

PEMODELAN GENANGAN BANJIR DENGAN METODE *RAINFALL RUNOFF* DI DAERAH ALIRAN SUNGAI CITARUM HULU

Irwan Darmawan

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sangga Buana YPKP Bandung, Jl. PHH Mustofa No. 68
Bandung, Jawa Barat, 40124, Indonesia.

E-mail : iwaidarmawan@gmail.com

Abstrak

Banjir merupakan salah satu fenomena hidrometeorologis yang sering terjadi di sebagian wilayah Indonesia pada musim hujan. DAS Citarum Hulu, yang terletak di Jawa Barat, Indonesia, bergulat dengan dampak banjir yang terus-menerus dan dahsyat. Permasalahan banjir yang cukup kompleks pada wilayah Citarum Hulu merupakan tantangan tersendiri pada wilayah tersebut. Adanya perubahan tataguna lahan di kawasan hulu akibat peningkatan jumlah penduduk dan meningkatnya perekonomian dan pemukiman menyebabkan meningkatnya *run off* yang menyebabkan debit banjir semakin meningkat dari tahun ke tahun. Penelitian ini menggunakan pemodelan numerik sangat perlu untuk dilakukan pada wilayah Citarum Hulu dengan tujuan untuk mendapatkan gambaran hidrologi dan hidraulika, output berupa peta sebaran genangan banjir, dan memberikan masukan terhadap sistem peringatan dini banjir dengan menggunakan metode penelitian deskriptif dan studi literatur. Hasil analisis yang dilakukan diperoleh hujan kala ulang pada DAS Citarum Hulu menggunakan hujan kala ulang distribusi Gumbel dengan hujan rencana kala ulang 25 tahun yaitu 104,14 mm, 50 tahun yaitu 109,68 mm, dan 100 tahun yaitu 115,17 mm. Penyumbang debit terbesar pada Sungai Citarum adalah Sub DAS Cisangkuy dengan besaran debit kala ulang 25 tahun sebesar 699,90 m³/detik, 50 tahun sebesar 777,90 m³/detik, dan 100 tahun sebesar 857,20 m³/detik. Daerah yang rentan terdampak banjir pada DAS Citarum Hulu adalah wilayah Kab. Bandung dan Kota Bandung. Sistem peringatan dini banjir, waktu tempuh aliran air dari PDA Citarum-Majalaya ke PDA Citarum-Rancamanyar adalah 6 jam 55 menit.

Kata Kunci: Genangan Banjir, Daerah Aliran Sungai, Metode *Run Off*.

1. Pendahuluan

1.1 Latar Belakang Penelitian

Banjir merupakan salah satu fenomena hidrometeorologis yang sering terjadi di sebagian wilayah Indonesia pada musim hujan. Banjir di Indonesia yang terjadi setiap tahunnya dan menimbulkan kerusakan serta kerugian yang tidak sedikit (Diah Listyarini dkk, 2018). Secara umum, fenomena banjir dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti curah hujan yang tinggi, luapan sungai, tanggul yang jebol, serta pengelolaan lingkungan yang kurang baik. Indonesia, dengan iklim tropisnya, sering kali menghadapi masalah banjir terutama saat musim hujan. Beberapa daerah seperti Jakarta,

Semarang, Bandung, dan Makassar kerap mengalami banjir musiman yang bisa melumpuhkan aktivitas masyarakat. Adapun penyebab-penyebab banjir pada skala nasional tersebut diakibatkan curah hujan yang tinggi, perubahan tata guna lahan dengan penggundulan hutan menjadi ladang atau pemukiman dan sistem drainase yang tidak memadai. Di samping itu juga faktor sosial berperang penting pada banjir di Indonesia karena kebiasaan masyarakat Indonesia dalam membuang sampah di sungai.

Secara global, banjir juga merupakan bencana yang lumrah dan berdampak signifikan dalam skala Internasional. Negara-negara seperti Bangladesh, India, dan Tiongkok sering menghadapi banjir besar yang

menyapu area luas dan mengakibatkan kerugian besar. Faktor-faktor penyebab banjir pada tingkat Internasional adalah isu perubahan iklim, urbanisasi yang sangat masif, dan kenaikan permukaan air laut.

Banjir terjadi setiap tahun di DAS Citarum khususnya wilayah Citarum Hulu. Adanya perubahan tataguna lahan di kawasan hulu akibat peningkatan jumlah penduduk dan meningkatnya perekonomian dan pemukiman menyebabkan meningkatnya *run off* yang menyebabkan debit banjir semakin meningkat dari tahun ke tahun. Di samping itu, adanya perubahan iklim yang ditandai dengan peningkatan intensitas curah hujan serta pengaruh meningkatnya limpasan air hujan yang menyebabkan sungai tidak dapat menampung air limpasan hujan sehingga terjadi luapan banjir khususnya di wilayah hulu pada DAS Citarum. Hal ini diperburuk juga oleh dampak dari *land subsidence* yang terjadi di beberapa lokasi seperti Cekungan Bandung (Kota Bandung, Kota Cimahi, Kabupaten Bandung dan Kab Bandung Barat). Sungai-sungai yang masih terjadi banjir setiap tahun adalah Sungai Citarum serta anak-anaknya seperti Sungai Cisaranten, Cikeruh, Citarik, Cipamokolan, Cicadas, Cidurian, Cikapundung Kolot, Cikapundung Kota, Citepus, Cijalupang, Cisangkuy, dan Cibereum. Di tambah lagi belum adanya sebuah sistem peringatan dini banjir pada DAS Citarum khususnya DAS Citarum Bagian Hulu untuk dapat mengurangi korban jiwa dan kerugian materil.

