

Analisis Numerik 1D Pengendalian Banjir pada Wilayah Padat Penduduk dengan Persamaan St. Venant

Dian Indrawati¹, Mohammad Bagus Adityawan², Muhammad Rizki Purnama³ dan Rono Hadinagoro⁴

^{1,4}Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani, Cimahi, Indonesia

^{2,3}Jurusan TPSDA, Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, Institut Teknologi Bandung, Bandung, Indonesia

¹dian.indrawati@lecture.unjani.ac.id, ²bagus.adityawan@ftsl.itb.ac.id, ³mrizkipurnama@students.itb.ac.id,

⁴ronohadinagoro@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Sebagai salah satu wilayah terpadat di Kota Bandung, Kecamatan Ujung Berung mengalami bencana banjir, yang mengakibatkan beberapa masalah di daerah tersebut. Permasalahan tersebut muncul akibat penataan lahan yang kurang baik, terutama akibat konservasi kawasan pertanian menjadi kawasan permukiman secara sporadis di daerah hulu Daerah Aliran Sungai (DAS). Salah satu daerah bencana di bagian utara bagian utara Kecamatan Ujung Berung adalah Kompleks Griya Winaya. Saluran drainase pada pemukiman ini semula merupakan saluran irigasi yang kemudian berubah fungsi tanpa justifikasi penanganan teknis yang memadai. Karena itu, kompleks yang memiliki jumlah penghuni ±800 jiwa, dengan kepadatan mencapai 300 KK/ha tersebut senantiasa menghadapi permasalahan banjir setiap kali terjadi hujan dengan intensitas lebih dari 30 mm/jam. Genangan tinggi terjadi khususnya pada RT 05 RW 12 dimana studi ini dilaksanakan. Studi ini menggunakan *software Storm Water Management Model (SWMM)* dengan persamaan 1D Saint Venant untuk perambatan banjirnya. Maka, dengan menggunakan data hujan BMKG Cibiru periode 2005-2016, diperoleh kesimpulan bahwa persamaan St. Venant mampu merepresentasikan secara akurat pergerakan banjir pada kawasan permukiman padat yang memiliki tingkat kerapatan bangunan tinggi dan saluran yang sempit serta berkelok-kelok. Lebih lanjut, banjir periode ulang 10 tahunan pada kawasan ini dapat ditanggulangi dengan peningkatan dimensi saluran eksisting hingga 100%.

Kata kunci: Model Numerik 1D, SWMM, Persamaan St. Venant, Banjir Kota Bandung

Abstract

As one of the densest populations in Bandung City, Ujung Berung District has suffered because of flood disaster, which resulted several problems in that area. These problems arose due to non-optimal land handling, especially about a sporadic land alteration from agricultural to residential areas on the upstream. One of the disastrous area is the northern Ujung Berung at Griya Winaya Resident. The drainage channel on this resident was originally an irrigation channel system which been changed without an appropriate technical justification. Therefore, the residents, with ±800 population or 300 household/ha, struggled to deal with flood problems when they get rainfalls with an intensity more than 30 mm/hour. This research conducted at RT 05 RW 12 as the worst affected area, and used Storm Water Management Model (SWMM) software to determine flood routing by 1D St. Venant equation. Using a rainfall data from Cibiru rainfall station for 2005-2016 periods, the model successfully developed flood simulation at dense area with a narrow and winding channel. Moreover, the 10 (ten) years return period of annual flood can be managed with the increasing of drainage channel until 100 percent in dimension.

Keywords: 1D Numerical Modelling, SWMM, St. Venant Equation, Bandung annual flood

1. Pendahuluan

Sebagai salah satu wilayah terpadat di Kota Bandung, Kecamatan Ujung Berung mengalami berbagai permasalahan akibat banjir yang terjadi di daerah tersebut. Perubahan tata guna lahan dari kawasan pertanian menjadi kawasan permukiman secara sporadis di daerah hulu Daerah Aliran Sungai (DAS) menjadi permasalahan utama yang hingga saat ini belum dapat dipecahkan akibat dari kebutuhan permukiman yang tinggi disamping sulitnya penegakan hukum di kawasan ini. Berdasarkan analisis citra spasial dengan verifikasi lapangan diperoleh data bahwa perubahan tata guna lahan dari Kawasan pertanian menjadi permukiman khususnya di Kota Bandung pada periode 1991-2001 mencapai 16% dimana perubahan paling ekstrim terjadi pada Koridor Jalan Soekarno-Hatta dan Jalan Ujung Berung (WP Ujung berung). Ketidaksepehaman antara *stake holders* permukiman dengan penataan ruang ditengarai menjadi awal permasalahan perkembangan kota yang tidak teratur (*urban sprawling*).

Perkembangan perkotaan yang tidak teratur ini dimulai dari perkembangan Kota Bandung dan sekitarnya yang tinggi, kemudian berdampak besarnya kebutuhan lahan permukiman yang pada akhirnya menarik pengembang untuk membangun perumahan secara massif. Permasalahan muncul ketika permukiman tersebut didesain tanpa memperhatikan kondisi drainabilitas wilayah maupun sarana dan

Info Makalah:

Dikirim : 03-26-20;

Revisi 1 : 05-07-20;

Revisi 2 : 06-16-20;

Diterima : 06-24-20.

