

Pengaruh Perubahan Tutupan Lahan terhadap Debit Banjir di Daerah Aliran Sungai Ciliwung Hulu

Mohammad Farid^(*)

Kelompok Keahlian Teknik Sumber Daya Air, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung, 40132 Email: mfarid@ftsl.itb.ac.id

Maryo Inri Pratama

Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung, 40132 Email: maryoinri@gmail.com

Arno Adi Kuntoro

Kelompok Keahlian Teknik Sumber Daya Air, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung, 40132 Email: arnoak@ftsl.itb.ac.id

Mohammad Bagus Adityawan

Kelompok Keahlian Teknik Sumber Daya Air, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung, 40132 Email: bagus.adityawan@ftsl.itb.ac.id

Faizal Immaddudin Wira Rohmat

Kelompok Keahlian Teknik Sumber Daya Air, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Jl. Ganesha No. 10 Bandung, 40132 Email: fiwrohmat@gmail.com

Idham Riyando Moe

Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Jalan Pattimura No. 20, Kebayoran Baru, Jakarta Selatan Email idham.moe@gmail.com

Abstrak

Jakarta yang berfungsi sebagai pusat pemerintahan dan bisnis Indonesia seringkali mengalami permasalahan bencana banjir. Kejadian banjir yang terjadi tidak hanya disebabkan oleh tingginya intensitas hujan yang terjadi namun juga dipengaruhi oleh faktor-faktor lain, khususnya perubahan tutupan lahan yang memperkecil daerah resapan air hujan. Studi ini merupakan suatu upaya untuk memprediksi dampak perubahan tutupan lahan yang terjadi terhadap dinamika banjir yang melanda ibu kota Negara Indonesia ini. Penelitian ini terbagi dalam 3 bagian yaitu pengumpulan data, pemodelan hidrologi dan analisis sensitivitas banjir terhadap perubahan tutupan lahan. Hidrograf Sintetis SCS CN digunakan untuk analisis hidrologi untuk mendapatkan peningkatan debit dan volume limpasan. Analisis hidrologi menunjukkan perubahan tutupan lahan berdasarkan tren yang tercatat menyebabkan peningkatan debit puncak dan volume limpasan pada tahun 2030 masing-masing sebesar 26% dan 24%. Namun demikian, dengan mengikuti Rencana Tata Ruang Kabupaten Bogor dan sekitarnya, peningkatan pengaruh banjir terhadap debit puncak dan volume limpasan dapat diminimalisir hingga berturut-turut sebesar 5.26% dan 4.94%. Setiap 13 km² kawasan hutan atau pertanian yang diubah menjadi kawasan perkotaan atau tanah kosong, debit puncak banjir dan volume limpasan meningkat sebesar 4.63% dan 4.34%.

Kata-kata Kunci: Ciliwung, banjir, SCS-CN.

Abstract

Jakarta, serves as the center of government and business in Indonesia, often experiences flood problems. The floodings that occur is not only caused by the high intensity of rain but is also influenced by other factors, especially changes in land cover that reduce the rainwater catchment area. This study is an attempt to predict the impact of land cover changes on the dynamics of floods that hit the capital city of Indonesia. This research is divided into 3 parts, namely data collection, hydrological modeling and analysis of flood sensitivity to land cover changes. SCS CN Synthetic Hydrograph was used for hydrological analysis to obtain increased discharge and runoff volume. Hydrological analysis shows that changes in land cover based on trends will cause an increase in peak discharge and runoff volume in 2030 by 26% and 24%, respectively. However, by following the Spatial Plan for Bogor Regency and its surroundings, the increase in the influence of flooding on peak discharge and runoff volume can be minimized to 5.26% and 4.94%, respectively. Every 13 km² of forest or agricultural areas that are converted into urban areas or urban area, the peak flood discharge and runoff volume increase by 4.63% and 4.34%.

Keywords: Ciliwung, flood, SCS-CN.

*Penulis Korespondensi

1. Latar Belakang

Sungai Ciliwung merupakan salah satu sungai yang bermuara pada kota DKI Jakarta, ibu kota Negara dan ibu kota pemerintahan Indonesia. Sebagai sungai yang membelah Provinsi dimana sebagian besar kegiatan sosial dan ekonomi negara berlangsung, dinamika yang terjadi pada sungai Ciliwung memberikan dampak yang besar pada pertumbuhan negara. Banjir dianggap salah satu yang terbesar masalah yang dihadapi Jabodetabek saat ini. Laju aliran tinggi di Sungai Ciliwung, yang mengalir melalui pusat kota Jakarta, secara teratur menyebabkan banjir besar selama musim hujan (Formánek et al., 2013). Pola pengurangan daerah terbuka Jakarta yang cepat dalam rentang 20 tahun ke belakang diikuti dengan semakin meningkatnya intensitas banjir dan ketinggian banjir yang terjadi, menunjukkan adanya hubungan langsung antara mengurangnya luasan ruang terbuka hijau dalam memperparah kondisi kota Jakarta yang telah dipandang sebagai salah satu kota yang paling rawan menghadapi bencana banjir. Banjir pada tahun 2007 ditetapkan sebagai bencana nasional dengan kerugian mencapai 5 triliun rupiah, dimana 74% total kerugian terjadi di daerah perumahan (BAPPENAS, 2007). Pada tahun 2013, Jakarta kembali mengalami kejadian banjir besar lainnya, dimana 124 perkampungan terendam dengan total korban jiwa sebanyak 20 orang. Banjir pada tahun 2013 ini diperkirakan menyebabkan kerugian sebesar 7,5 triliun rupiah. Selain menyebabkan kerugian pada daerah sekitar sungai, banjir pada DAS Ciliwung dan DAS-DAS sekitarnya juga memberi dampak langsung pada beberapa objek vital nasional, meliputi Monumen Nasional dan istana kepresidenan Republik Indonesia. Langkah non-struktural, seperti pemetaan bahaya dan risiko banjir, dapat sangat efektif untuk perencanaan penggunaan lahan dan mitigasi kerusakan banjir (Marfai et al., 2015).