Meskipun banyak literatur memuat penelitian yang menggunakan model hidrodinamik 2D untuk simulasi banjir di Citarum Hulu, integrasi eksplisit model-model ini ke dalam EWS yang beroperasi penuh masih kurang terdokumentasi (Fernandos, 2020). Penelitian yang menyediakan peta risiko banjir yang berharga berdasarkan simulasi HEC-RAS (Fernandos, 2020) tidak secara eksplisit merinci integrasi hasil-hasil ini ke dalam sistem peringatan waktu nyata. Kesenjangan ini menyoroti area penting untuk

penelitian masa depan (Cheong, 2024). Untuk menilai dampak integrasi model 2D ke dalam sistem peringatan dini secara efektif, diperlukan penelitian khusus yang memeriksa seluruh rantai peringatan, dari akuisisi data dan pemrosesan model hingga penyebaran peringatan dan respons masyarakat. Studi semacam itu harus mengevaluasi efektivitas sistem terpadu dalam memberikan peringatan tepat waktu, mengurangi kerusakan akibat banjir, dan meningkatkan ketahanan masyarakat (Cheong, 2024). Evaluasi harus mencakup metrik kuantitatif, seperti akurasi prediksi, waktu tunggu, dan efektivitas mekanisme respons masyarakat (Cheong, 2024). Analisis juga harus mempertimbangkan dampak sosial-ekonomi sistem peringatan dini, termasuk rasio biaya-manfaat dan kontribusi keseluruhan terhadap kesejahteraan masyarakat (Cheong, 2024).

Penelitian ini menggunakan pemodelan numerik sangat perlu untuk dilakukan pada wilayah Citarum Hulu. Hal ini bertujuan untuk memetakan daerah-daerah yang sangat rentan terhadap banjir akibat luapan dari Sungai Citarum bagian hulu, serta menyusun upaya mitigasi bencana banjir dengan sistem peringatan dini pada Daerah Citarum Hulu.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah yang harus dijawab dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana gambaran sebaran genangan banjir DAS Citarum Hulu pada kondisi eksisting dengan pendekatan model numerik?
2. Bagaimana mengimplementasikan model numerik banjir DAS Citarum Hulu pada sistem peringatan dini banjir?
3. Bagaimana peta sebaran genangan banjir pada DAS Citarum Hulu?

1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian

Maksud dan tujuan penelitian ini adalah:

1. Mendapatkan gambaran hidrologi dan hidraulika DAS Citarum Hulu pada kondisi eksisting.
2. Memberikan masukan terhadap sistem peringatan dini banjir untuk dapat

mengurangi jumlah korban jiwa dan kerugian.

3. Memberikan output berupa peta sebaran genangan banjir pada DAS Citarum Hulu untuk melihat daerah terdampak banjir pada hasil model numerik.

1.4 Kegunaan Penelitian

Kegunaan penelitian ini adalah:

1. Membantu untuk mitigasi bencana banjir.
2. Pengelolaan Sumber Daya Air
3. Pemantauan kondisi hidrologi DAS Citarum Hulu

2. Kajian Pustaka

Pada penelitian ini, diperlukan dasar-dasar teori yang dapat digunakan untuk mendukung penelitian yang akan dilakukan, termasuk pula materi-materi yang diperlukan untuk melakukan penelitian ini. Landasan teori tersebut dikumpulkan dari beberapa buku dan sumber-sumber lain yang masih relevan dengan tujuan penelitian.

2.1 Penelitian Terdahulu

Berikut ini adalah beberapa penelitian yang telah dilakukan pada DAS Citarum Bagian Hulu yang berkaitan dengan topik pada penelitian ini yaitu berikut:

1. Wisang Adhitya Yogo Purnama, 2012, yang berjudul "Efektifitas Upaya Pengendalian Banjir DAS Citarum Bagian Hulu melalui Pengendalian Pemanfaatan Lahan dan Normalisasi Alur Sungai" menyimpulkan bahwa kapasitas sungai eksisting di DAS Citarum Bagian Hulu sudah tidak mampu menampung debit limpasan kala ulang 50 tahun, diperlukannya normalisasi sungai dengan debit kala ulang 50 tahun, dan dengan adanya pengendalian pemanfaatan lahan dapat mengurangi nilai debit limpasan akibat hujan.
2. Sisi Febriyanti Muin, dkk., 2015, berjudul "Pemodelan Banjir dan Analisis Kerugian Akibat Bencana Banjir di DAS Citarum Hulu" menyimpulkan bahwa hasil simulasi menunjukkan luas area dan durasi banjir akan meningkat dengan bertambahnya periode

ulang. Besarnya kerugian di sektor pemukiman lebih tinggi dibandingkan dengan pertanian. Total kerugian permukiman dan pertanian untuk banjir 25 tahunan masing-masing sebesar Rp 720 dan Rp 68 miliar. Kerusakan bangunan rumah menjadi penyumbang tertinggi (yaitu 61%) dari total kerugian sektor permukiman. Artinya banjir secara signifikan akan menyebabkan kerusakan bangunan dibandingkan kerusakan pada isi rumah.

2.2 Proses Terjadinya Banjir

Menurut Wisang Adhitya Yogo Purnama (2012), masalah banjir pada umumnya terjadi akibat adanya interaksi berbagai faktor penyebab, baik yang bersifat alamiah maupun berbagai faktor lain akibat/pengaruh/dampak kegiatan manusia. Seberapa besar peran dari masing-masing faktor penyebab tersebut, sangat sulit untuk dianalisis dan ditentukan.