Penulis Korespondensi:

Telp : +62-878-2419-4555

e-mail : dian.indrawati@lecture.unjani.ac.id

prasarana pengendali limpasan. Disisi lain, konsumen perumahan tidak sepenuhnya memahami alur pemanfaatan sarana dan prasarana pengendali banjir maupun genangan pada perumahan mereka. Akibatnya, permukiman padat dengan sistem drainase yang kurang memadai yang menjadi langganan banjir menjadi permasalahan umum di wilayah Kota Bandung.

Salah satu contoh permukiman yang bermasalah dengan banjir dan genangan adalah Kompleks Griya Winaya di Ujung Berung, Kota Bandung. Kompleks Griya Winaya merupakan salah satu kawasan padat di Kecamatan Ujung Berung, Kota Bandung dengan jumlah penghuni ± 400 orang. Selain itu, perumahan ini juga terletak ditengah-tengah kawasan berkembang sehingga setiap tahun terjadi penambahan jumlah perumahan baru.

Berdasarkan identifikasi awal yang dilakukan Tim Pengabdian Masyarakat Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Achmad Yani-Cimahi, sarana dan prasarana pengendali banjir dan genangan di wilayah ini kurang memadai untuk mengendalikan besarnya limpasan yang ada. Hal tersebut ditambah dengan pengalihfungsian saluran irigasi menjadi saluran drainase secara sporadis oleh pengembang (kawasan ini pada awalnya merupakan lahan persawahan). Ketika pengalihfungsian manfaat tersebut tidak disertai dengan pemahaman maupun penerapan kaidah-kaidah teknis sehingga bukan hanya saluran yang ada tidak berjalan sebagaimana mestinya, bahkan saluran drainase pada akhirnya menjadi saluran pengumpul air yang menyebabkan genangan yang terjadi semakin tinggi.

Titik lokus dari penanggulangan genangan adalah RT 05 RW 12 Kelurahan Pasir Wangi, Kecamatan Ujung Berung, Kota Bandung yang secara jelas dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. (a) Peta Kecamatan Ujung Berung (b) Lokasi Lokus Studi

Kelurahan Pasir Wangi sebagaimana terlihat dalam Gambar 1(a) diatas, merupakan bagian paling utara wilayah Kota Bandung yang berbatasan dengan Kelurahan Pasir Jati dan Kecamatan Ciburu di sebelah timur, Kelurahan Cigending pada bagian selatan, dan Kabupaten Bandung pada bagian utara. Wilayah RT 05 RW 12 sendiri merupakan wilayah yang sangat padat dan dapat dilihat pada Gambar 1 (b).

Pengendalian genangan dalam khazanah Teknik Sipil mempunyai konsep yang berbeda dengan pengendalian banjir. Hal ini dikarenakan sumber permasalahan dari banjir dan genangan berbeda. Banjir merupakan genangan di wilayah daratan yang disebabkan meluapnya muka air sungai di dekatnya, sementara genangan pada lahan seperti pada lahan pertanian, permukiman, pusat kota terjadi karena debit/volume air yang mengalir pada suatu sungai atau saluran drainase melebihi/diatas kapasitas pengalirannya.

Yang terjadi pada lokus studi ini adalah gabungan antara banjir dari luapan air sungai pada bagian hilir permukiman dengan genangan lokal yang terjadi pada kawasan permukiman akibat dari besarnya debit yang diterima dari hulu dan kurang optimalnya sistem drainase yang ada.

Luapan air biasanya tidak menjadi persoalan bila tidak menimbulkan kerugian, korban meninggal atau luka-luka, tidak merendam permukiman dalam waktu lama, tidak menimbulkan persoalan lain bagi kehidupan sehari-hari (Rosyidie, 2013). Permasalahannya adalah, di kawasan padat penduduk seperti Kompleks Griya Winaya genangan telah menyebabkan beberapa rumah tidak berfungsi hingga ditinggalkan penghuninya. Belum lagi kerugian non-material yang harus dihadapi. Berdasarkan wawancara awal dengan masyarakat di sekitar lokasi RT 05 RW 12, setiap hujan dengan intensitas lebih dari 100 mm, maka akan menimbulkan genangan setinggi 50 cm.

Pemanfaatan lahan yang melebihi kemampuan tanah setidaknya akan meimbulkan perubahan-perubahan dalam ekosistem, sehingga terjadi penurunan daya dukung lingkungan (Sulfandi, 2015). Hal tersebut juga ditengarai terjadi pada Kawasan ini. Dengan jumlah penghuni ± 800 KK, maka komplek ini memiliki persentase lahan terbangun lebih dari 90%.