Tiap tahunnya terjadi penambahan penduduk yang disebabkan oleh kelahiran dan tingginya jumlah pendatang yang mencari pekerjaan di Kota ini. Jakarta merupakan kota dengan jumlah penduduk terbesar di Asia Tenggara, dengan jumlah penduduk lebih dari 10 juta jiwa dan pertumbuhan mencapai 0,94% tiap tahunnya (BPS Provinsi DKI Jakarta, 2020). Di lain sisi, pada tahun 2017 kota Bogor mencatat kenaikan penduduk sebesar 2,28% (BPS Kabupaten Bogor 2018). Bertambahnya jumlah penduduk kota Jakarta dan Bogor mengakibatkan naiknya tingkat kepemilikan lahan yang berdampak pada bertambahnya luas pemukiman dan menurunnya luasan Ruang Terbuka Hijau. Dari segi tata kota dan tutupan lahan, Kota Jakarta memenuhi kurang dari sepertiga skala ideal lingkungan hijau dan area resapan yang diperlukan sebagai resapan natural pada tahun-tahun dengan hujan normal (Dinas Tata Ruang DKI Jakarta, 2011). Tutupan lahan yang kurang baik ini ditunjukkan pada beberapa lokasi yang didesain sebagai daerah resapan hujan sebagai besar dialihgunakan menjadi daerah pemukiman mewah (Firman, 2011). Urbanisasi dan perubahan tutupan lahan yang cepat ini secara langsung merubah sifat hidrologi suatu daerah dengan memperkecil laju infiltrasi, baseflow dan waktu lag

serta menambah limpasan permukaan, debit puncak, volume limpasan dan frekuensi banjir (Ogden, 2011; Suriya and Mudgal, 2012; Tellman et al. 2015), diperparah dengan kondisi drainase yang buruk dan tidak terurus (Ng, 2016) khususnya pada masa pembangunan drainase dan konstruksi lain (Guan, 2015). Perubahan tutupan lahan dan tutupan lahan juga diindikasikan dapat mempengaruhi frekuensi dan karakteristik hujan (Boysen et al., 2014; Mitsova, 2014).

Berdasar pembagian wilayahnya DAS Ciliwung dibagi menjadi 3 kawasan, hulu, tengah dan hilir. Sebagai suatu sistem, perubahan yang terjadi pada bagian hulu daerah sungai akan mempengaruhi keseluruhan DAS (Ali et al., 2016). Hanya berjarak 10 kilometer dari Jakarta, Sub-DAS Depok mencakup lebih dari 73% dari total luas keseluruhan DAS Ciliwung merupakan kunci penting dalam manajemen pencegahan dan mitigasi banjir DKI Jakarta. Sejumlah penelitian telah mempertimbangkan dampak perubahan tutupan lahan terhadap banjir; namun hanya sedikit studi tentang dampak perubahan tutupan lahan di masa depan terhadap banjir (Mishra et. al, 2018). Dalam pemodelan hidrologi, suatu DAS diperlakukan sebagai sejumlah unit homogen kecil untuk mengatasi heterogenitas spasial yang dihasilkan dari variabilitas proses fisik dan karakteristik fisik di daerah aliran sungai. Diskritisasi spasial harus cukup rinci untuk mendapatkan hasil yang serealistis mungkin, disaat bersamaan juga harus sesederhana mungkin untuk mempersingkat waktu pemodelan dan dapat dimodelkan dengan data-data yang terbatas (Eko & Sutjningsih, 2018). Pada penelitian ini, aplikasi HEC-HMS akan digunakan sebagai alat bantu pemodelan hidrologi untuk menghasilkan hidrograf banjir pada Pos Duga Air Depok.

Tujuan penelitian ini adalah untuk menilai dampak dari perkiraan perubahan tutupan lahan terhadap bahaya banjir di masa depan pada sub-DAS Depok dengan beberapa skenario tutupan lahan yang berbeda, melalui perubahan volume dan puncak debit banjir.

2. Lokasi dan Metode Studi

2.1 Lokasi studi

Secara astronomis Provinsi DKI Jakarta terletak pada posisi 6°12' LS dan 106°48 BT. Kota Jakarta merupakan dataran rendah dengan ketinggian rata-rata 7 meter diatas permukaan laut. Wilayah DKI Jakarta terdiri atas daratan seluas 662,33 km² dan berupa lautan seluas 6.977,5 km² serta memiliki lebih dari 110 pulau yang berlokasi di Kabupaten Seribu dan sekitar 27 sungai/saluran/kanal. Dalam hal administrasi pemerintahan, Provinsi DKI Jakarta dibagi menjadi 5 (lima) kota administrasi dan 1 (satu) kabupaten administrasi. Rata-rata ketinggian dataran Provinsi DKI Jakarta adalah 7 meter di atas permukaan laut. Sekitar 40% wilayah Provinsi DKI Jakarta berupa dataran yang permukaan tanahnya berada 1-1,5 meter di bawah muka laut pasang dan sekitar 0-3% wilayah Provinsi DKI Jakarta memiliki kecenderungan datar. Sementara daerah hulu dimana sungai-sungai yang bermuara di Provinsi DKI Jakarta memiliki ketinggian

yang cukup tinggi yaitu sekitar 8-15% di wilayah Bogor dan Cibinong, sedangkan daerah Ciawi-Puncak memiliki ketinggian lebih dari 15%. Struktur daerah Jakarta terdiri dari endapan Pleistocene yang terdapat ±50 meter di bawah permukaan tanah. Di sisi utara, permukaan keras baru terdapat pada kedalaman 10-25 meter, semakin ke selatan permukaan keras semakin dangkal pada kedalaman 8-15 meter. Pada sebagian wilayah, lapisan permukaan tanah yang keras terdapat pada kedalaman 40 meter, sedangkan struktur di sisi selatan terdiri atas lapisan alluvial. Secara umum iklim di wilayah Indonesia yang meliputi wilayah Jakarta, Kota Depok, Tangerang dan Kabupaten Bogor terdiri dari dua musim utama, yaitu musim kemarau dan musim penghujan. Pada Bulan Juni sampai dengan September arus angin berasal dari Australia dan tidak banyak mengandung uap air, sehingga mengakibatkan musim kemarau, demikian juga sebaliknya. Peta lokasi studi dapat dilihat pada **Gambar 1**.

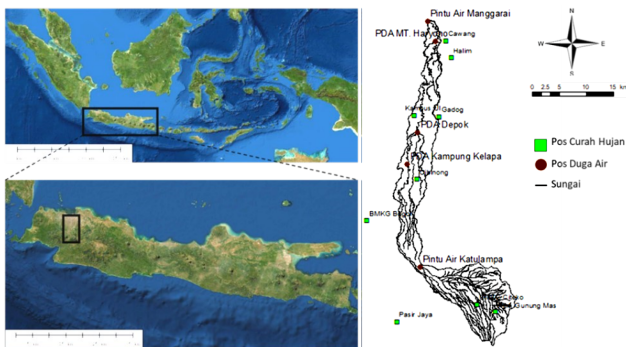
2.2 Analisis dan pemodelan tutupan lahan

Analisis perubahan tutupan lahan merupakan dasar dalam menganalisis bangkitan debit yang akan dilakukan dikarenakan, bersama dengan jenis tanah dan kemiringan lahan, secara langsung mempengaruhi besar infiltrasi yang terjadi serta mengubah besarnya debit limpasan. Pada analisis ini data tutupan lahan dibangkitkan dari peta citra satelit yang disediakan oleh USGS, dengan selang waktu 10 tahun dalam kurun waktu 20 tahun terakhir. Jenis tutupan lahan dimasukkan ke dalam 5 kategori sesuai dengan peraturan Kementerian kehutanan Republik Indonesia.