2.3 Pengendalian Banjir

Pengendalian banjir bertujuan untuk mengurangi dan memperkecil resiko kerugian yang timbul akibat bencana banjir. Upaya penanggulangan banjir memerlukan dukungan biaya yang besar, karena itu setiap sistem pengendalian banjir yang direncanakan mempunyai keterbatasan pada tingkat banjir tertentu berdasarkan kelayakan teknis, ekonomis, dan lingkungan.

2.4 Pengendalian Pemanfaatan Lahan dan Normalisasi

Pengendalian pemanfaatan lahan perlu ditingkatkan dan dikembangkan, mengingat timbulnya masalah bencana banjir salah satunya disebabkan perubahan tata guna lahan yang tidak memperhatikan aspek lingkungan. Pengendalian pemanfaatan lahan dapat dilakukan melalui peran masyarakat, di mana masyarakat jangan hanya bisa memanfaatkan sungai tanpa mau memelihara dan ikut menjaga kelestarian sungai tersebut. Masalah banjir mulai muncul sejak manusia mulai membudidayakan lahan di dataran banjir untuk bercocok tanam maupun tambak, masalah terus meningkat seiring terus dikembangkannya lahan tersebut menjadi

permukiman kemudian berkembang menjadi perkotaan, industri, prasarana perhubungan dan kawasan penting lainnya.

2.5. Analisis Hidrologi

Dimulai analisis data curah hujan dimulai dengan penyeleksian data dilakukan untuk data hidrologi, khususnya untuk curah hujan maksimum tahunan yang digunakan untuk menentukan besarnya hujan rencana di Sub DAS yang menjadi fokus kegiatan.

1. Deleniasi DAS

Analisis terhadap daerah tangkapan hujan atau *catchment area (basin/watershed)* merupakan hal yang sangat penting dilakukan dalam studi hidrologi. *Catchment area* adalah sebagai bentang lahan yang dibatasi oleh pembatas topografi yang menangkap, menampung dan mengalirkan air hujan ke suatu *outlet* (Tim IPB, 2002; Abfertiawan, 2010).

2. Pemeriksaan Data Curah Hujan

a. Pemeriksaan Adanya *Outlier*

Outlier adalah data dengan nilai jauh berada di antara data-data yang lain, keberadaan *outlier* bisaanya mengganggu pemilihan jenis distribusi untuk suatu sampel data. Persamaan frekuensi untuk mendeteksi adanya *outlier* atas dan bawah adalah sebagai berikut:

$$X_H = \exp(\bar{X} + Kn.S)$$

$$\text{dan } X_L = \exp(\bar{X} - Kn.S)$$

Tabel 1.
Nilai Kn untuk Pemeriksaan *Outlier*

Sample size n	Kn						
10	2.036	24	2.467	38	2.661	60	2.837
11	2.088	25	2.486	39	2.671	65	2.866
12	2.134	26	2.502	40	2.682	70	2.893
13	2.175	27	2.519	41	2.692	75	2.917
14	2.213	28	2.534	42	2.700	80	2.940
15	2.247	29	2.549	43	2.710	85	2.961
16	2.279	30	2.563	44	2.719	90	2.981
17	2.309	31	2.577	45	2.727	95	3.000
18	2.335	32	2.591	46	2.736	100	3.017
19	2.361	33	2.604	47	2.744	110	3.049
20	2.385	34	2.616	48	2.753	120	3.078
21	2.408	35	2.628	49	2.760	130	3.104
22	2.429	36	2.639	50	2.768	140	3.129
23	2.448	37	2.650	55	2.804		

Sumber : U.S. Water Resources Council, 1981

b. Pemeriksaan Adanya *Trend*

Data seri hidrologi sebelum digunakan untuk analisis, harus bebas dari adanya *trend* (kecenderungan), yaitu tidak ada korelasi antara urutan data dengan peningkatan (atau penurunan) besarnya nilai data tersebut. Umumnya dilakukan uji adanya *trend* untuk seluruh data yang ada, walaupun boleh pula dilakukan uji hanya pada periode data yang dicurigai terdapat *trend*.

Untuk mengetahui adanya *trend*, digunakan metode *Spearman's rank-correlation*. Metode ini didasarkan pada *Spearman rank-correlation coefficient*, R_{sp} , yang didefinisikan sebagai:

$$R_{sp} = 1 - \frac{6 \times \sum_{i=1}^n D_i^2}{n \times (n^2 - 1)} \quad \text{dan} \quad D_i = Kx_i - Ky_i$$

Di mana:

n : Jumlah data sampel

Di : Perbedaan antara rangking variabel xi, Kx_i , (data diurutkan dari kecil ke besar) dan rangking berdasarkan nomor urut data asli, Ky_i .

c. Pemeriksaan Adanya *Trend*

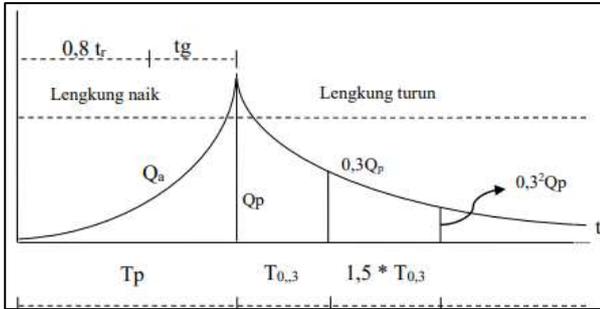
Untuk melakukan pemeriksaan independensi dari seri data digunakan *serial-correlation coefficient*. Apabila seri data adalah acak sempurna, maka fungsi *auto-correlation* dari populasi akan sama dengan nol untuk semua *lag* kecuali nol. Pemeriksaan independensi ini cukup dilakukan perhitungan digunakan *serial-correlation coefficient* dengan lag 1, yaitu korelasi antara data pengamatan yang berdekatan dalam seri data. Menurut Box dan Jenkins (1970), *serial-correlation coefficient* dengan lag 1, r_1 .