Pemodelan banjir pada sebuah sistem Daerah Aliran Sungai (DAS) dengan menggunakan perangkat lunak *Storm Water Management Model* (SWMM) telah dilakukan di banyak lokasi dengan hasil yang memiliki akurasi yang tinggi (Barco, Wong, & Stenstrom, 2008). Pemodelan 1D SWMM dengan persamaan St. Venant ini juga dipilih karena

memiliki sifat *user friendly*, serta dapat memberikan informasi terkait rasio dimensi ketersediaan dan kebutuhan dalam pengendalian banjir suatu wilayah yang memudahkan para pemangku kebijakan untuk menentukan langkah penanganan yang diperlukan. selanjutnya, pemilihan jenis bangunan drainase yang tepat akan menghasilkan desain yang secara signifikan dapat mengurangi debit banjir dan menyelesaikan permasalahan secara efektif dan efisien (Indrawati, 2014).

2. Rancangan Sistem

2.1. Pemodelan Hidrologi

Banjir merupakan salah satu kejadian ekstrim dalam analisis hidrologi. Kejadian ekstrim tersebut selanjutnya membutuhkan perancangan bangunan air yang optimal karena tidak hanya harus berhasil melewati debit banjir maksimum yang mungkin terjadi, namun juga harus disandarkan pada pertimbangan ekonomis. Dalam rangka mendapatkan hubungan antara magnitudo kejadian ekstrim dengan probabilitas kejadian, digunakan Persamaan (1).

$$P(x) = \frac{1}{T} \quad (1)$$

Data yang digunakan dalam analisis frekuensi ini merupakan hujan harian maksimal tahunan menerus yang disyaratkan dengan panjang data minimal 10 tahun. Secara umum, analisis frekuensi seri data hujan harian maksimum dituliskan dalam persamaan (2).

$$x_T = \bar{x} + ks \quad (2)$$

Dalam penelitian ini, pengujian dari analisis frekuensi akan dilakukan dengan menggunakan metode Chi-Square dan metode Kolmogorov-Smirnov. Metode Chi-Square menganggap bahwa data dari variabel acak tahunan terpercaya akan mengikuti kurva distribusi Chi-Square dengan derajat kebebasan $k-p-1$. Uji kecocokannya menggunakan Persamaan (3). Hal yang harus digarisbawahi, metode ini akan menghasilkan nilai yang makin baik sejalan dengan panjangnya data yang dimiliki.

$$X_{i=1}^k \frac{(O_i - E_i)^2}{E_i} \quad (3)$$

Metode kedua untuk mendapatkan nilai kecocokan dalam uji distribusi adalah Kolmogorov-Smirnov. Distribusi ini diharapkan mampu menghindarkan hilangnya keunikan data akibat pengelompokan kelas pada distribusi Chi-Square. Secara umum distribusi ini ditunjukkan pada Persamaan (4)

$$D_n = \max |P(x) - P_o(x)| \quad (4)$$

Distribusi akan dikatakan cocok apabila nilai D_n kurang dari D kritis pada derajat kepercayaan yang disyaratkan. Jika Δ kurang dari Δ kritis sesuai harga kritis dari uji Kolmogorov-Smirnov, maka distribusi dapat diterima.

2.2. Pemodelan Hidraulika

Persamaan pembangkit untuk aliran tidak tetap pada saluran terbuka dalam perangkat lunak SWMM diturunkan dari persamaan konservasi masa dan momentum yang dikenal sebagai persamaan St. Venant (Rossman, 2017) yang ditunjukkan pada Persamaan (5) - (6).

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \quad (6)$$

Penurunan Persamaan (5) - (6), didasarkan pada asumsi: (1) aliran berupa aliran 1 dimensi (2) tekanan yang bekerja adalah tekanan hidrostatis (3) nilai cosinus pada dasar saluran mendekati tak berhingga, dan (4) kekasaran dasar saluran diperlakukan sama dengan aliran tetap.

Nilai kemiringan energi S_f dapat diturunkan menggunakan rumusan Manning untuk aliran tetap yang ditunjukkan pada Persamaan (7).

$$S_f = n \frac{Q|U|}{AR^{4/3}} \quad (7)$$

Karena nilai Q dapat bernilai negatif atau positif, maka nilai kecepatan mutlak akan menunjukkan arah dari aliran dan memastikan gaya gesek senantiasa berlawanan dengan arah aliran. Untuk nilai koefisien kekasaran Manning pada studi kali ini diambil 0,2 berdasarkan nilai koefisien Manning untuk pasangan batu menurut SWMM diantara 0,04-0,4 bergantung terhadap kecuraman dan kondisi saluran.