2.3 Parameter hidrologi

Beberapa parameter hidrologi yang diperlukan untuk melakukan analisis hidrologi meliputi curah hujan rata-rata, distribusi hujan jam-jaman (intensitas hujan) dan area reduction factor (ARF). Dalam analisis suatu DAS yang dipengaruhi oleh lebih dari 1 pos curah hujan, dilakukan analisis hujan rata rata untuk menyederhanakan besarnya curah hujan gabungan yang terjadi pada DAS tersebut. Metode poligon Thiessen umumnya digunakan dikarenakan relatif sederhana dan akurat (Faisal & Gaffar, 2012). Metode ini memberikan bobot tertentu berdasarkan efek luasan (area of effect) masing-masing pos hujan relatif terhadap total luas DAS.

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \tag{1}$$



Gambar 1. Lokasi studi

Dimana \bar{P} = curah hujan rata-rata; P_i = curah hujan pos i , dan; A_i = luas wilayah pos hujan i .

Pada analisis kalibrasi dan validasi hidrologi, intensitas hujan jam-jaman krusial digunakan untuk mengetahui respon lahan dalam bentuk hidrograf limpasan banjir. Pada beberapa kasus dimana tidak terdapat data pengukuran intensitas hujan jam-jaman, besarnya intensitas akan didekati dengan mendistribusikan curah hujan harian ke dalam data jam-jaman berdasarkan karakteristik historis hujan. Mutia dalam Brotowiryatmo (2016) menganalisis durasi hujan yang terjadi kedalam 4 kategori sesuai dengan besarnya curah hujan harian yang terjadi sebagaimana tersaji pada **Tabel 1**.

Wanny (2003), melalui data historis hujan, menyimpulkan bahwa distribusi hujan jam-jaman di provinsi Jawa Barat sebagaimana pada **Tabel 2**.

Dalam menganalisis daerah aliran sungai yang cukup luas, perlu adanya suatu variabel koreksi besar volume hujan yang turun. Hal ini dikarenakan dalam DAS yang cukup luas, kemungkinan besar hujan yang terjadi tidak turun secara merata di seluruh luasan DAS, yang mengakibatkan perlu dilakukan suatu proses untuk mereduksi total volume hujan yang terjadi. Area reduction factors (ARFs), khususnya yang bersumber dari Technical Paper 29 (TP-29), umumnya digunakan sebagai variabel koreksi ini (Allen & Degaetano, 2005). ARF TP-9 menggunakan pendekatan untuk DAS kurang dari 1100 km² dengan periode hujan 6 jam sebagai dalam **Persamaan 2**.

$$ARF = \frac{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n R'_j(t, A)}{\frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \left[\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k R_{i,j}(t) \right]} \tag{2}$$

Leclerc dan Schaake (1972) menyederhanakan **Persamaan 2** di atas dengan bentuk pada **Persamaan 3**.

Tabel 1. Durasi hujan di pulau Jawa

Catchment	Durasi Hujan			
	50 - 75 mm	75 - 100 mm	> 100 mm	> 150 mm
1	4	4	7	4
2	5	6	-	5
3	5	6	7	6
4	4	5	4	4
5	6	6	-	6
Rata-rata	4.8	5.4	6	5

Tabel 2. Intensitas hujan jam-jaman dalam kurun waktu tertentu

	Lama Waktu Hujan					
	3	4	5	6	7	8
Intensitas Hujan Jam-jaman	0.68	0.26	0.11	0.12	0.505	0.123
	0.24	0.61	0.54	0.54	0.255	0.502
	0.08	0.10	0.28	0.24	0.126	0.044
	0	0.03	0.06	0.06	0.065	0.077
	0	0	0.01	0.03	0.034	0.215
	0	0	0	0.01	0.012	0.024
	0	0	0	0	0.003	0.012
	0	0	0	0	0	0.003

$$ARF = 1 - \exp(at^b) + \exp(at^b - cA) \quad (3)$$

Dimana $a = -1.1$, $c = 0.0259$, dan $b = 0.25$.

Penelitian Wright et. al (2014) menunjukkan bahwa selain dipengaruhi oleh luasan suatu DAS, ARF juga dipengaruhi oleh besarnya intensitas hujan yang terjadi berserta dengan besar periode ulang rencana hujan. Pendekatan yang diperoleh sesuai dengan **Persamaan 4**.

$$ARF = e^{\left(\frac{A}{a}\right)^b} \quad (4)$$

Dengan nilai a dan b disesuaikan dengan pengukuran hubungan hujan dan limpasan permukaan yang tercatat dalam selang waktu tertentu. Dikarenakan kompleksitas yang tinggi dari metode ARF Wright dan ketidaktersediaan data intensitas di banyak pos hujan, metode ARF Leclerc akan digunakan dalam studi ini.

2.4 Soil conservation service-curve number

Soil Conservation Service-Curve Number merupakan salah satu dari banyak metode pendekatan besar infiltrasi yang terjadi. Besar limpasan yang dibangkitkan tergantung pada tipe tutupan lahan, jenis tanah (Hydrologic Soil Groups/ HSGs) dan karakteristik DAS (Soulis & Valiantzas, 2012). Nilai parameter CN bervariasi dari 0 – 100, yang dapat dihitung secara empiris atau dapat disesuaikan dari nilai tabel penelitian yang telah dilakukan, sesuai dengan tutupan lahan DAS dan karakteristik tanah, yang akan dipengaruhi oleh kelembaban tanah. Penilaian kelembaban tanah memerlukan model matematika yang rumit dikarenakan dipengaruhi dinamika ruang-waktu yang kompleks dan membutuhkan kontrol lapangan yang ketat dengan beberapa pengukuran spesifik. Dalam kurun waktu tertentu sebelum terjadi hujan, variabel hidrologi yang berlaku disebut sebagai antecedent rainfall. Variabel ini digunakan untuk mengkarakterisasi tanah basah dan kondisi tanah awal sebelum peristiwa banjir. Untuk menyederhanakan implementasi kelembaban tanah, maka digunakan indeks AMC Soil Conservation Service (Paola et. al, 2013)

2.5 Hidrograf soil conservation service-curve number

Soil Conservation Service-Curve Number (SCS-CN) merupakan metode yang umum digunakan untuk memprediksi besar limpasan dari kejadian hujan tertentu, dikarenakan relatif sederhana namun well-established karena data-data yang diperlukan mudah didapat, terdokumentasikan dengan baik, serta mempertimbangkan berbagai factor yang mempengaruhi bangkitan limpasan dan menggabungkannya kedalam satu parameter tunggal (Soulis dan Valiantzas 2012).