3. Metode Perhitungan Hidrograf

a. Metode Satuan Nakayasu

Hidrograf satuan sintetik digunakan untuk mengetahui bentuk dasar kurva pengaliran suatu DAS. Besarnya aliran yang disebabkan oleh hujan pada suatu daerah tergantung dari besarnya hujan

dan kondisi dari daerah pengaliran yang ada



Gambar 1. Hidrograf Satuan Sintetik Nakayashu

$$Q_p = \frac{1}{36} \times \frac{A \cdot R_0}{(0,3 \cdot T_p + T_{0,3})}$$

b. Metode Satuan Snyder

Perhitungan Hidrograf satuan untuk Snyder

$$t_p = C_1(L \cdot L_c)^n$$

Di mana:

- L adalah panjang sungai (km);
- LC adalah panjang sungai dari titik berat basin ke outlet (km);
- tp adalah waktu dari titik berat curah hujan efektif ke puncak banjir ;
- C1, n adalah koefisien-koefisien yang tergantung dari karakteristik daerah pengalirannya.

c. Metode Satuan SCS

Model SCS Unit Hidrograf adalah suatu Unit Hidrograf yang berdimensi, yang dicapai puncak tunggal Unit Hidrograf. SCS menyatakan bahwa puncak Unit Hidrograf dan waktu puncak Unit Hidrograf terkait oleh:

$$U_p = C \frac{A}{T_p}$$

d. Hidrograf Satuan ITB

Berikut merupakan rumus Hidrograf Satuan ITB:

$$Q_p = \frac{R \cdot A_{DAS}}{3,6 T_p \cdot A_{HSS}}$$

Di mana:

Qp = Debit puncak hidrograph satuan (m³/s)

R = Curah hujan satuan (mm)

Tp = waktu mencapai puncak (jam)

ADAS = Luas DAS (km²)

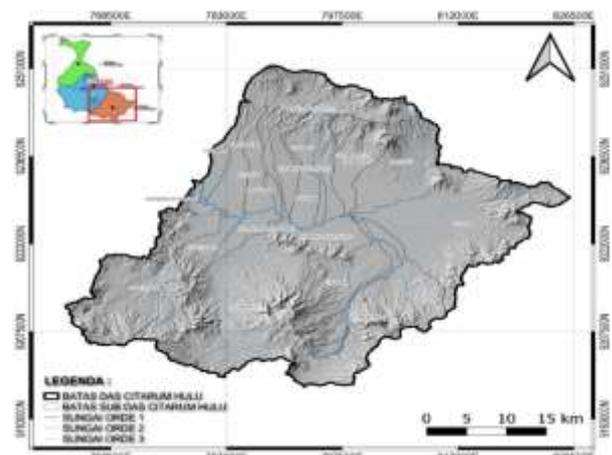
AHSS = Luas kurva hidrograph satuan tak berdimensi (*dimensionless unit hydrograph*) yang dilakukan secara numerik dengan metoda trapesium.

2.6. Analisis Hidraulika/Model HEC-RAS

Analisis hidraulika meliputi hidraulika sungai baik 1D maupun 2D-nya untuk mendapatkan lokasi genangan banjir serta luasan genangan banjir yang terjadi akibat kapasitas sungai yang tidak mencukupi dan sudah dikalibrasi menggunakan data primer hasil wawancara dengan warga sekitar yang mengalami banjir.

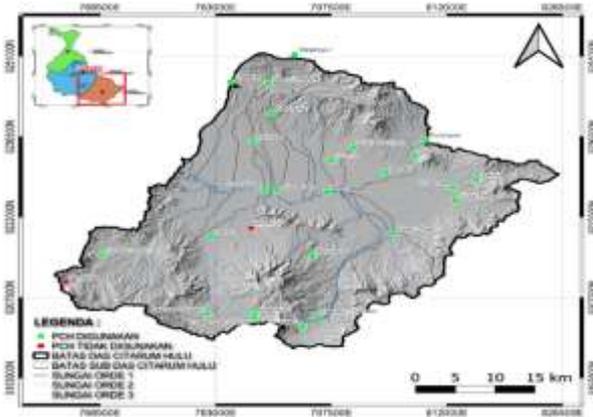
3. Objek dan Metode Penelitian

Target yang menjadi fokus pada penelitian adalah DAS Citarum Bagian Hulu. DAS Citarum Bagia Hulu memiliki luas 1.765,43 km² terbagi menjadi 20 Sub DAS.



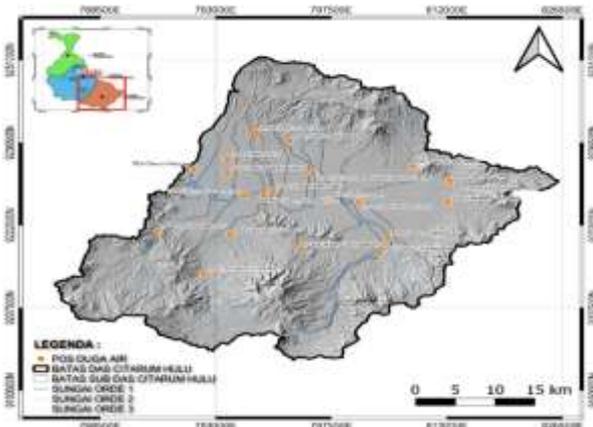
Gambar 2. Peta Situasi DAS Citarum

Terdapat 27 Pos Curah Hujan (PCH) yang tersebar di wilayah hidrologis DAS Citarum Hulu. Dari 27 pos curah hujan terdapat 2 pos curah hujan yang tidak digunakan karena ketiadaan data curah hujan pada pos tersebut yaitu PCH Arjasari dan PCH Rancaupas.