Persamaan kontinuitas dan momentum pada Persamaan (7) kemudian diformulasikan untuk mendapatkan rumusan persamaan momentum untuk conduit, sebagai berikut:

Nilai $\partial(Q^2 / A) / \partial x$ dalam Persamaan (6) dapat dituliskan ke dalam Persamaan (8).

$$\frac{\partial(Q^2 / A)}{\partial x} = \frac{\partial(U^2 A)}{\partial x} = 2AU \frac{\partial U}{\partial x} + U^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (8)$$

Dengan menggunakan $Q=UA$, Persamaan (5) dapat dituliskan sebagai Persamaan (9).

$$\frac{\partial A}{\partial t} + A \frac{\partial U}{\partial x} + U \frac{\partial A}{\partial x} = 0 \quad (9)$$

Apabila persamaan (9) dikalikan dengan U pada kedua sisinya, maka dapat dituliskan menjadi Persamaan (10).

$$AU \frac{\partial A}{\partial x} = -U \frac{\partial A}{\partial t} - U^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (10)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (10) kedalam sisi kanan Persamaan (8) akan menghasilkan Persamaan (11)

$$\frac{\partial(Q^2 / A)}{\partial x} = -2U \frac{\partial A}{\partial t} - U^2 \frac{\partial A}{\partial x} \quad (11)$$

Dengan mensubstitusikan Persamaan (11) kedalam Persamaan (6), maka akan didapatkan hasil akhir yang dituliskan sebagai Persamaan (12).

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = 2U \frac{\partial A}{\partial t} + U^2 \frac{\partial A}{\partial x} - gA \frac{\partial H}{\partial x} - gAS_f \quad (12)$$

Pada penggunaan persamaan St. Venant tersebut, untuk mereduksi osilasi yang terjadi pada diskritisasi numerik, digunakan persamaan Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) yang ditunjukkan pada Persamaan (13).

$$\Delta t \leq \frac{L}{|U + c|} \quad (13)$$

Dimana c merupakan kecepatan gelombang seperti yang ditunjukkan pada Persamaan (14).

$$c = \sqrt{gA/W} \quad (14)$$

Sehingga formulasi ekuivalen dari kondisi tersebut dapat dituliskan pada Persamaan (15).

$$\Delta t \leq \frac{L}{|U|} \left(\frac{Fr}{1 + Fr} \right) Cr \quad (15)$$

Dimana Fr merupakan angka Froude aliran dan Cr adalah angka Courant. Pada pemodelan selanjutnya dibutuhkan justifikasi parameter diatas untuk menentukan bagaimana model konservatif ($Cr < 1$) atau non-konservatif ($Cr > 1$) harus dapat diterapkan dalam kondisi CFL ($Cr = 1$).

Dalam pemodelan menggunakan SWMM, terdapat hal-hal yang harus diperhatikan dan dilakukan pengecekan model secara berkala dengan menggunakan kriteria sbb:

- 1) Aliran harus bernilai positif
- 2) Conduit tidak dalam kondisi penuh
- 3) Conduit tidak mengalami kondisi kritis (misalnya kering pada bagian hulu atau hilir)

- 4) Kemiringan permukaan air kurang dari kemiringan conduit atau nilai Froude pada bagian hulu lebih dari 1.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan identifikais pos curah hujan terdekat, diperoleh data hujan dari stasiun BMKG 32732501a Cibiru yang terletak pada koordinat 6,92421° LS dan 107,71267° BT dengan data menerus dari tahun 2005-2016 (Tabel 1). Terlihat bahwa hujan terbesar terjadi pada tahun 2009 khususnya pada bulan Maret sebesar 139 mm/hari. Sementara itu nilai rata-rata hujan maksimal tahunan selalu berada diatas 50 mm yang terjadi pada bulan Desember sampai Maret tiap tahunnya.