Beberapa simulasi hidrologi akan dijalankan dengan set parameter CN yang berbeda dan dengan parameter simulasi lain bernilai konstan. Simulasi ini menghasilkan kurva debit untuk setiap skenario dan kondisi saat. Persamaan umum bangkitan debit yang dihasilkan dengan metode SCS dapat dilihat pada **Persamaan 5**.

$$Q = \frac{(P - I_a)^2}{(P - I_a) - S} \quad (5)$$

dimana :

- Q = debit (m);
- P = curah hujan (m);
- S = Potensi maksimum retensi setelah terjadi debit (m); dan
- Ia = Abstraksi Awal (pendekatan Ia = 0.2S)

Dengan potensi maksimum retensi didefinisikan sebagai fungsi CN sebagaimana pada **Persamaan 6**.

$$S = \frac{25400}{CN} - 254 \quad (6)$$

Waktu lag yang terjadi didekati dengan **Persamaan 7**.

$$t_L = \frac{L^{0.8}(2540 - 22.86 CN)^{0.7}}{14104 CN^{0.7} I^{0.5}} \quad (7)$$

Bangkitan debit puncak didapat dari **Persamaan 8**.

$$Q_p = U_p A Q F_p \quad (8)$$

dimana:

- t_L = Waktu lag (jam);
- L = Panjang saluran (km);
- I = Kemiringan saluran (m/m²);
- Qp = debit puncak (cms);
- A = luas DAS (km²);
- Q = debit (mm); dan
- Fp = faktor pengatur kolam/rawa

Puncak hidrograf satuan yang terjadi dengan metode SCS didapat dengan **Persamaan 9**.

$$U_p = C \frac{A}{T_p} \quad (9)$$

dimana C = konstanta konversi

2.6 HEC HMS

Pemodelan hidrologi merupakan bagian penting dari proses analisis hidrologi. Pemodelan memungkinkan analisis yang dilakukan menjadi lebih sederhana dan disesuaikan dengan konsep-konsep teoritis dengan tidak mengabaikan parameter-parameter penting guna mempercepat proses analisis. Salah satu perangkat lunak yang seringkali digunakan dalam pemodelan hidrologi adalah Hidrologic Engineering Center – Hydrologic Modeling System / HEC-HMS dikarenakan keberagaman pilihan model yang dapat digunakan dan kemudahan penggunaan. HEC-HMS didesain untuk mensimulasikan proses hidrologi dari DAS berbentuk dendritic dengan berbagai prosedur analisis hidrologi klasik meliputi infiltrasi, unit hidrograf dan penelusuran hidrologi. Selain dapat membangkitkan hidrograf, perangkat lunak ini juga dapat digunakan untuk estimasi parameter, analisis kedalaman-luas, peramalan aliran dan transpot erosi dan sedimentasi.

HEC-HMS juga memiliki kemampuan ligkungan kerja terintegrasi mulai entri data, mesin perhitungan dan pelaporan hasil analisis. Hasil simulasi yang tersimpan

dalam Data Storage System (DSS) bisa digunakan dengan perangkat lunak lain untuk kebutuhan ketersediaan air, drainase perkotaan, peramalan aliran, dampak urbanisasi kedepannya, disain pelimpah waduk dan opsai sistem sumber daya air (Hydrologic Engineering Center, 2018). Perangkat ini akan digunakan untuk memodelkan respon DAS terhadap hujan yang terjadi dalam hasil hidrograf limpasan. Parameter DAS akan dikalibrasi selama pemodelan untuk mendapat ketepatan yang baik. Ketepatan model akan diukur dengan 2 cara, yaitu Nash Sutcliffe Efficiency (NSE) pada **Persamaan 10** dan Root Mean Square Error (RMSE) pada **Persamaan 11**.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{mean})^2} \quad (10)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{n}} \quad (11)$$

3. Metodologi

Penelitian ini didasarkan pada hasil proyeksi pemodelan tutupan lahan yang dianalisis melaltercantum dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kabupaten Bogor, tepatnya dalam cangkup DAS Ciliwung. Penelitian ini terbagi dalam 3 bagian besar yaitu pengumpulan data, pemodelan hidrologi dan analisis sensitivitas banjir terhadap perubahan tutupan lahan. Metodologi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 2**.

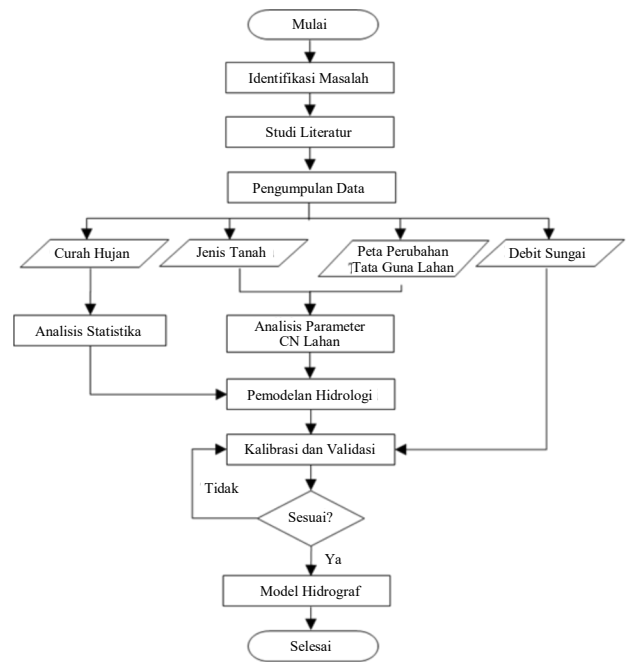
4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Analisis perubahan tutupan lahan

Secara keseluruhan dalam kurun waktu 20 tahun saja keseimbangan luasan antara lahan perkebunan dan pemukiman mengalami ketimpangan dengan perbedaan sebesar 50%. Luas lahan kosong mengalami perubahan yang besar pada tahun 1999 - 2009 namun pada waktu selanjutnya hanya mengalami penurunan yang minor. Jumlah luasan hutan hanya mengalami perubahan yang kecil dalam rentang waktu ini, hanya sekitar 1.5 km²,

sedangkan perubahan luasan badan air mengalami peningkatan sebesar 50% yang dapat disebabkan oleh pembangunan embung atau waduk, penambahan aliran irigasi dari sawah maupun waktu pemetaan yang secara kebetulan bersamaan dengan terjadinya banjir di lokasi lokasi tertentu. Dalam pemetaan yang dilakukan terlihat bahwa penurunan lahan perkebunan tidak seluruhnya secara langsung disebabkan oleh pembangunan lahan pemukiman, dimana kebanyakan dilakukan pada area lahan kosong, namun sebaliknya tutupan lahan perkebunan mengalami transisi menjadi lahan kosong terlebih dahulu. Secara keseluruhan, perubahan tutupan lahan di DAS Ciliwung didominasi oleh pertumbuhan yang pesat dari luas wilayah pemukiman (urban area) dan penurunan yang juga cepat pada lahan perkebunan (agricultural area).

