

Penanganan Banjir Sub-DAS Posindo Kota Balikpapan dengan Optimalisasi Penyediaan Infrastruktur Hijau

Achmad Ghozali^{1,*}, Rossana Margaret Kadar Yanti², Ajeng Nugrahaning Dewanti³

Perencanaan Wilayah dan Kota, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan^{1,3}, Teknik Sipil, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan²

Koresponden*, Email: ghozali@lecturer.itk.ac.id

Info Artikel		Abstract
Diajukan	09 Februari 2021	<i>The Posindo sub-basin, emptying into the Ampal river, is still experiencing flooding even though the city government has normalized and regularly cleans the primary river. Therefore, this flood problem cannot be handled conventionally and generically. This research was conducted to formulate optimal flood management scenarios through a green infrastructure approach as an alternative to specific and sustainable flood management. Two analytical methods were used to overcome the research question: the Gumbel Type I distribution to calculate the return period of rain and HEC-HMS and HEC-RAS modeling software to simulate hydrological and hydraulic conditions. The analysis results showed an overflow discharge above the embankment of 0.38 – 1.64 m³/s along the Posindo sub-basin secondary channel. Simulations and optimizations carried out with five scenarios show that the provision of green open space is crucial in maintaining the level of water absorption in the study area. The combined management strategy by maintaining a minimum green open space of 10%, construction of storage ponds, and increasing the capacity of drainage channels is very effective in reducing the overflow height that occurs.</i>
Diperbaiki	05 April 2022	
Disetujui	14 April 2022	

Keywords: flood management, green infrastructure, and overflow

Kata kunci: penanganan banjir, infrastruktur hijau, dan luapan

Sub-DAS Posindo yang bermuara ke sungai Ampal masih mengalami banjir meskipun pemerintah kota telah melakukan normalisasi dan pembersihan sungai utama secara berkala. Oleh karena itu, masalah banjir ini tidak dapat ditangani secara konvensional dan generik. Penelitian ini dilakukan untuk merumuskan skenario penanganan banjir optimal melalui pendekatan infrastruktur hijau sebagai alternatif penanganan banjir yang spesifik dan berkelanjutan. Dua metode analisis utama digunakan untuk menjawab pertanyaan penelitian antara lain perhitungan periode ulang hujan dengan distribusi Gumbel Tipe I serta permodelan kondisi hidrologi dan hidrolika menggunakan software HEC-HMS dan HEC-RAS. Hasil analisis diperoleh adanya debit luapan di atas tanggul sebesar 0,38 – 1,64 m³/dtk di sepanjang saluran sekunder sub-DAS Posindo. Simulasi dan optimalisasi yang dilakukan dengan lima skenario menunjukkan bahwa penyediaan ruang terbuka hijau (RTH) sangat penting dalam menjaga tingkat penyerapan air di wilayah studi. Strategi penanganan gabungan dengan mempertahankan RTH minimal 10%, pembangunan kolam tampungan, dan peningkatan kapasitas saluran drainase menjadi sangat efektif dalam menurunkan tinggi luapan yang terjadi.

1. Pendahuluan

Banjir yang terjadi di Kota Balikpapan terjadi secara terus-menerus juga adanya pengaruh curah hujan yang meningkat [1]. Data BMKG Kota Balikpapan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan curah hujan, dimana pada tahun 2009 hanya mencapai 132,00 mm kemudian meningkat menjadi 161,4 mm di tahun 2018. Di sisi lain, Kota Balikpapan termasuk dalam wilayah Provinsi Kalimantan Timur dan merupakan salah satu kota besar di kawasan Timur Indonesia. Berdasarkan Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Balikpapan Tahun 2012-2032 diketahui bahwa Kota Balikpapan memiliki potensi sebagai simpul transportasi laut nasional, simpul transportasi udara nasional, kawasan andalan dan kawasan pengembangan ekonomi terpadu. Kondisi strategis tersebut menjadikan Kota

Balikpapan terus berkembang dengan pesat di berbagai sektor.

Perkembangan kota yang pesat menimbulkan masalah kemampuan penyediaan prasarana dan sarana perkotaan, salah satu permasalahan yang terjadi adalah tidak mampunya kapasitas drainase kota untuk mengalirkan air hujan sehingga mengakibatkan banjir di beberapa titik [2]. Dengan adanya perkembangan kota yang pesat, pembukaan lahan untuk pemukiman mengakibatkan semakin berkurangnya kawasan resapan air sehingga meningkatkan limpasan air hujan dan bertambahnya sedimen pada sungai dan saluran [3].