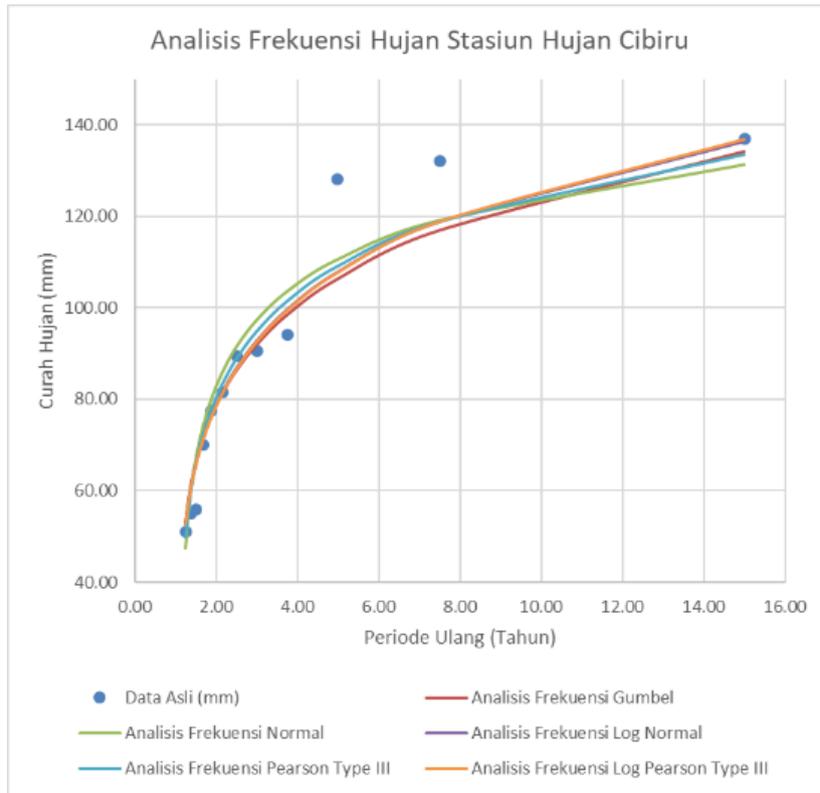
Tabel 1 Data Stasiun Hujan BMKG Cibiru

Tahun	Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul	Ags	Sept	Okt	Nop	Des	Maks
2005	51	81,5	90,5	41,5	0	21,5	32	25	12	50,5	23,5	46,5	90,5
2006	38,5	46	24,5	51	27	0	17	0	0	0	0	0	51
2007	57,5	57,5	0	46	35,5	20,5	18	0	0	41,5	44	81,5	81,5
2008	50	35	54	53	24	17	2	29,5	31	89,5	62	84	89,5
2009	30	81	137	70	51	71	6,5	0	8	32	33	61	137
2010	70	61	66	48	41	59	50	24,5	94	42	77	51	94
2011	11	12	38	56	35	23	23,5	0	10,5	28	42	50	56
2012	55	38	46	53	33	41	0	2,5	38	28	48	52	55
2013	48	55	58	52	42	31	25	19	9,5	38	30	70	70
2014	132	16,5	108,5	61	5,5	50	47,5	6	17,5	14	36	74,5	132
2015	24	61	59,5	54,5	77,5	0	0	0	2,5	25	40	55	77,5
2016	60	95	74	81	33	128	75	15	46	70	72	41,5	128

Guna mendapatkan nilai hujan rancangan, tahap selanjutnya adalah melakukan analisis frekuensi dengan sebaran Normal, Log Normal, Gumbel, Pearson Tipe III, Log Pearson Tipe III. Sebaran-sebaran tersebut dipilih karena merupakan sebaran yang umum terjadi di wilayah Indonesia. Hasil dari analisis ini menunjukkan sebaran untuk distribusi normal secara umum memiliki nilai tertinggi dibanding dengan empat metode lainnya hingga periode ulang 7,5 tahun. Namun pada periode ulang 15 tahun, distribusi Log Pearson III memiliki nilai tertinggi, sementara distribusi normal menjadi yang terendah. Secara lengkap hasil dari perhitungan ditunjukkan pada Tabel 2 dan dalam bentuk grafik pada Gambar 2.

Tabel 2. Hasil Analisis Frekuensi

T (tahun)	Data Asli (mm)	Analisis Frekuensi				
		Gumbel	Normal	Log Normal	Pearson Type III	Log Pearson Type III
15,00	137,00	134,17	131,37	136,46	133,57	136,80
7,50	132,00	116,92	119,16	118,82	118,90	118,83
5,00	128,00	106,34	110,62	107,87	109,19	107,74
3,75	94,00	98,42	103,59	99,60	101,51	99,42
3,00	90,50	91,91	97,30	92,75	94,89	92,55
2,50	89,50	86,21	91,40	86,74	88,87	86,54
2,14	81,50	81,00	85,61	81,24	83,16	81,04
1,88	77,50	76,03	79,73	76,00	77,56	75,83
1,67	70,00	71,11	73,52	70,84	71,84	70,71
1,50	56,00	65,99	66,65	65,53	65,75	65,46
1,36	55,00	60,27	58,48	59,73	58,82	59,73
1,25	51,00	52,88	47,33	52,64	49,92	52,75



Gambar 2 Analisis Frekuensi Hujan St. Cibiru

Selanjutnya, masing-masing sebaran tersebut kemudian diuji kemencengannya dengan menggunakan rumusan Kolmogorov-Smirnov dan Chi-Square, Sifat Khas dan *error* untuk menentukan pola distribusi yang dipilih, diperoleh hasil bahwa distribusi Log Pearson Tipe III lolos ketiga uji tersebut dengan nilai *error* 3. Secara lengkap hasilnya ditunjukkan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Uji *Error* Pola Distribusi

Metode	Kolmogorov-Smirnov	Chi-Square	Sifat Khas	Error*
Gumbel	DITOLAK	DITERIMA	DITOLAK	5
Normal	DITERIMA	DITERIMA	DITOLAK	4
Log Normal	DITERIMA	DITERIMA	DITOLAK	2
Pearson Tipe III	DITERIMA	DITERIMA	DITOLAK	1
Log Pearson Tipe III	DITERIMA	DITERIMA	DITERIMA	3

Berdasarkan uji pola distribusi tersebut, didapatkan untuk curah hujan pola distribusi Log Pearson tipe III dengan masing-masing periode ulang 83,74 mm; 111,73 mm; 130,10 mm; 153,18 mm; 170,32 mm; 187,43 mm; 204,66 mm dan 245,58 mm untuk masing-masing periode ulang 2, 5 10, 25, 50, 100, 200 dan 1000 tahun.

Dengan asumsi hujan merata terjadi selama 4 jam, maka untuk nilai periode ulang 10 tahun (yang umum digunakan sebagai R_{desain} drainase perkotaan), didapat intensitasnya adalah 32,52 mm/jam. Dimana berdasarkan intensitas hujan yang dikeluarkan oleh BMKG termasuk kedalam hujan sangat lebat karena bernilai lebih dari 20 mm (Tabel 4).