Sub DAS Depok merupakan lokasi dimana dinamika perubahan lahan pada DAS Ciliwung mayoritas terjadi.



Gambar 2. Metodologi penelitian

Tabel 3. Luas tiap jenis tutupan lahan sub DAS Depok

No	Jenis Tutupan	1999		2009		2019	
		Luas (km ²)	%	Luas (km ²)	%	Luas (km ²)	%
1	Hutan	59.18	23.77	58.95	23.68	57.86	23.25
2	Perkebunan	105.21	42.27	95.54	38.39	88.87	35.72
3	Lahan Kosong	28.94	11.63	18.32	7.36	15.44	6.21
4	Badan Air	11.32	4.55	11.49	4.62	18.71	7.52
5	Pemukiman	44.26	17.78	64.59	25.95	67.93	27.30

Tabel 4. Perubahan tutupan lahan sub DAS Depok

No	Jenis Tutupan Lahan	1999-2009		2009-2019		1999 - 2019	
		Luas (km ²)	%	Luas (km ²)	%	Luas (km ²)	%
1	Hutan	-0.23	-0.39	-1.09	-1.85	-1.32	-2.23
2	Perkebunan	-9.67	-8.69	-6.67	-6.62	-16.34	-14.68
3	Lahan Kosong	-10.62	-33.42	-2.88	-15.07	-13.50	-42.47
4	Badan Air	0.17	1.09	7.21	39.75	7.39	46.25
5	Pemukiman	20.33	17.02	3.33	2.37	23.66	19.81

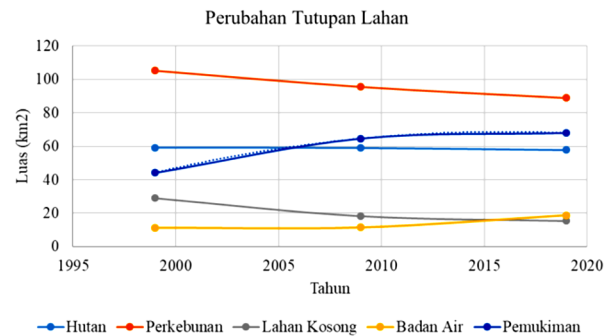
Perubahan pada luasan badan air yang signifikan pada periode 2009 dan 2019 mengindikasikan pembangunan beberapa embung, bendung maupun bendungan pada wilayah sub DAS ini. Dalam kurun waktu 20 tahun terjadi peningkatan luasan pemukiman lebih dari 23 km² atau lebih dari 50% serta terjadi pengurangan luasan perkebunan sebesar 16 km² yang diikuti juga oleh penurunan lahan kosong sebesar 13.5 km². Penurunan kecepatan peningkatan luas pemukiman dapat disebabkan oleh menurunnya luasan wilayah yang dapat digunakan sebagai lahan pemukiman baru. Dinamika perubahan lahan pada sub DAS Depok yang didapatkan dari hasil analisis metode *remote sensing* oleh peneliti dapat dilihat pada **Tabel 3**, **Tabel 4**, **Gambar 3** dan **Gambar 4**.

Peningkatan luas lahan pemukiman yang diikuti penurunan luasan hutan dan perkebunan menyebabkan naiknya nilai CN dan kededapan lahan. Dengan menganalisis luasan tiap kategori tutupan lahan didapat pada tahun 1999 sub DAS Depok nilai CN bernilai 84.33, pada tahun 2009 bernilai 85.05, dan pada 2019 bernilai 85.72. Dalam 20 tahun terakhir terjadi kenaikan nilai CN sebesar 1.5 poin dan kededapan lahan sebesar 4.6%. Melalui perhitungan di atas, didapatkan bahwa setiap peningkatan 13 km² lahan pemukiman pada DAS Ciliwung menyebabkan kenaikan 1 poin nilai CN.

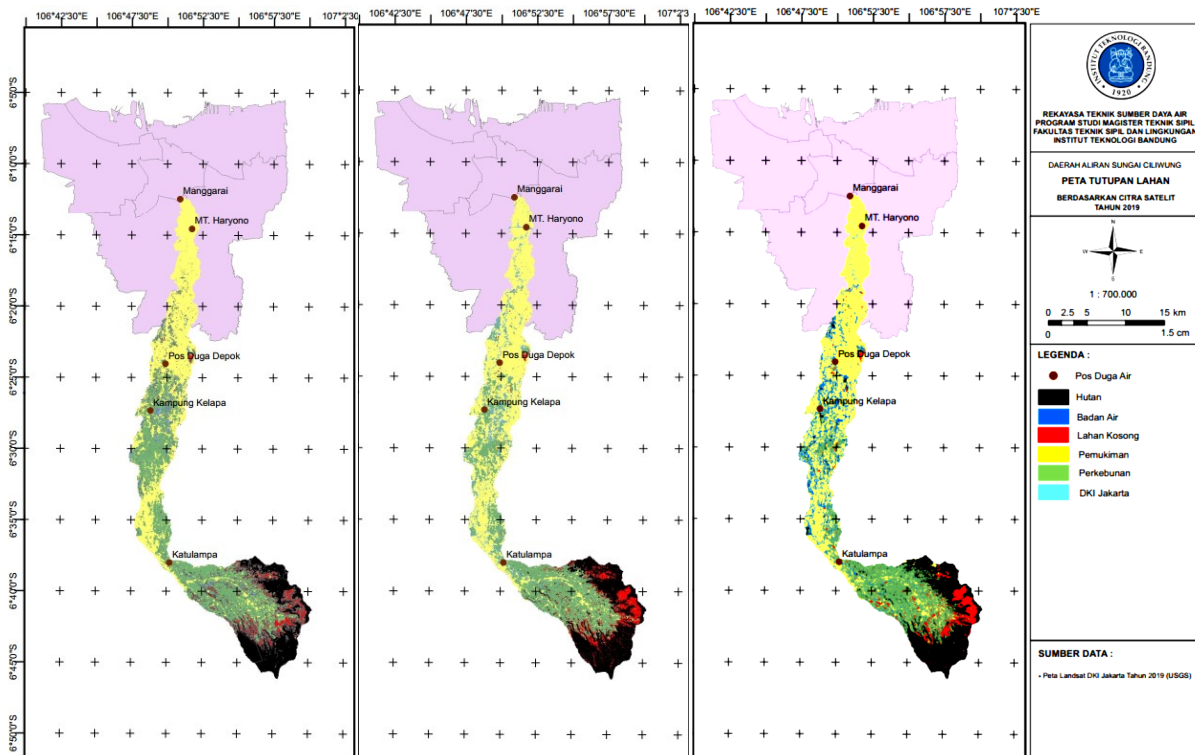
4.2 Proyeksi perubahan tutupan lahan

Rencana perubahan tutupan lahan ini akan menggunakan hasil proyeksi dari penelitian sebelumnya oleh Moe, et al. dan perencanaan yang telah dituangkan dalam Rencana Tata Ruang Wilayah Kota Depok dan Kabupaten Bogor dengan mengasumsikan tidak