Dalam 5 tahun terakhir, Kota Balikpapan memfokuskan penanganan banjir pada DAS Ampal baik melalui normalisasi sungai, pengerukan bendali eksisting, maupun pengerukan saluran drainase. Meskipun demikian, sejak tahun 2014

banjir terus terjadi terutama pada sub-DAS perumahan Posindo. Setiap tahun di wilayah perumahan Manunggal dan Posindo selalu terjadi banjir parah [4][5][6]. Dengan demikian, program penanganan banjir yang dilakukan oleh pemerintah Kota Balikpapan di wilayah ini belum efektif karena penanganan difokuskan pada peningkatan kapasitas sungai utama yaitu sungai Ampal sehingga permasalahan pada saluran drainase sekunder belum dilakukan sesuai dengan kondisi di lapangan. Oleh karena itu, perlu adanya perumusan skenario penanganan banjir yang dapat menggambarkan kondisi lapangan untuk pengambilan keputusan yang lebih baik.

2. Metode

Tujuan penulisan ini adalah untuk merumuskan skenario optimal penanganan banjir di wilayah studi dengan beberapa skenario yang berbasis pada penyediaan infrastruktur hijau. Untuk menjawab tujuan tersebut empat tahapan analisis dilakukan yang dapat dijelaskan sebagai berikut:

a. Analisis curah hujan periode ulang di wilayah studi

Dalam merencanakan saluran drainase di daerah perkotaan digunakan periode ulang tertentu sesuai dengan luas daerah tangkapan air, tipologi/jenis kota (besar, sedang, kecil). Perencanaan saluran dengan periode ulang yang lebih besar tidak ekonomis, karena bertambahnya biaya-biaya yang lebih banyak dibandingkan manfaatnya. Pemilihan debit rencana dapat dilakukan dengan menggunakan standar debit rencana yang telah berlaku secara umum dan tertuang di dalam Standar Nasional Indonesia (SNI) 2415 Tahun 2016 Tentang Tata Cara Perhitungan Debit banjir [7]. Sesuai dengan sistem saluran dan tinjauan berdasarkan jumlah penduduk kota Balikpapan maka dipilih curah hujan periode ulang 5 tahun. Pada analisis periode ulang ini digunakan metode perhitungan Gumbel Tipe I sesuai dengan karakteristik wilayah studi.

b. Analisis debit limpasan hujan di wilayah studi dengan Permodelan Hec-HMS

Hec-HMS merupakan program bantu untuk simulasi perhitungan hidrologi. Program bantu ini melakukan analisis dengan konsep analisis hidrologi dengan memperhitungkan infiltrasi, unit hidrograf, dan routing hidrologi. Dalam kaitannya dengan analisis kondisi sub-DAS, dilakukan pendekatan model DAS dalam HEC-HMS dapat digambarkan bahwa curah hujan merupakan input analisis yang diproses dengan karakteristik DAS seperti luas, tutupan lahan, dan kelerengan untuk menghasilkan suatu luaran (*output*) analisis berupa debit [8]. Permodelan HEC HMS dalam analisis ini digunakan model *Soil Conservation Service* (SCS) [9].

Model SCS menghitung debit dengan beberapa parameter sesuai dengan karakteristik DAS. Parameter yang dihitung guna memperoleh nilai debit limpasan (hidrologi) antara lain jenis tanah, vegetasi dan tata guna lahan. Seluruh parameter ini disajikan dalam satu nilai yaitu nilai runoff curve number (CN) [10]. Besaran nilai CN berubah sesuai dengan perubahan pada faktor-faktor yang mempengaruhi. Masing-masing tutupan lahan memiliki nilai CN yang berbeda, oleh karena itu perlu dilakukan analisis CN gabungan dengan persamaan 1.

$$CN \text{ gab} = \sum \frac{CN \times A}{A} \quad (1)$$

Dimana:

CN = Bilangan kurva air dengan nilai bervariasi mulai dari 0-100

A = Luas daerah pengaliran (*cathment area*) (m²)

c. Analisis tinggi luapan saluran di wilayah studi dengan Permodelan Hec-Ras

Permodelan Hec-Ras dilakukan untuk mendapatkan kedalaman air dan kecepatan aliran di wilayah studi. Dalam penelitian ini digunakan simulasi model muka air pada aliran tetap (*steady flow*). Data yang digunakan dalam simulasi ini meliputi geometri saluran, debit hidrologi, dan koefisien kekasaran dasar saluran [12]. Hasil yang diperoleh dari analisis ini berupa kedalaman aliran di dalam saluran. Dari hasil ini diketahui apabila terjadi luapan air di atas tanggul saluran yang ditinjau. Konsep dasar dalam perhitungan model muka air pada aliran tetap biasa disebut sebagai langkah perhitungan *standart step method* [13].

d. Analisis optimalisasi penanganan banjir

Analisis optimalisasi penanganan banjir dilakukan dengan merumuskan beberapa skenario penanganan banjir berdasarkan ketersediaan infrastruktur hijau seperti dimensi saluran, kolam tampungan, dan ruang terbuka hijau/lahan serapan [14]. Setiap manipulasi akan dihitung ulang pengaruhnya terhadap debit hidrologi dan hidrolika saluran yang ditinjau. Manipulasi ini akan langsung disimulasikan pada Hec-HMS dan Hec-Ras. Dengan perbandingan hasil analisis antar skenario penanganan maka skenario penanganan optimal didapatkan saat kondisi saluran menunjukkan tidak ada luapan di atas tanggul saluran.

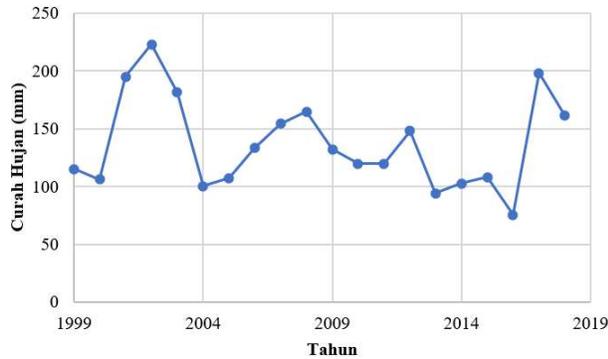
3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Gambaran Umum Wilayah

Berdasarkan data stasiun hujan Sepinggian Balikpapan diketahui bahwa dalam rentang 20 tahun terakhir curah hujan di wilayah studi berfluktuasi meskipun cenderung meningkat

setiap tahunnya dengan rata-rata sebesar 136,98 mm. Curah hujan tertinggi terjadi tahun 2002 mencapai 203 mm sedangkan terendah terjadi tahun 2016 sebesar 93 mm.

Wilayah studi merupakan kawasan perumahan dan permukiman, terletak di Kelurahan Damai Bahagia, Kecamatan Balikpapan Kota. Berdasarkan Masterplan Drainase Kota Balikpapan Tahun 2015, wilayah studi merupakan sub-DAS dengan tipe saluran drainase sekunder pada sistem Inhutani dengan luas area sekitar 113 ha. **Gambar 2** menunjukkan bahwa sub-DAS ini dapat terbagi menjadi 8 segmen saluran drainase dari hulu ke hilir. Meskipun demikian hanya 6 segmen yang akan ditinjau karena 2 segmen lainnya (kawasan Jalan Penegak) berbeda sub sistem. Segmen yang ditinjau yaitu segmen kampung buton, perumahan bukit damai Sentosa (BDS) 2, perumahan BDS 1 segmen 1, perumahan BDS 1 segmen 2, perumahan Posindo dan Manunggal Selatan. Masing-masing segmen saluran memiliki daerah tangkapan air (DTA) yang menjadi dasar perhitungan hidrologi dalam penanganan banjir.