Tabel 4. Intensitas Curah Hujan

Jenis Hujan	Intensitas Hujan (mm)	
	1 jam	24 jam
Hujan sangat ringan	< 1	< 5
Hujan ringan	1-5	5-20
Hujan normal/sedang	5-10	20-50
Hujan lebat	10-20	50-100
Hujan sangat lebat	> 20	> 100

Sumber: BMKG

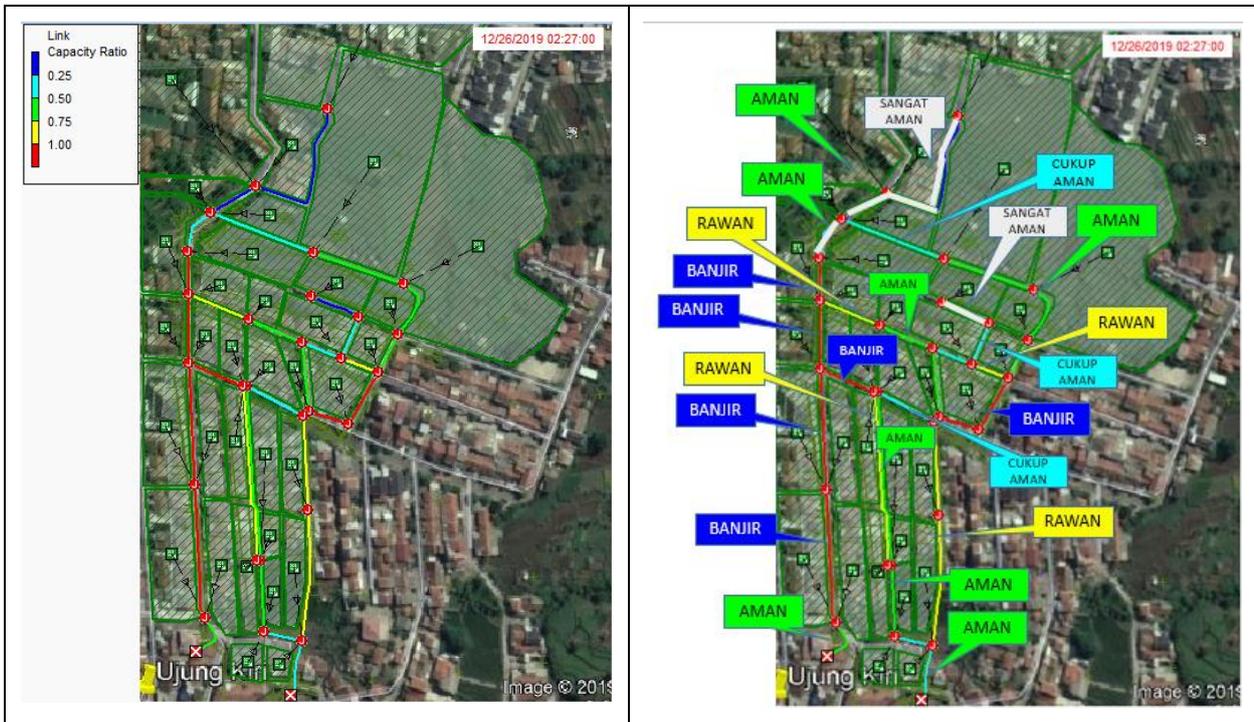
Guna mendapatkan perilaku hidraulik, maka pemodelan saluran digunakan SWMM dengan beberapa asumsi sebagai berikut:

- Koefisien kekasaran manning saluran pasangan batu = 0,2 (Nilai koefisien manning untuk pasangan batu menurut SWMM diantara 0,04-0,4 bergantung terhadap kecuraman dan kondisi saluran). Hasil survei menunjukkan bahwa saluran tergolong curam dengan asumsi kondisi saluran buruk.
- Nilai *Impervious Area* pada masing-masing *sub catchment* 90%
- Nilai *SCS Curve Number* untuk Metode Infiltrasi untuk masing-masing *sub catchment* 90

dimana:

- 1) *Node Water Depth* adalah titik tinjauan ketinggian muka air
- 2) *Link Capacity Ratio* adalah perbandingan antara Volume Air akibat *Inflow* dari Curah Hujan dibagi dengan Volume Tampung atau $\frac{Vol.Inflow\ dari\ Hujan}{Vol.Tampung}$
- 3) *Subbasin Rainfall Rate* adalah curah hujan yang turun kedalam area

Dalam pemodelan ini, node dengan penanda lingkaran berwarna merah merupakan node terjadinya banjir, sedangkan untuk saluran berwarna merah merupakan saluran yang banjir (terlampaui kapasitasnya). Sementara itu node dan saluran warna kuning menunjukkan bahwa kondisi bangunan dan saluran dalam kondisi rawan meluap. Node dan saluran berwarna hijau menunjukkan kapasitas saluran maupun pertemuan saluran memiliki kapasitas mencukupi untuk menampung beban drainase, sementara warna putih menunjukkan bahwa kapasitas bangunan maupun saluran sangat aman (Gambar 3). Simulasi hujan dilakukan selama 4 jam secara merata, dari jam ke-0, kemudian terjadi hujan pada jam ke-1 hingga ke-4 untuk melihat kapasitas bangunan dan saluran yang ada.