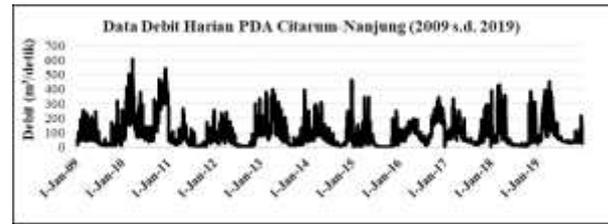


Gambar 3. Peta Pos Curah Hujan digunakan pada DAS Citarum Hulu

Terdapat 21 Pos Duga Air (PDA) yang tersebar di dalam wilayah hidrologis DAS Citarum Hulu. Akan tetapi, berdasarkan hasil pengecekan data, PDA yang akan digunakan sebagai acuan untuk kalibrasi adalah PDA Citarum-Nanjung yang berada pada outlet DAS Citarum Hulu. Data dari PDA Citarum-Nanjung ini berupa pencatatan data debit harian. Debit harian dari PDA Nanjung ini akan digunakan untuk kalibrasi parameter dari DAS dalam pemodelan debit.

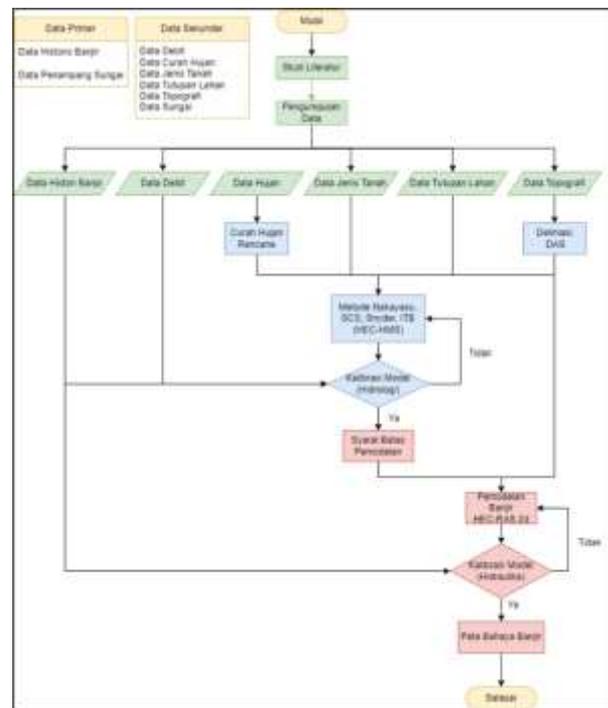


Gambar 4. Peta Sebaran Pos Duga Air Citarum Hulu



Gambar 5. Peta Sebaran Pos Duga Air Citarum Hulu

Kegiatan ini dilakukan berdasarkan prosedur pada gambar alur kegiatan. Prosedur yang dibangun ini bertujuan untuk menjawab semua tujuan dari kegiatan. Adapun prosedur kegiatan yang dilakukan dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 6. Alur Kegiatan (Flowchart)

4. Hasil dan Pembahasan

4.1 Distribusi Hujan Rencana

Sebelum melakukan analisis curah hujan rencana, data curah hujan yang digunakan telah melalui tahapan uji data seperti uji konsistensi data, uji ketiadaan trend, uji stasioner, uji presistensi, dan uji abnormalitas. Dimana dari uji yang dilakukan data curah

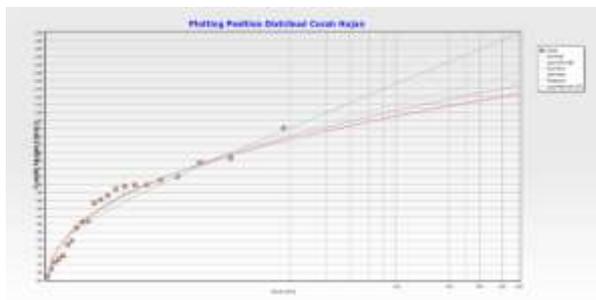
hujan memenuhi untuk dapat digunakan pada analisis curah hujan rencana.

Analisis curah hujan rencana pada setiap kala ulang mulai dari kala ulang 5, 10, 25, 50, 100, 200, dan 500 tahun dilakukan dengan menggunakan beberapa distribusi yaitu mulai dari distribusi Normal, Log Normal 2, Gumbel, Gamma, Pearson III, dan Log Pearson III. Adapun hasil dari analisis curah hujan rencana pada setiap distribusi disetiap kala ulang nya dapat dilihat pada tabel berikut ini.

Tabel 2.
Distribusi Hujan Rencana Kala Ulang
DAS Citarum Hulu

Periode Ulang	Distribusi Curah Hujan Rencana (mm)					
	Normal	Log Normal 2	Gumbel	Gamma	Pearson III	Log Pearson III
5	92,01	91,91	90,78	91,87	92,01	92,00
10	96,45	96,98	96,69	96,69	96,47	96,73
25	101,19	102,70	104,14	102,00	101,24	101,88
50	104,24	106,57	109,68	105,53	104,32	105,27
100	106,99	110,18	115,17	108,77	107,10	108,35
200	109,51	113,59	120,64	111,79	109,64	111,20
500	112,56	117,86	127,86	115,53	112,73	114,68

Sumber : Analisis



Sumber : Analisis

Gambar 7. Plotting Distribusi Hujan Rencana Kala Ulang DAS Citarum Hulu

Berdasarkan hasil *plotting* distribusi hujan rencana kala ulang pada gambar 6 di atas terlihat bahwa yang mendekati data adalah distribusi Gamma. Akan tetapi, pada penelitian ini hubungan dengan banjir maka digunakan curah hujan rencana dengan nilai hujan tertinggi untuk dapat menggambarkan kondisi ekstrim yang dapat terjadi. Dengan demikian distribusi yang akan digunakan pada penelitian ini adalah curah hujan rencana kala ulang pada distribusi Gumbel.