Gambar 1. Fluktuasi Curah Hujan di Wilayah Kota Balikpapan

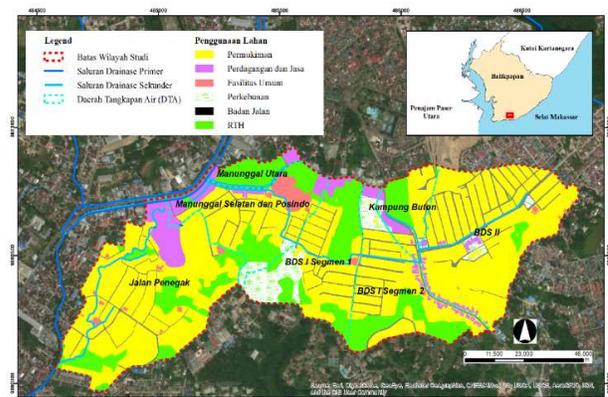


Gambar 2. Pembagian DTA Per Segmen Saluran

Besaran limpasan air hujan selain dipengaruhi oleh curah hujan juga sangat bergantung pada kemiringan dan penggunaan lahan di wilayah studi. Berdasarkan data tutupan lahan tahun 2014 dari Dinas Pertanahan dan Penataan Ruang

(DPPR) Kota Balikpapan dengan pembaharuan data melalui interpretasi citra *google earth* tahun 2020 didapatkan bahwa wilayah studi didominasi oleh kawasan perumahan dengan persentase sebesar 55% di samping memiliki ruang terbuka, baik RTH maupun perkebunan juga masih besar yaitu sebesar 24,98%. Peta penggunaan lahan eksisting seperti pada **Gambar 3** menunjukkan bahwa luas area terbangun yang berdampak pada besar limpasan di daerah hulu sangat besar dibandingkan dengan daerah hilir sehingga penanganan banjir perlu mengidentifikasi dampak pengendalian tutupan lahan pada daerah hulu dan kapasitas tampungan saluran pada daerah hilir.

Selain itu, wilayah studi juga merupakan kawasan dengan kemiringan lahan yang relatif datar dengan kemiringan hulu sebesar 10,22% sedangkan kemiringan daerah hilir sebesar 7,31 %. Meskipun demikian, elevasi hulu sangat signifikan lebih tinggi daripada hulu dengan gradasi. Kondisi karakteristik DTA per segmen saluran dapat disajikan pada **Tabel 1**.



Gambar 3. Penggunaan Lahan Wilayah Studi

3.2. Hasil Analisis Curah Hujan Periode Ulang di Wilayah Studi

Perhitungan curah hujan periode ulang bertujuan untuk mengetahui intensitas hujan rencana periode ulang 2 sampai 10 tahun. Perhitungan ini menggunakan distribusi Gumbel Tipe I seperti yang telah dijelaskan pada bagian metodologi. Hasil analisis dapat disajikan pada **Tabel 2** yang menunjukkan bahwa besaran curah hujan untuk setiap periode ulang akan meningkat sesuai dengan lama periode ulang. Karena kondisi wilayah studi yang merupakan saluran sekunder kota maka besaran curah hujan periode ulang yang sesuai dengan perencanaan saluran drainase perkotaan tipe ini adalah 5 tahunan [15]. Dari hasil analisis didapatkan bahwa curah hujan di wilayah studi diperkirakan sebesar 173,60 mm.

Tabel 1. Karakteristik dan Sebaran Tutupan Lahan Per Segmen DTA

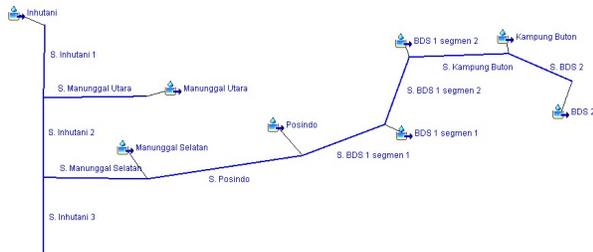
DTA	Panjang Saluran	Elevasi dasar Saluran	Kemiringan Lahan	Luas Tutupan Lahan					
				Jalan	Perdagangan dan Jasa	Kebun	Perumahan	Area Hijau	Sarana Umum
				L (m)	(m)	%	Ha	Ha	Ha
BDS 2	363	29,7	3,610	2,59	0,63	0,56	21,10	1,08	0,11
BDS 1 Segmen 1	331	22,0	10,224	0,87	0,38	2,84	6,71	5,03	0,10
BDS 1 Segmen 2	372	17,2	9,872	1,52	0,77	0,98	8,11	4,32	0,02
Kampung Buton	283	11,5	9,016	0,53	0,56	0,23	0,88	3,41	0,00
Posindo	376	6,0	8,354	1,01	1,67	0,76	7,11	2,92	1,47
Manunggal Utara	137	6,0	7,310	0,20	0,49	0,00	0,00	2,52	0,00
Penegak	462	5,3	7,056	1,48	2,48	18,40	1,60	4,42	3,32