Gambar 3. Pemodelan Hidraulik Kondisi Eksisting

Berdasarkan pemodelan tersebut, dapat disimpulkan bahwa dalam kondisi eksisting, banjir terjadi hampir merata pada seluruh ruas saluran drainase, dengan peta rawan banjir spasial dari daerah studi secara detail seperti terlihat pada Gambar 3, dan dapat dikelompokkan menjadi 8 (delapan) ruas banjir yang kemudian diberi nama ST.1 sampai dengan ST.8 seperti pada Gambar 4.



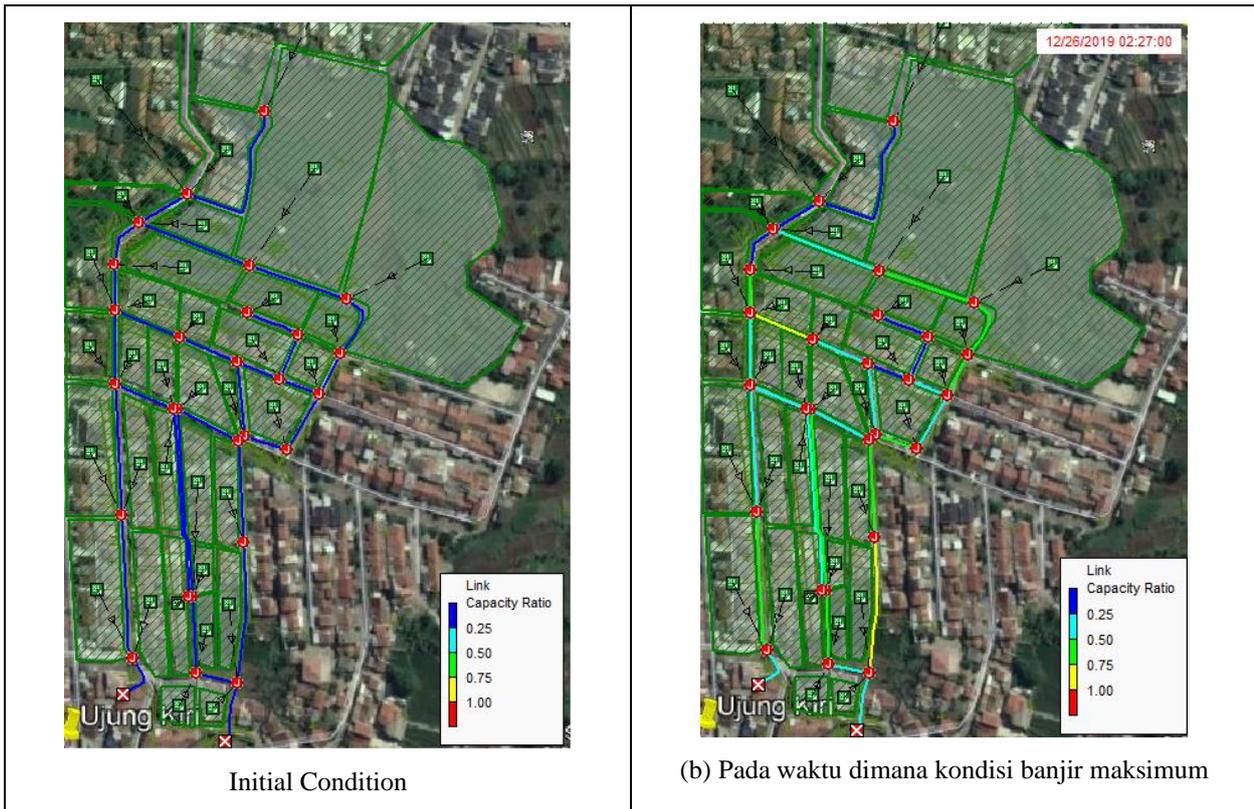
Gambar 4 Pembagian Ruas Banjir

Tahapan selanjutnya adalah melakukan rekayasa dengan memperdalam serta memperlebar dimensi saluran pada bagian yang terjadi banjir yang disesuaikan dengan ketersediaan material saluran drainase beton *precast*, dengan kondisi yang ditunjukkan pada Tabel 6.