4.2 Model Rainfall Runoff

Model *Rainfall Runoff* pada penelitian ini menggunakan bantuan software HEC—HMS. Dimana, dalam studi ini digunakan hidrograf satuan *Soil Conservation Service* (SCS). Parameter *Basin/DAS* yang merupakan parameter fisik dan nonfisik diperlukan sebagai salah satu input dalam permodelan hidrologi dengan HEC-HMS.

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan 3 Sub DAS utama yang menyumbang debit cukup tinggi pada DAS Citarum Hulu adalah Sub DAS Cisangkuy dengan debit kala ulang 25 tahun sebesar 699,90 m³/detik, Sub DAS Citarum Hulu dengan debit kala ulang 25 tahun sebesar 536,10 m³/detik, dan Sub DAS Citarik dengan debit kala ulang 25 tahun 473,10 m³/detik. Di mana kala ulang 25 tahun ini adalah kala ulang yang digunakan dalam perencanaan penanggulangan bencana banjir di Sungai Citarum. Adapun untuk lebih detail debit banjir kala ulang setiap Sub DAS dapat dilihat pada tabel 3. berikut ini.

Tabel 3.
Debit Banjir Maksimum Sub DAS
pada DAS Citarum Hulu

No	Nama Sub DAS	Debit Banjir Kala Ulang Maksimum (m ³ /detik)						
		5yr	10yr	25yr	50yr	100yr	200yr	500yr
1	Citarik	355,00	406,00	473,10	524,50	576,90	630,10	702,00
2	Citarum Hulu	411,00	465,40	536,10	589,80	648,70	711,30	796,10
3	Cikeruh	131,20	152,30	180,50	202,30	224,70	247,70	278,90
4	Cirasa	166,00	189,10	219,40	242,50	265,90	289,88	321,80
5	Cisaranten	80,00	92,90	108,80	121,00	133,50	146,10	163,30
6	Ciparay-Cermeung	95,50	108,40	125,40	138,30	151,30	164,60	182,40
7	Cidurian	51,60	59,90	71,20	79,80	88,70	97,80	110,20
8	Cipamokolan	70,10	79,90	92,50	102,30	112,00	122,00	135,30
9	Cisangkuy	520,60	598,10	699,90	777,90	857,20	938,00	1047,00
10	Cikampung Kota	108,80	125,60	148,00	165,20	182,80	200,90	225,70
11	Cicadas	46,20	53,00	62,00	68,90	75,90	83,00	92,60
12	Cikampung Kulot	39,40	45,70	54,00	60,50	67,00	73,70	82,70
13	Cipalasari	16,00	18,20	20,90	23,00	25,10	27,30	30,10
14	Cijalupang 2	52,50	60,60	71,20	79,40	87,80	96,30	107,80
15	Citapus	47,60	54,20	62,90	69,60	76,30	83,20	92,40
16	Ciranjeng	53,80	61,50	71,50	79,10	86,80	94,70	105,30
17	Cijalupang 1	262,90	303,00	355,90	396,70	438,30	480,70	538,10
18	Cibeureum	58,20	66,90	78,60	87,50	96,70	106,20	119,00
19	Cilimber	42,30	49,20	58,30	65,30	72,40	79,70	89,50
20	Champelas	29,10	33,00	38,20	42,20	46,20	50,20	55,70

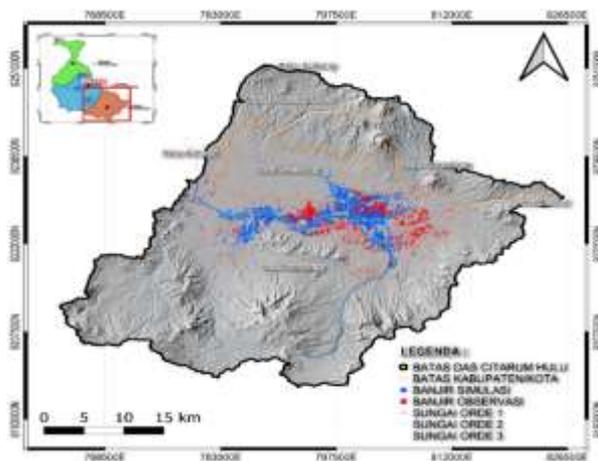
Sumber: Analisis

4.3 Model Banjir 2-Dimensi

Pengembangan model banjir pada DAS Citarum Hulu dilakukan dengan menggunakan software HEC-RAS 2-Dimensi versi 6.6. Di

mana dalam pengembangan model dilakukan dengan pembuatan *Grid* secara umum dengan ukuran 250 m x 250 m sedangkan pada bagian sungai *Grid* yang digunakan adalah lebih kecil dan lebih bervariasi.

Adapun kalibrasi dilakukan untuk melihat kesesuaian sebaran genangan banjir dari hasil simulasi dengan genangan banjir observasi. Pendekatan yang dilakukan dalam kalibrasi simulasi banjir di DAS Citarum Hulu dilakukan dengan melakukan *overlay* hasil simulasi banjir dengan hasil pengolahan Citra Satelite Sentinel-1A dengan data citra pada kejadian banjir tahun 2022. Berikut ini adalah peta hasil *overlay* banjir untuk kalibrasi.