adanya perubahan secara signifikan yang terjadi pada sub DAS Manggarai dan sub DAS M. T. Haryono. Asumsi tidak adanya perubahan ini bukan hanya mengabaikan kemungkinan meningkatnya nilai CN pada kedua sub DAS tersebut namun juga mengabaikan adanya pembebasan lahan yang menyebabkan turunnya nilai CN. Moe, et al. (2017) memproyeksi pertumbuhan penduduk dan pergerakan perubahan tutupan lahan dengan memperhitungkan tren secara historis dalam beberapa tahun terakhir dengan mempertahankan kecepatan urbanisasi. Hal-hal yang perlu diperhatikan dalam proyeksi ini adalah prediksi ini mengabaikan terjadinya pertumbuhan sosial maupun pertumbuhan infrastruktur. Proyeksi tutupan lahan akan menggunakan tutupan pada tahun 2030 yang telah diproyeksikan dengan model SLEUTH. RTRW Kota Depok dan Kabupaten Bogor dilain sisi memperhitungkan kaitan antara berbagai aspek yang berhubungan dengan tutupan lahan, seperti lokasi pembangunan infrastruktur-infrastruktur tertentu dan pembangunan sosial. Dalam tesis ini proyeksi yang



Gambar 4. Perubahan tutupan lahan sub DAS Depok



Gambar 3. Tutupan lahan DAS Ciliwung; a) tahun 1999; b) tahun 2009, dan; c) tahun 2019

berasal dari RTRW akan dianggap sebagai kondisi ideal sedangkan proyeksi yang telah dilakukan oleh Moe, et al. akan digunakan sebagai prediksi kondisi tutupan terburuk sehingga akan menghasilkan debit banjir terbesar. Peta proyeksi tutupan lahan serta luasan lahan tiap kategori dapat dilihat pada **Gambar 5**.

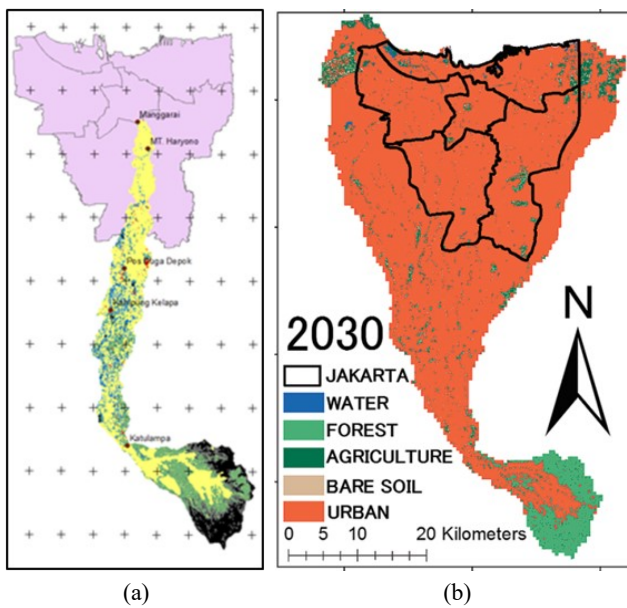
4.3 Pemodelan dan kalibrasi hidrologi

Pemodelan dilakukan dengan memfokuskan perhitungan sub-DAS Depok ke dalam 1 sub-DAS (*lumped*). Titik kontrol kalibrasi diletakkan tepat di titik pos duga air/AWLR kota Depok, 10 kilometer dari Jakarta Selatan, dengan tidak melakukan penelusuran debit banjir di sungai. Untuk mendapatkan kondisi kelembaban tanah yang sesuai, masing-masing simulasi akan dilakukan dalam 3 hari, dimulai dari 2 hari sebelum kejadian banjir dan berakhir pada hari terjadinya banjir. Intensitas hujan interval 1 jaman yang tercatat pada pos curah hujan Citeko akan digunakan sebagai pendekatan persentase intensitas hujan gabungan, yang jika tidak tersedia akan menggunakan pendekatan intensitas hujan oleh Mutia dalam Brotowiryatmo (2016). Model hidrologi dapat dilihat pada **Gambar 6**.

Kalibrasi dilakukan pada kejadian hujan yang mengakibatkan banjir di Jakarta, khususnya disepanjang DAS Ciliwung dan memiliki data harian yang lengkap di 9 pos curah hujan yang digunakan. Parameter kalibrasi dan validasi yang digunakan adalah waktu lag dan abstraksi inisial, yang masing masing nilai awalnya ditetapkan oleh pendekatan Departemen Agrrikultur Amerika Serikat (USDA) dan akan diubah-ubah hingga mendapatkan nilai galat terkecil. Melalui proses kalibrasi dan validasi didapatkan nilai waktu lag optimum bernilai 330 menit (5.5 jam) sedangkan nilai abstrak inisial adalah sebesar 0.2S sesuai dengan estimasi USDA. Perbandingan hidrograf hasil kalibrasi dan hidrograf aktual dapat dilihat pada **Gambar 7**.

4.4 Simulasi banjir rencana

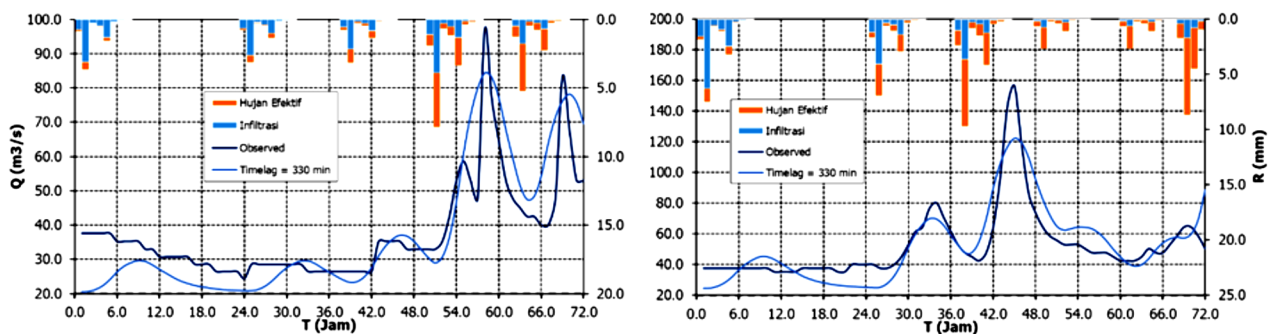
Parameter yang secara langsung berubah dengan berubahnya nilai CN adalah kapasitas infiltrasi tanah. Melalui **Gambar 8** dapat dilihat bahwa dengan naiknya CN sebesar 1 poin (setara dengan perubahan 13 km² hutan maupun daerah pertanian menjadi perumahan) menyebabkan penurunan kapasitas infiltrasi lahan di sub DAS Depok sebesar -2.2%, dengan perbedaan CN