Tabel 4 Data Desain Rehabilitasi Saluran Drainase Kompleks Griya Winaya

Ruas	Panjang Saluran (m)	Dimensi Drainase Eksisting		Pelebaran Saluran Rencana	Kedalaman Air Maksimum di saluran (m)	Freeboard Dimensi Rencana (m)	Dalam saluran minimum (m)	Dimensi Rencana	
		Kedalaman (m)	Lebar (m)	Lebar (m)				Kedalaman (m)	Lebar (m)
ST.1	36,18	0,65	0,65	0,90	0,41	0,30	0,71	1,00	0,80
ST.2	30,32	0,47	0,25	0,70	0,27	0,30	0,57	0,80	0,60
ST.3	30,73	0,85	0,9	1,20	0,47	0,30	0,77	1,00	1,00
ST.4	21,85	0,64	0,64	0,90	0,64	0,30	0,94	1,00	1,00
ST.5	91,91	0,50	0,50	0,60	0,45	0,30	0,75	0,80	0,60
ST.6	63,15	0,47	0,45	0,70	0,35	0,30	0,65	1,00	0,80
ST.7	69,68	0,47	0,40	0,70	0,60	0,30	0,90	1,00	0,80
ST.8	24,13	0,52	0,40	0,70	0,37	0,30	0,67	1,00	0,80

Setelah dilakukan normalisasi saluran drainase, pemodelan kemudian disimulasikan kembali dari jam ke-0, lalu ada hujan pada jam ke-1 hingga ke-2, diakhiri pada jam ke-4. Dapat dilihat pula bahwa sistem drainase tidak mengalami kondisi banjir pada seluruh ruas saluran seperti terlihat dari Gambar 5.



Gambar 5. Kondisi setelah Rekayasa

Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan hujan maksimum pada kawasan Cibiru terjadi pada bulan Maret 2009, dengan pola distribusi hujan Log Pearson tipe III. Berdasarkan hasil pemodelan yang dilakukan, maka kondisi saluran drainase eksisting mengalami luapan pada ST 1, 3, 4, 5, 6, 7 dan 8, dengan rasio kapasitas saluran lebih dari 1. Kemudian, setelah dilakukan rasionalisasi dimensi hingga 100%, wilayah tersebut tidak mengalami banjir.

Namun, pemodelan SWMM tersebut belum mempertimbangkan aspek kecepatan aliran yang mungkin dapat mempengaruhi hidrodinamika aliran dan mengakibatkan kerusakan pada infrastruktur saluran tersebut. Hal lain, karena penanganan genangan ini bersifat spasial, maka daerah tangkapan lain belum diakomodasi. Sehingga, apabila pada bagian hulu Kompleks Griya Winaya melakukan rekayasa drainase, ada kemungkinan lokasi ini akan terimbas genangan lagi.

Ucapan Terima Kasih

Penelitian ini dibiayai dengan anggaran Pengmas Internal Unjani Tahun 2019 Lembaga Penelitian dan Pengabdian pada Masyarakat, Universitas Jenderal Achmad Yani-Cimahi.

Daftar Notasi

Analisis Hidrologi :

- P(x) = probabilitas terjadinya kejadian yang sama besar atau terlampaui dari x
- T = periode ulang rencana (tahun)
- x_T = tinggi curah hujan rencana dengan periode ulang T tahun (mm)
- \bar{x} = rata-rata tinggi hujan dari seri data yang ada (mm)
- k = koefisien yang bergantung dari jenis distribusi seri data
- s = standar deviasi tinggi curah hujan dari seri data yang ada
- X = parameter *chi square* terhitung
- K = jumlah sub kelompok
- O_i = jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke-i
- E_i = jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke-i
- D_n = jarak vertical maksimum antara pengamatan dan teoritisnya
- Po(x) = probabilitas dari teoritisnya

Analisis Hidraulika:

- x = jarak (m)
t = waktu (detik)
A = luas penampang melintang (m^2)
Q = debit (m^3/det)
H = tinggi hidraulik air pada conduit ($Z+Y$) (m)
Z = elevasi inlet conduit (m)
Y = kedalaman air pada conduit (m)barco
Sf = kemiringan garis energi (kehilangan energi per unit Panjang)
g = percepatan gravitasi (m/det^2)
n = koefisien kekasaran Manning ($det/m^{1/3}$)
R = jari-jari hidraulik potongan melintang (m)
U = kecepatan aliran, sama dengan Q/A (m/det)

Daftar Pustaka

- Barco, J., Wong, K. M., & Stenstrom, a. M. (2008, April). Automatic Calibration of the U.S EPA SWMM Model for a Large Urban Catchment. *Journal of Hydraulics Engineering*, 134(4), 466-474. Diunduh 10 Maret 2020, dari [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2008\)134:4\(466\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2008)134:4(466))
- Indrawati, D. (2014). Analisis Pemilihan Bangunan Drainase Pengendali Banjir pada Sebuah DAS. *Ultimate*, 40-47.
- Rossmann, L. A. (2017). *Storm Water Management Model Reference Manual Volume II - Hydraulics*. Cincinnati: United States Environmental Protection Agency. Diunduh 10 Maret 2020 dari <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi/P100P2NY.PDF?Dockkey=P100P2NY.PDF>
- Rosyidie, A. (2013). Banjir: Fakta dan Dampaknya, serta Pengaruh dari Perubahan Guna Lahan. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 241-249.
- Sulfandi. (2016). Studi Pengaruh Perubahan Tataguna Lahan di DAS Mamasa terhadap Usia Guna Waduk PLTA Bakaru. *Teknik Pengairan UB*, 7(1), 139-149. Diunduh 10 Maret 2020, dari <https://jurnalpengairan.ub.ac.id/index.php/jtp/article/download/288/260>