Sumber: Analisis

Gambar 8. *Overlay* Banjir Simulasi dan Banjir Observasi Sentinel-1A pada DAS Citarum Hulu

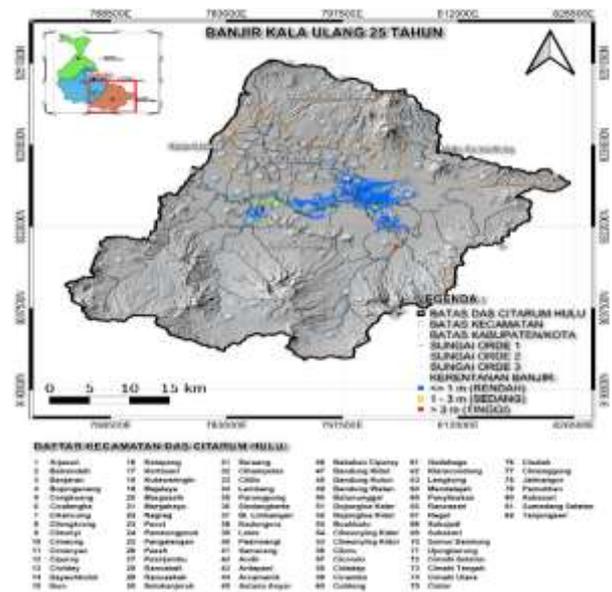
4.4 Temuan Utama

Berdasarkan hasil model simulasi banjir yang telah dilakukan diperoleh bahwa terdapat 4 wilayah kabupaten/kota yang rawan terhadap banjir luapan sungai Citarum bagian hulu dan anak-anak sungainya yaitu Kab. Bandung, Kab. Bandung Barat, Kab. Sumedang dan Kota Bandung. Kab. Bandung adalah wilayah terdampak paling besar dengan jumlah wilayah terdampak adalah 81 desa/kelurahan pada banjir kala ulang 500 tahun. Kemudian disusul oleh Kota Bandung dengan jumlah wilayah terdampak adalah 11 desa/kelurahan. Berikut ini adalah rekapitan jumlah

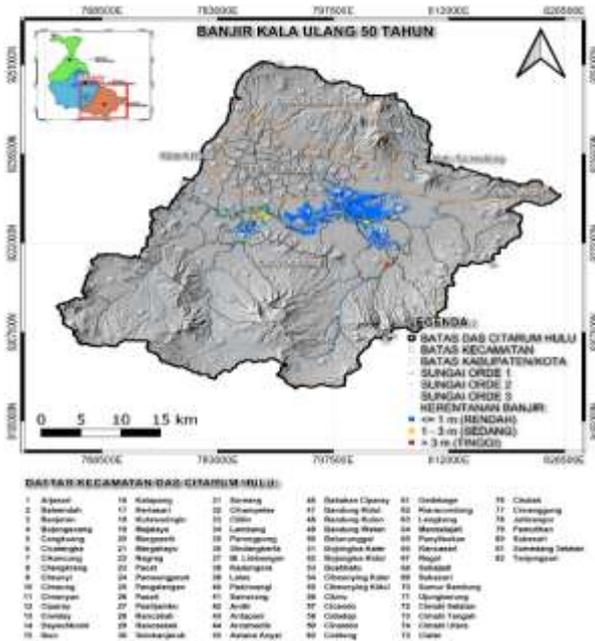
desa/kelurahan terdampak pada 4 wilayah kabupaten/kota tersebut.

Hasil simulasi yang telah dilakukan, pada Kab. Bandung setidaknya 28 desa/kelurahan yang terdampak banjir dengan luasan terdampak > 100 Ha. Pada Gambar 4.22 di atas dapat dilihat bahwa 10 desa/kelurahan yang paling rentan terdampak banjir luapan sungai pada DAS Citarum adalah Tegalluar, Sukamanah, Tegal Sumedang, Bojongsari, Bojongemas, Summersari, Andir, Rancamulya, Rancaekek Kulon dan Jelekong dengan luasan terdampak banjir > 200 Ha.

Kab. Bandung Barat hanya 1 desa/kelurahan yang terdampak banjir yaitu Desa Pataruman yang berada pada Kecamatan Cihampelas. Pada Kab. Sumedang terdapat 3 desa/kelurahan yang terdampak banjir yaitu Cipacing, Mekargalih, dan Sayang yang ketiganya berada pada Kec. Jatinangor. Sedangkan pada Kota Bandung terdapat 11 desa/kelurahan terdampak di mana desa/kelurahan yang paling terdampak adalah Kec. Gedebage yaitu Rancanumpang, Cimenerang, Cisaranten Kidul, dan Rancabolang.



Gambar 9. Peta Sebaran Banjir DAS Citarum Hulu Kala Ulang 25 Tahun



Gambar 10. Peta Sebaran Banjir DAS Citarum Hulu Kala Ulang 50 Tahun

4.5 Sistem Peringatan Dini

Sistem peringatan dini merupakan serangkaian sistem untuk memberitahukan akan timbulnya kejadian alam dalam hal ini bencana banjir. Peringatan dini pada masyarakat atas bencana banjir yang akan terjadi merupakan tindakan memberikan informasi dengan bahasa yang mudah dicerna oleh masyarakat. Dalam keadaan kritis, secara umum peringatan dini yang merupakan penyampaian informasi tersebut diwujudkan dalam bentuk sirine, kentongan, dan lain-lain.