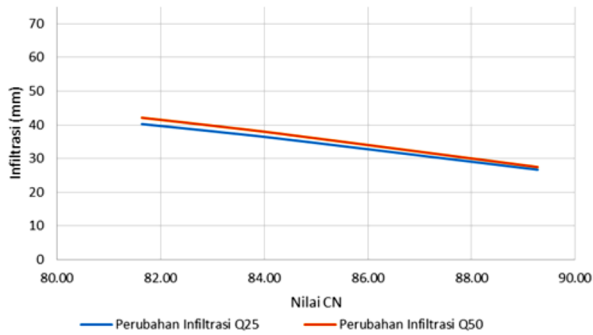
Gambar 5. Proyeksi tutupan lahan DAS Ciliwung tahun 2030; a) RTRW provinsi; dan b) trend pertumbuhan



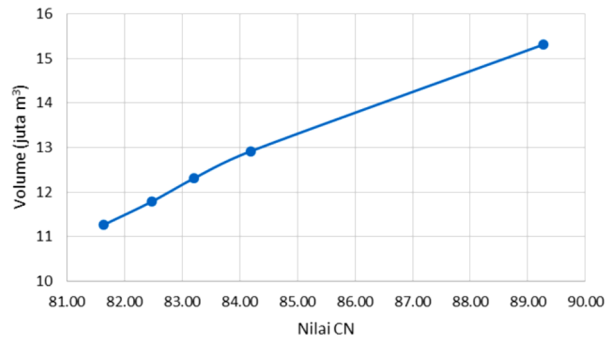
Gambar 6. Model hidrologi HechMS



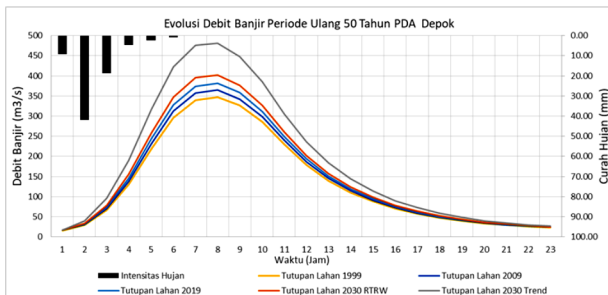
Gambar 7. Hasil kalibrasi hidrograf banjir: a) 21 April 2016; b) 16 Februari 2017



Gambar 8. Perubahan kapasitas infiltrasi lahan akibat perubahan nilai CN



Gambar 10. Perubahan bangkitan volume limpasan akibat perubahan nilai CN



Gambar 9. Perbandingan hidrograf pada tiap tutupan lahan

ekstrem sebesar 6.07 atau setara dengan perbedaan infiltrasi hingga 27 mm.

Pada simulasi debit banjir di DAS Depok dengan kala ulang 50 tahun yang telah dilakukan, dihasilkan 5 model hidrograf: debit puncak 347,7 m³/dt untuk tutupan lahan tahun 1999, 365 m³/ dt untuk tutupan lahan tahun 2009, 382 m³/dt untuk tutupan lahan tahun 2019, 402,3 m³/dt untuk tutupan lahan tahun 2030 berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah dan 481,5 m³ /d untuk tutupan lahan tahun 2030 berdasarkan proyeksi tren. Melalui hasil simulasi didapatkan bahwa peningkatan CN sebesar 1 point menyebabkan peningkatan debit di sub DAS Depok sebesar 4,63%, dengan perbedaan CN ekstrem sebesar 6.07 atau setara dengan perbedaan debit hingga 100 m³/dt antara tutupan lahan pada tahun 2009 dan 2030-tren. Mematuhi Rencana Tata Ruang Wilayah yang telah dirumuskan akan memperlambat pertumbuhan debit, mengurangi kemungkinan terjadinya banjir dan mengurangi dampak banjir. Hasil pemodelan hidrologi dapat dilihat pada **Gambar 9**.

Melalui hidrograf banjir yang telah dimodelkan didapat besarnya bangkitan volume limpasan banjir untuk tiap tutupan lahan: volume limpasan sebesar 11.27 juta m³ untuk tutupan lahan tahun 1999, 11.79 juta m³ untuk tutupan lahan tahun 2009, 12.31 juta m³ untuk tutupan lahan tahun 2019, 12.92 juta m³ untuk tutupan lahan tahun 2030 berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah dan 15.31 juta m³ untuk tutupan lahan tahun 2030 berdasarkan proyeksi tren. Melalui **Gambar 10** dapat dilihat bahwa dengan naiknya CN sebesar 1 poin menyebabkan kenaikan bangkitan volume banjir di sub DAS Depok sebesar 4.34%, dengan perbedaan CN

ekstrem sebesar 6.07 atau setara dengan perbedaan volume limpasan hingga 3 juta m³.

5. Kesimpulan

1. Kajian ini merupakan upaya untuk memperkirakan dampak perubahan tutupan lahan terhadap bangkitan debit puncak dan volume banjir di sub DAS Depok, bagian dari DAS Ciliwung, Indonesia. HEC-HMS digunakan untuk menghasilkan hidrograf banjir untuk mengkalibrasi dan mendesain debit banjir. Untuk memperkirakan dampak perubahan tutupan lahan yang terjadi maka digunakan Hidrograf Sintesis Soil Conservation Service (SCS) beserta metode distribusi curah hujan Jawa Barat.
2. Dua proyeksi perubahan tutupan lahan pada tahun 2030 yang berasal dari studi sebelumnya dan Rencana Tata Ruang Wilayah digunakan untuk menganalisis debit desain. Analisis hidrologi menunjukkan perubahan tutupan lahan berdasarkan tren tutupan lahan yang tercatat menyebabkan peningkatan debit puncak dan volume limpasan pada tahun 2030 masing-masing sebesar 99.5 m³/dt (26%) dan 3 juta m³ (24%). Namun demikian, dengan mengikuti Rencana Tata Ruang Kabupaten Bogor dan sekitarnya, peningkatan pengaruh banjir terhadap debit puncak dan volume limpasan dapat diminimalisir hingga berturut-turut sebesar 20.1 m³/dt (5.26%) dan 0.61 juta m³ (4.94%). Setiap 13 km² kawasan hutan atau pertanian yang diubah menjadi kawasan perkotaan atau tanah kosong, debit puncak banjir dan volume limpasan meningkat masing-masing sebesar 4.63% dan 4.34%.
3. Hasil studi ini menunjukkan bahwa studi lebih lanjut yang lebih rinci tentang dampak perubahan LULC terhadap bahaya banjir diperlukan, terutama di daerah kota Jakarta. Studi ini akan sangat penting dalam perencanaan tata ruang dan dapat menunjukkan daerah-daerah yang saat ini telah rawan banjir atau berpotensi menjadi daerah rawan banjir (dikarenakan peningkatan aliran yang disebabkan oleh perubahan tutupan lahan) serta menjadi acuan sasaran perencanaan pengembangan permukiman di masa depan. Kawasan-kawasan dengan potensi rawan tersebut harus menjadi

pertimbangan khusus dalam pembentukan kebijakan tata ruang untuk menghindari kerugian ekonomi di masa mendatang.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih atas dukungan yang diberikan oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Institut Teknologi Bandung melalui Riset Kelompok Keahlian Kategori B (Riset KK B) Tahun 2020 (Riset KK B) dengan judul “Pemodelan Hidrologi dan Hidraulik Terintegrasi untuk Prediksi Bahaya Banjir akibat Perubahan Tata Guna Lahan di DAS Ciliwung (Coupling Hydrologic and Hydraulic Model for Flood Hazard Prediction due to Land Use Change in Ciliwung River Basin)”.

