nilai Aliran Dasar (kanan) DAS Ciliwung Hulu (1979 – 2015)

Perubahan tutupan lahan yang kerap terjadi dari kawasan hutan dan budidaya menjadi kawasan pemukiman akan berdampak pada watak aliran DAS dimana pada musim hujan debit limpasan akan semakin besar dan pada musim kering *baseflow* akan semakin kecil. Hal ini berpotensi menimbulkan ancaman banjir dan kekeringan. Melihat hubungan antara hujan dan debit di DAS Ciliwung hulu dari tahun 1979 – 2015, didapati nilai koefisien rata-rata sebesar 0,5 dan nilai *baseflow* rata-rata sebesar 1,83 m³/tahun.

Ekstrimitas Debit Katulampa

Degradasi rezim aliran di DAS Ciliwung hulu dapat juga dilihat dari pola kecenderungan perubahan data debit yang mengalir di sungai. Ekstrimitas debit dapat dilihat dari peningkatan atau penurunan nilai rata-rata debit maksimum dan debit minimum Katulampa, dimana semakin besar simpangan antara kedua data tersebut akan mengakibatkan degradasi nilai debit rencana.

Gambar 3 menunjukkan hasil moving average data debit Katulampa. Debit maksimum yang cenderung meningkat dan debit minimum yang cenderung menurun menunjukkan bahwa debit Katulampa semakin ekstrim setiap tahunnya. Hal ini dikarenakan oleh terjadinya alih fungsi lahan atau degradasi fungsi hidrologis lahan yang ada di DAS Ciliwung hulu.



Gambar 3. Moving Average Debit Ekstrim Katulampa

Analisis Debit Rencana Kering

Analisis debit rencana kering menggunakan data minimum selama tahun 1979 – 2015 yang dibagi menjadi tiga rezim. Setiap rezim akan dilakukan perhitungan analisis distribusi frekuensi untuk melihat pengaruh dari ekstrimitas debit dan degradasi fungsi hidrologis. Pembagian tiga rezim tersebut dikarenakan oleh pada awal tahun 2000-an telah dilakukan rehabilitasi Taman Hutan Lindung Gunung Gede Pangrango, sehingga dapat dilihat bagaimana dampaknya terhadap perubahan nilai debit rencana kering. Hasil perhitungan debit rencana kering dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Debit Analisis Kering

| Periode Ulang (tahun) | Rezim / Watak Aliran (m ³ /s) | | |
|--------------------------|--|-----------------|-----------------|
| | 1979 – 1989 | 1990 – 2000 | 2001 – 2015 |
| 2 | 2,894 | 1,947 | 4,412 |
| 5 | 2,046 | 0,582 | 3,139 |
| 10 | 1,707 | 0,291 | 2,473 |
| 20 | 1,470 | 0,159 | 1,924 |
| Distribusi Terpilih | Log Normal | Log Pearson III | Log Pearson III |

Analisis Debit Rencana Banjir

Sama seperti analisis debit rencana kering namun data yang digunakan adalah data maksimum dalam analisis debit rencana banjir. Hasil perhitungan debit analisis banjir dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Debit Analisis Banjir

| Periode Ulang (tahun) | Rezim / Watak Aliran (m ³ /s) | | |
|--------------------------|--|-----------------|-----------------|
| | 1979 – 1989 | 1990 – 2000 | 2001 – 2015 |
| 2 | 13,441 | 17,447 | 16,591 |
| 5 | 15,221 | 27,692 | 22,312 |
| 10 | 16,244 | 36,283 | 26,048 |
| 20 | 17,141 | 46,064 | 29,062 |
| Distribusi Terpilih | Log Normal | Log Pearson III | Log Pearson III |

Rehabilitasi Fungsi Hidrologis Lahan

Setelah mengetahui kondisi hidrologis lahan di DAS Ciliwung hulu, maka dipilih Perumahan My Residence 1 Bogor sebagai lokasi untuk diterapkan drainase kawasan lingkungan dan aplikasi rekayasa teknis berupa sumur resapan. Lokasi ini berada di kawasan kritis ($IK_c < IK_a$) dengan nilai $IK_c = 0,41$. Konsep drainase kawasan lingkungan yang diterapkan berupa perhitungan debit saluran dan dimensi saluran ekonomis yang berdasarkan pada Permen PU No 12 Tahun 2014 mengenai Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan.

Penggunaan metode rasional $Q = 0,00278 \cdot C \cdot I \cdot A$ dalam menghitung debit limpasan menjadi dasar dalam aplikasi rekayasa teknis berupa sumur resapan. Desain sumur resapan yang digunakan harus mampu untuk menampung debit limpasan periode ulang 20 – 50 tahun. Hal ini dikarenakan oleh desain drainase makro yang memiliki periode ulang 20 – 50 tahun. Perhitungan kemampuan sumur resapan dilakukan dengan menggunakan Metode Sunjoto.