Tabel 2. Curah Hujan Periode Ulang Distribusi Gumbel

Periode Ulang (Tahun)	Nilai Varian Koreksi (Yt)	Faktor Frekuensi (K)	Xmax (mm)
2	0,37	-0,15	131,09
5	1,50	0,92	173,60
10	2,25	1,62	201,74

3.3. Hasil Analisis Debit Hidrologi Di Wilayah Studi

Analisis pada program Hec-HMS untuk analisis hidrologi wilayah studi dilakukan dengan membuat suatu permodelan DAS seperti pada Gambar 4 yaitu penggambaran model sistem saluran dan DTA serta memasukkan input data variabel perhitungan.

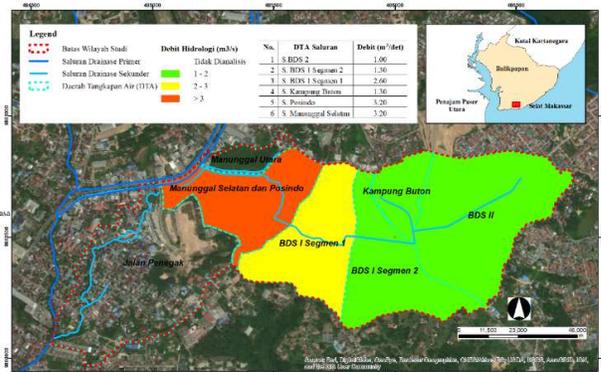


Gambar 4. Skematik Model Sistem Saluran di Wilayah Studi

Hasil analisis berupa data keluaran antara lain terdiri dari grafik hidrograf pada masing-masing titik kontrol yang dilengkapi dengan besarnya debit pada setiap titik dan data debit di DAS Posindo. Nilai CN pada setiap DTA disesuaikan dengan karakteristik tutupan lahan. Dari pemodelan Hec-HMS menggunakan metode SCS diperoleh nilai debit limpasan (hidrologi) seperti pada Gambar 5.

Berdasarkan Gambar 5 diketahui bahwa nilai debit limpasan (hidrologi) yang mengalir pada masing-masing saluran di Sub-DAS Posindo. Pada Sub-DAS bagian hulu yaitu BDS 2 diperoleh debit sebesar 1,00 m³/det dan meningkat secara signifikan di bagian hilir yaitu Manunggal Selatan sebesar 3,20 m³/det. Hasil analisis ini dilakukan tanpa memperhitungkan aliran dasar (*baseflow*). Hal ini sesuai dengan

kondisi lapangan, yang menunjukkan bahwa seluruh saluran merupakan saluran drainase kota yang tidak memiliki aliran dasar.



Gambar 5. Pembagian DTA Per Segmen Saluran

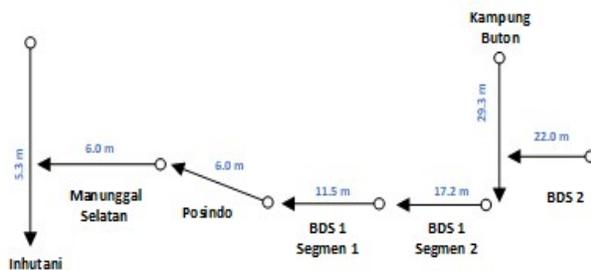
3.4. Hasil Analisis Evaluasi Tinggi Luapan Saluran Eksisting Sub-DAS Posindo

Berdasarkan kondisi karakteristik dan dimensi saluran di masing-masing DTA setiap segmen saluran kemudian dianalisis menggunakan software HEC-RAS. Hasil analisis kondisi eksisting berdasarkan dimensi masing-masing saluran dan penggunaan lahan menunjukkan adanya luapan.