Daftar Pustaka

- Ali, M., Hadi, S., & Sulistyantara, B., 2016, Study on Land Cover Change of Ciliwung Downstream Watershed with Spatial Dynamic Approach, *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 227, 52-59.
- Allen, R. J., & Degaetano, A. T., 2005, Areal Reduction Factors for Two Eastern United States Regions with High Rain-Gauge Density, *Journal of Hydrologic Engineering*, 4, 327-335.
- Badan Pusat Statistik Provinsi Jakarta, 2020, *Populasi, Provinsi Jakarta Dalam Angka*, 1st ed.; Badan Pusat Statistik Provinsi Jakarta, Eds.; Badan Pusat Statistik Provinsi Jakarta: Jakarta, Indonesia, 69.
- Badan Pusat Statistik Kabupaten Bogor, 2020, *Populasi, Kabupaten Bogor Dalam Angka*, 1st ed.; Badan Pusat Statistik Kabupaten Bogor, Eds.; Badan Pusat Statistik Kabupaten Bogor: Bogor, Indonesia, 40.
- BAPPENAS, 2007, *Hasil Penilaian Kerusakan Dan Kerugian Pascabencana Banjir Awal Februari 2007 Di Wilayah Jabodetabek (Jakarta Bogor Depok Tangerang Dan Bekasi)*, Jakarta: BAPPENAS.
- Boysen L. R., Brovkin V., Arora V. K., et al, 2014, Global and regional effects of land-use change on climate in 21st century simulations with interactive carbon cycle, *Earth Syst Dyn*, 5, 309-319.
- Brotowiryatmo, S. H., 2016, Review of Rainfall Hourly Distribution on the Island of Java, *Journal of the Civil Engineering Forum*, 2, No: 2, 33-38.
- Dinas Tata Ruang DKI Jakarta, 2011, *Ruang Terbuka Hijau*, Jakarta: Dinas Tata Ruang DKI Jakarta.
- Eko, N., Sutjiningsih, D., The Influence of Land Use Change and Spatial Discretization of Middle - Lower Ciliwung Sub-Watershed on Flood Hydrograph at Manggarai Weir: a Preliminary Study, *International Journal of Engineering & Technology*, 2018, 7, 497-506.
- Hydrologic Engineering Center, 2018, *Hydrologic Modeling System HEC-HMS*. Davis, California: US Army Corps of Engineers.
- Faisal, N., & Gaffar, A., 2012, Development of Pakistan's New Area Weighted Rainfall Using Thiessen Polygon Method, *Pakistan Journal of Meteorology*, 9, Issue: 17, 107-116.
- Firman, T., Surbakti, I. M., Idroes, I. C., & Simarmata, H. A., 2011, Potential climate-change related vulnerabilities in Jakarta: Challenges and current status, *Habitat International*, 35, No: 2, 372-378.
- Formánek, A., Silasari, Kusuma, M.S.B, & Kardhana, H., 2013, Two-Dimensional Model of Ciliwung River Flood in DKI Jakarta for Development of the Regional Flood Index Map, *J. Eng. Technol. Sci.*, 45, No: 3, 307-325.
- Guan, M., Sillanpää, N., Koivusalo, H., 2015, Modelling and assessment of hydrological changes in a developing urban catchment. *Hydrol. Process*, 29, 2880-2894.
- Leclerc, G., and Schaake, J. C., 1972, Derivation of hydrologic frequency curves, *Report 142*, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Mass., 151.
- Marfai, M. A., Sekaranom, A. B., Ward, P., 2015, Community responses and adaptation strategies toward flood hazard in Jakarta, Indonesia, *Natural Hazards*, 75, 1127-1144.
- Mitsova D., 2014, Coupling land use change modeling with climate projections to estimate seasonal variability in runoff from an urbanizing catchment near Cincinnati, Ohio. *ISPRS Int J Geo-Inf*, 3, 1256-1277.
- Mishra, B. K., Emam, A. R.; Masago, Y., 2018, Assessment of future flood inundations under climate and land use change scenarios in the Ciliwung River Basin, Jakarta. *Journal of Flood Risk Management*, 11, S1105-S1115.
- Moe, I. R., Kure, S., Januriyadi, N. F., & Farid, M., 2017, Future projection of flood inundation considering land-use changes and land subsidence in Jakarta, Indonesia, *Hydrological Research Letters*, 11, No: 2, 99-105.
- Ng, Serene., 2016, Governance beyond the government: Responding to a reactionary flood governance regime in Ayutthaya, Thailand, *Habitat International*, 52, 11-19.
- Ogden, F. L., Pradhan, N. R., Downer, C. W., Zahner, J. A., 2011, Relative importance of impervious area, drainage density, width function, and subsurface storm drainage on flood runoff from an urbanized catchment, *Water Resources Research*, 47, No: 12, W12503.

- Paola, f. D., Ranucci, A., & Feo, A., 2013, Antecedent Moisture Condition (SCS) Frequency Assessment: A Case Study In Southern Italy. *Irrig. and Drain.*, 62, Issue: S2, 61-71.
- Soulis, K. X., & Valiantzas, J. D., 2012, SCS-CN parameter determination using rainfall-runoff data in heterogeneous watersheds – the two-CN system approach, *Hydrology and Earth System Sciences*, 3, 1001-1015.
- Suriya S., Mudgal B. V., 2012, Impact of urbanization on flooding: the Thirusoolam sub watershed—a case study. *J Hydrol.* 412-413, 210–219.
- Tellman B., Saiers J. E., Cruz O. A. R., 2015, Quantifying the impacts of land use change on flooding in datapoor watersheds in El Salvador with community-based model calibration. *Reg Environ Change*, 16, 1183-1196.
- Wanny, K., et al., 2003, Pola Hujan Provinsi Jawa Barat, PUSAIR.
- Wright, D. B., Smith, J. A., & Baeck, M. L., 2014, Critical Examination of Area Reduction Factors. *Journal of Hydrologic Engineering*, 19, No: 4, 769-776.