Dalam penerapan aplikasi rekayasa teknis skala individu (1 rumah), maka dihitung terlebih dahulu berapa besar debit yang dihasilkan oleh satu rumah. Dengan menggunakan perhitungan metode rasional maka debit yang dihasilkan per satu rumah adalah sebesar 0,00242 m³/s sehingga desain sumur resapan minimum untuk dapat menampung debit yang dihasilkan per rumah dapat ditentukan. Hasil perhitungan dimensi sumur resapan skala individu atau per satu rumah dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Dimensi Sumur Resapan Skala Individu

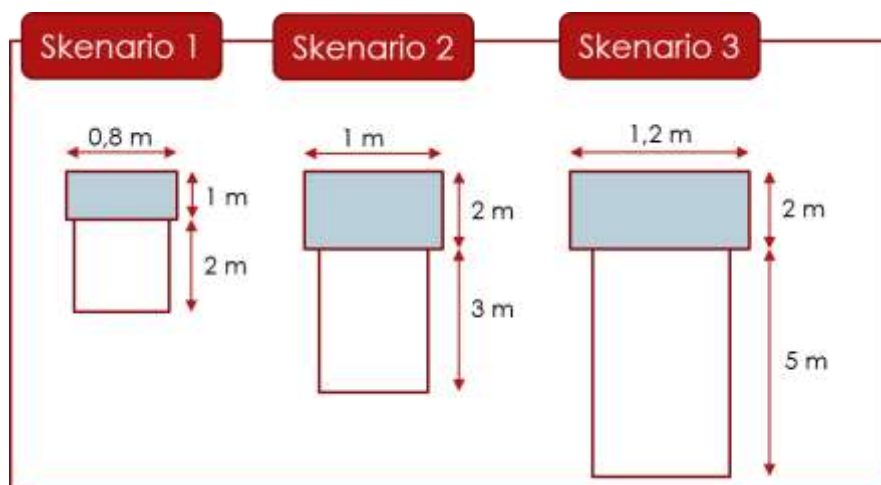
| Dimensi Sumur Resapan | Q (m ³ /s) | L (m) | T (s) | K (m/s) | D (m) | R (m) | F (m) | H (m) |
|-----------------------|--------------------------|----------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|
| Sumur Resapan 1 Rumah | 0,00242 | 1 | 300 | 0,000073 | 0,8 | 0,4 | 5,9 | 1,30 |

Debit limpasan yang dihasilkan oleh rumah akan seluruhnya masuk kedalam sumur resapan, sehingga debit yang masuk kedalam saluran merupakan debit yang dihasilkan oleh jalan dan RTH. Terdapat pengaruh yang cukup signifikan antara nilai debit sebelum dan sesudah diterapkannya aplikasi rekayasa teknis sumur resapan skala individu seperti yang ditunjukkan pada Tabel 6. Hal ini memungkinkan seluruh air yang dihasilkan oleh setiap rumah untuk dapat masuk ke dalam sumur resapan sehingga tidak melimpas ke dalam saluran drainase. Air yang masuk ke dalam sumur resapan tidak hanya mengurangi beban drainase ketika musim basah atau hujan, namun juga dapat dimanfaatkan kembali sebagai cadangan air ketika musim kering.

Tabel 6. Perbedaan Debit Limpasan Sebelum dan Sesudah Aplikasi Rekayasa Teknis

| Periode Ulang | Sebelum Ada Sumur Resapan | Sesudah Ada Sumur Resapan |
|---------------|---------------------------|---------------------------|
| | Q | Q |
| 20 tahun | 0,128 m ³ /s | 0,0610 m ³ /s |
| 25 tahun | 0,129 m ³ /s | 0,0614 m ³ /s |
| 50 tahun | 0,130 m ³ /s | 0,0618 m ³ /s |

Aplikasi rekayasa teknis sumur resapan skala komunal menggunakan tiga skenario dimensi sumur resapan. Skenario-skenario sumur resapan untuk skala komunal dapat dilihat pada Gambar 4. Hal ini dilakukan untuk mengoptimalkan penerapan sumur resapan di Perumahan My Residence 1 Bogor. Setelah mengetahui kemampuan sumur resapan tiap scenario yaitu Skenario 1 ($Q = 0,0057 \text{ m}^3/\text{s}$), Skenario 2 ($Q = 0,0149 \text{ m}^3/\text{s}$), dan Skenario 3 ($Q = 0,0308 \text{ m}^3/\text{s}$), maka dapat ditentukan jumlah sumur resapan yang diperlukan di Perumahan My Residence 1 Bogor.



Gambar 4. Skenario Desain Sumur Resapan

Tabel 7 menunjukkan nilai debit yang dihasilkan oleh Perumahan My Residence 1 Bogor dengan periode ulang 20, 25, dan 50 tahun, beserta jumlah kebutuhan sumur resapan yang diperlukan untuk setiap skenario yang direncanakan. Semakin besar dimensi sumur resapan yang dibuat, maka dapat menampung jumlah air yang lebih banyak sehingga dapat diaplikasikan dalam jumlah yang lebih sedikit jika dibandingkan dengan dimensi sumur resapan yang lebih kecil.