Dalam hal sistem peringatan dini pada DAS Citarum hulu dalam kajian ini adalah memanfaatkan perangkat yang telah ada agar dapat menyampaikan informasi bencana banjir yang akan terjadi. Berikut ini adalah peta sebaran Pos Duga Air (PDA) pada DAS Citarum Hulu yang dioverlay dengan hasil simulasi banjir yang telah dilakukan.

Sistem peringatan dini banjir pada DAS Citarum pada 4 PDA, yaitu:

1. PDA Citarum-Majalaya
2. PDA Citarum-Sapan
3. PDA Citarum-Dayeuhkolot
4. PDA Citarum-Rancamanyar

Dari 4 PDA di atas, dievaluasi untuk melihat waktu tempuh aliran di setiap PDA. Di mana waktu tempuh air ini akan menjadi bahan pertimbangan dalam penyampaian informasi akan terjadinya bencana banjir. Adapun waktu tempuh ini dapat bervariasi tidak terbatas pada jarak, waktu tempuh aliran air pada sungai tergantung kemiringan dasar sungai tersebut. Waktu tempuh aliran air dari ke-4 PDA di atas berdasarkan dari hasil simulasi dapat dilihat pada skema berikut ini.



Sumber: BBWS Citarum & Analisis

Gambar 11. Skema Waktu Aliran Air pada 4 PDA di DAS Citarum Hulu

Berdasarkan hasil di atas, dapat disimpulkan bahwa waktu perjalanan aliran air dari PDA yang ada di hulu yaitu PDA Citarum-Majalaya cukup singkat, sehingga berpengaruh terhadap strategi yang akan digunakan untuk mengevakuasi warga untuk meminimalisir korban jiwa dan kerugian materi.

Dengan demikian proses pemberian informasi terkait dengan peringatan dini banjir berdasarkan data dari PDA Citarum-Majalaya jika tinggi muka air telah mencapai Siaga III maka masyarakat pada daerah yang rawan banjir diminta untuk mempersiapkan diri kemungkinan terjadinya banjir.



Gambar 11. Skema Peringatan Dini Banjir di DAS Citarum Hulu

5. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut :

1. Debit banjir kala ulang pada DAS Citarum Hulu ditinjau disetiap Sub DAS di mana dari hasil analisis Sub DAS penyumbang debit terbesar pada Sungai Citarum adalah Sub DAS Cisangkuy dengan besaran debit kala ulang 25 tahun sebesar 699,90 m³/detik, kala ulang 50 tahun sebesar 777,90 m³/detik, dan kala ulang 100 tahun sebesar 857,20 m³/detik. Setelah Sub DAS Cisangkuy, kemudian adalah Sub DAS Citarum Hulu, Sub DAS Citarik dan Sub DAS Cijalupang.
2. Berdasarkan hasil simulasi banjir yang telah dilakukan diperoleh output peta sebaran genangan banjir pada DAS Citarum Hulu yang dapat dilihat pada Sub Bab 4.2.3 Hasil Model Banjir 2-Dimensi. Hasil *output* peta sebaran genangan banjir tersebut, diperoleh daerah yang rentan terdampak banjir pada DAS Citarum Hulu adalah wilayah Kab. Bandung dan Kota Bandung. Adapun wilayah kecamatan yang rentan terdampak pada Kab. Bandung adalah Kec. Katapang, Kec. Kutawaringin, Kec. Majalaya, Kec. Margaasih, Kec. Margahayu, Kec. Pameungpeuk, Kec. Rancaekek, dan Kec. Solokanjeruk. Kemudian wilayah Kota Bandung yaitu Kec. Arcamanik, Kec. Cinambo, Kec. Gedebage, dan Kec. Rancasari.
3. Untuk sistem peringatan dini banjir pada DAS Citarum Hulu menggunakan data dari Pos Duga Air (PDA) Citarum-Majalaya untuk dapat memberikan informasi banjir. Di mana waktu tempuh aliran air dari PDA Citarum-Majalaya ke PDA Citarum-Rancamanyar adalah 6 jam 55 menit. Dengan demikian status siaga banjir dapat memberikan peringatan kepada masyarakat dengan menggunakan data tinggi muka air pada PDA Citarum-Majalaya.

Daftar Pustaka

- Fernandos,, Tambunan, MP, & Marko, K. 2020. Tingkat Kerugian Terkait Daerah Yang Terkena Banjir di DAS Citarum Bagian Hulu. Tidak ada. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/561/1/012027>
- Listyarini, Diah, Y. Hidayat, B. Tjahyono. 2018. Mitigasi Banjir DAS Citarum Hulu Berbasis Model HEC-HMS. *Jurnal Tanah dan Lingkungan* 20(1), 40-48.
- Hadihardaja, IK, Indrawati, D., Suryadi, Y., & Griggs, NS. 2011. Sistem Pendukung Keputusan untuk Memprediksi Karakteristik Banjir Berdasarkan Pengembangan Pemodelan Basis Data (Studi Kasus: Hulu Citarum, Jawa Barat, Indonesia). Tidak ada. <https://doi.org/10.2495/ST110341>
- Muin. Sisi Febriyanti, dkk. 2015 Pemodelan Banjir dan Analisis Kerugian Akibat Bencana Banjir di DAS Citarum Hulu. *Jurnal Tanah dan Iklim*. Vol 39 No. 2. Desember 2015. 75-58.
- Adhitya. Wisang Yogo Purnama. 2012. *Efektifitas Upaya Pengendalian Banjir DAS Citarum Bagian Hulu melalui Pengendalian Pemanfaatan Lahan dan Normalisasi Alur Sungai*. Jakarta : Perpustakaan UI.