Tabel 7. Nilai Limpasan dan Kebutuhan Sumur Resapan My Residence 1 Bogor

| Perumahan My Residence 1 Bogor | | Kebutuhan Sumur Resapan | | |
|--------------------------------|-----------------------|-------------------------|------------|------------|
| Periode Ulang | Q (m ³ /s) | Skenario 1 | Skenario 2 | Skenario 3 |
| 20 tahun | 0,2337 | 41 | 16 | 8 |
| 25 tahun | 0,2349 | 42 | 16 | 8 |
| 50 tahun | 0,2366 | 42 | 16 | 8 |

Dengan mengaplikasikan rekayasa teknis sumur resapan sesuai dengan periode ulang dan skenario yang diinginkan, maka dapat terwujud *zero* limpasan, dimana tidak ada air limpasan yang terbuang melalui *spillway*/efluen dan tidak membebani drainase makro.

KESIMPULAN

Laju suksesif konversi hutan menjadi kawasan budidaya dan kawasan terbangun tidak memperhatikan konservasi air yang dinilai menggunakan indeks konservasi. Hal ini ditandai dengan nilai $IK_c < IK_a$, dimana nilai IK_c dari tahun 2001 – 2007 secara berurutan adalah 0,675; 0,667; 0,671; 0,674; 0,675; 0,677; 0,669. Nilai IK_c yang didapat seluruhnya berada di bawah nilai IK_a yang diperoleh yaitu 0,75. Hal ini menunjukkan bahwa terjadinya degradasi lahan yang mengakibatkan kondisi kawasan DAS Ciliwung Hulu *un-sustainable*.

Pengendalian kawasan terbangun dalam rangka menerapkan konsep *zero* limpasan yang diwujudkan dengan drainase kawasan lingkungan dan aplikasi rekayasa teknis yaitu sumur resapan.

Penerapan konsep drainase kawasan lingkungan dapat mencegah air limpasan di drainase meluap dengan menggunakan perhitungan periode ulang yang tepat dan dimensi saluran ekonomis.

Penerapan aplikasi sumur resapan skala individu dapat mengurangi air yang masuk ke dalam drainase hingga lebih dari 50% dan sumur resapan skala komunal dapat mengoptimalkan pembangunan sumur resapan di sebuah area.

Dengan menerapkan konsep drainase kawasan lingkungan dan ditambah dengan aplikasi rekayasa teknis, maka dapat terwujud *zero* limpasan, dimana tidak ada air yang terbangun melalui *spillway*/efluen dan tidak membebani drainase makro.

DAFTAR PUSTAKA

- 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* 495 (2013) 1 – 12.
- Dasanto, B. B. dan Risyanto. (2006). Evaluasi Dampak Perubahan Penggunaan Lahan Terhadap Volume Limpasan Studi Kasus: DAS Cililungu Hulu, Jawa Barat. Departemen Geofisika dan Meteorologi. FMIPA-IPB. *Jurnal Agromet Indonesia* 20 (2): 1-13.
- Jatikusuma, I. (2016). Indeks Konservasi Sebagai Instrumen Pengendalian Pemanfaatan Ruang Di Kawasan Bandung Utara Dalam Rangka Keberlanjutan Sumberdaya Air DAS Cikapundung-Citarum Hulu. Institut Teknologi Bandung.
- Kamiana, I.M. (2011): Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air, Yogyakarta, Grah Widia.
- Kamila, N., Wardhana, I. W., & Sutrisno, E. (2016). PERENCANAAN SISTEM DRAINASE BERWAWASAN LINGKUNGAN (ECODRAINAGE) DI KELURAHAN JATISARI, KECAMATAN MIJEN, KOTA SEMARANG. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 22(2), 63-72.
- Sabar, Arwin (2002): Tren Global Pembangunan Infrastruktur Sumber Daya Air yang Berkelanjutan dalam Rangka Diskusi Pakar Perumusan Kebijakan Eco-Efficient Water Infrastructure Indonesia, Direktorat Pengairan dan Irigasi – Bappenas.
- Sabar, Arwin (2009): Perubahan Iklim, Konversi Lahan dan Ancaman Banjir dan Kekeringan di Kawasan Terbangun. Pidato Ilmiah Guru Besar, ITB Bandung.
- Sudradjat, A. (2012). Analisis kondisi eksisting penampang Sungai Cisangkuy Hilir menggunakan HEC-RAS 4.1.0. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 18(1), 43-53.
- Sudradjat, A. (2016). KAJIAN AWAL PENETAPAN TEKNOLOGI LOW IMPACT DEVELOPMENT/GREEN INFRASTRUCTURE PADA PENGELOLAAN LIMPASAN HUJAN MENGGUNAKAN SISTEM INFORMASI GEOGRAFI (STUDI KASUS: DAS CITARUM HULU BUKAN KOTA). *Jurnal Teknik Lingkungan*, 22(2), 92-103.
- Villazón, Mauricio F., Patrick Willems (2010): *Filling gaps and Daily Disaccumulation of Precipitation Data for Rainfall-runoff model*, data diperoleh melalui situs internet: https://www.researchgate.net/publication/228804071_Filling_gaps_and_Daily_Disaccumulation_of_Precipitation_Data_for_Rainfall-runoff_model. Diunduh pada tanggal 9 September 2016