Berdasarkan Tabel 4, dimensi saluran pada Sub-DAS Posindo memiliki dimensi saluran segi empat dengan lebar (B) x Tinggi (H) bervariasi dari 1 x 0,5 m hingga 2 x 1,5 m. Dengan dimensi tersebut, keenam saluran yang menjadi titik pengamatan mengalami ketidakmampuan dalam mengalirkan semua debit limpasan yang terjadi sehingga wajar jika terjadi banjir terutama pada saluran hilir sistem ini. Ketinggian luapan di atas tanggul bervariasi antara 3,79 m – 1,40 m. Debit luapan merupakan selisih debit limpasan air (hidrologi) dengan debit kapasitas saluran eksisting (hidrolika). Saat ini, banjir yang terjadi berada pada segmen Posindo dan Manunggal Selatan. Kondisi ini menunjukkan bahwa meskipun potensi banjir hasil analisis dapat terjadi di setiap saluran tetapi di lapangan cenderung terjadi akumulasi luapan banjir yang terpusat di kawasan hilir sub-DAS ini.

Tabel 4. Hasil Analisis Kondisi Eksisting Sub-DAS Posindo

No.	Segmen Saluran	Debit Maksimum Hidrolika (m ³ /s)	Debit luapan m ³ /s	Dimensi Saluran		Elevasi dasar saluran (m)	Tinggi Air (m)	Tinggi Luapan air di atas tanggul (m)	Potensi
				Lebar	Tinggi				
				B	H				
1	Kampung Buton	0,44	0,86	1,30	0,70	29,7	4,17	3,47	Banjir
2	BDS 2	0,12	0,89	1,00	0,50	22,0	4,29	3,79	Banjir
3	BDS 1 Segmen 2	0,27	1,03	1,60	1,00	17,2	4,25	3,25	Banjir
4	BDS 1 Segmen 1	0,96	1,64	2,00	1,50	11,5	4,22	2,72	Banjir
5	Posindo	2,46	0,74	2,00	1,50	6,0	4,02	2,52	Banjir
6	Manunggal Selatan	2,82	0,38	2,00	1,50	6,0	2,90	1,40	Banjir
7	Inhutani (Muara)	Tidak Dianalisis		4,00	2,20	5,3	Tidak Dianalisis		

**Gambar 6.** Skematik Model Sistem Saluran dengan elevasi dasar saluran di Wilayah Studi

Di sisi lain, seperti yang terlihat pada skematik saluran pada **Gambar 6**, tinggi saluran pada muara sub-DAS Posindo yaitu saluran inhutani memiliki elevasi dasar sebesar 5,3 m dibandingkan dengan elevasi dasar saluran Manunggal Selatan sebesar 6,0 m. Dengan demikian, perubahan dimensi lebar dan tinggi saluran masih memungkinkan dilakukan untuk meningkatkan debit aliran saluran-saluran pada sub-DAS Posindo ini.

3.5. Perumusan Skenario Penanganan Banjir Berdasarkan Optimalisasi Penyediaan Infrastruktur Hijau

Kondisi eksisting menunjukkan potensi adanya luapan air yang tidak tertampung oleh saluran eksisting di setiap segmen saluran. Dari dimensi saluran yang ada dapat diketahui bahwa tipe saluran sekunder di sub-DAS Posindo kurang memadai sehingga tidak mampu mengalirkan limpasan air secara keseluruhan. Oleh karena itu, penanganan banjir dapat dilakukan dengan simulasi pengaruh kondisi komponen hidrologi dan hidrolika terutama pada lingkup infrastruktur hijau.

Infrastruktur hijau dapat digunakan untuk mengelola debit curah hujan yang terjadi karena perkembangan perkotaan dan peningkatan lapisan kedap air [16]. Infrastruktur hijau digunakan sebagai pendekatan holistik untuk pembangunan berkelanjutan yang berorientasi pada pertimbangan

penyediaan zona hijau, area terbuka, dan kawasan alami sebagai sistem yang saling berhubungan untuk mengoptimalkan jasa ekosistem [17][18].

Dalam penanganan banjir infrastruktur hijau dapat disediakan dengan penyediaan sarana perkotaan yang mendukung sistem kawasan alami seperti sistem jaringan RTH yang terstruktur dan daerah tangkapan air berupa situ/waduk/danau. Dengan demikian, melalui pendekatan infrastruktur hijau analisis penanganan banjir di sub-DAS Posindo dapat dilakukan dengan beberapa skenario penanganan pada setiap segmen dengan perlakuan berbeda antara lain:

1. Skenario 1 (S1): Perubahan dimensi saluran sekunder

Skenario pertama yang perlu diselidiki adalah penanganan banjir dengan mengubah dimensi saluran sehingga kemampuan tampungan sistem drainase di wilayah studi semakin meningkat. Berdasarkan karakteristik saluran di lapangan bahwa dimensi saluran hulu lebih kecil dari pada saluran hilir serta debit hidrologi yang ada hampir 2 kali lipat dari debit saluran sehingga skenario ini terbagi menjadi perubahan dimensi kelompok hulu dan hilir dan ditingkatkan dua kali lipat dari dimensi eksisting. Dimensi saluran kelompok hulu adalah segmen saluran BDS 2, Kampung Buton, dan BDS 1 Segmen 2 akan ditingkatkan menjadi 2x1 m. Sedangkan Saluran hilir terdiri dari 3 saluran yaitu BDS 1 Segmen 1, segmen saluran Posindo dan Manunggal Selatan akan ditingkatkan menjadi 3x2 m.

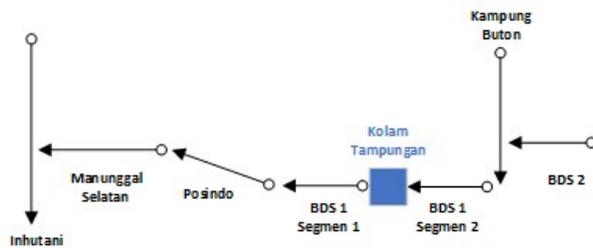
Perubahan dimensi kedalaman saluran masih memungkinkan dilakukan karena elevasi saluran yang ditinjau masih lebih tinggi daripada elevasi saluran muara yaitu saluran Inhutani. Elevasi dasar saluran eksisting saluran hulu sub-DAS Posindo adalah 6 meter yaitu pada saluran Manunggal Selatan dengan kedalaman tanggul eksisting sebesar 1,5 m. Sedangkan elevasi dasar saluran muara, Saluran Inhutani adalah 5,3 meter dengan kedalaman tanggul sebesar 2,2 meter. Dengan demikian, pada skenario S1 saluran yang ditinjau masih memiliki selisih elevasi sebesar 0,2 meter dengan saluran muara.

2. Skenario 2 (S2) dan Skenario 3 (S3): mempertahankan ruang terbuka hijau sebesar 10% dan 20%

Sesuai dengan amanat Undang-Undang Nomor 26 Tahun 2007 bahwa setiap wilayah perlu menyediakan RTH sebesar 30% yang terdiri dari 20% penyediaan RTH publik dan 10% RTH privat. Oleh karena itu, dalam penanganan banjir di wilayah studi juga perlu disimulasikan saat RTH pada masing-masing DTA dapat dipertahankan. Skenario pesimis digunakan dengan kondisi wilayah studi hanya cukup memiliki RTH privat dengan proporsi sebesar 10% luas wilayah (skenario 2). Di sisi lain skenario optimis juga disimulasikan dengan kondisi penyediaan RTH publik sebesar 20% dipertahankan (skenario 3). Pada skenario 2 dan 3 ini setiap segmen diberlakukan sama dengan dimensi saluran di setiap segmen tetap seperti pada kondisi eksisting.

3. Skenario 4: Pembangunan bendali/kolam tampungan

Besaran debit hidrologi yang terjadi di wilayah studi menunjukkan bahwa debit terbesar terjadi pada daerah hulu. Namun, kondisi eksisting menunjukkan bahwa banjir selalu terjadi pada daerah hilir yang berarti limpasan air terakumulasi pada daerah hilir akibat tundaan aliran ke saluran muara. Dengan demikian, pembangunan bendali di daerah penghubung antara hulu dan hilir dapat menjadi salah satu alternatif dalam penanganan banjir. Berdasarkan observasi kondisi eksisting dan ketersediaan lahan yang layak dan belum terbangun, lokasi bendali yang dapat dibangun adalah di segmen BDS 1 seluas 1,67 ha. Dengan demikian, maka sistem aliran akan berubah menjadi seperti pada Gambar 7 meskipun dimensi saluran tetap seperti pada kondisi eksisting. Pada skenario ini dimensi saluran pada setiap segmen tetap dan rasio tutupan lahan pada segmen BDS 1 berubah akibat pembangunan bendali.



Gambar 7. Skematik Sistem Saluran Dengan Skenario Penyediaan Kolam Tampungan/Bendali

4. Skenario gabungan

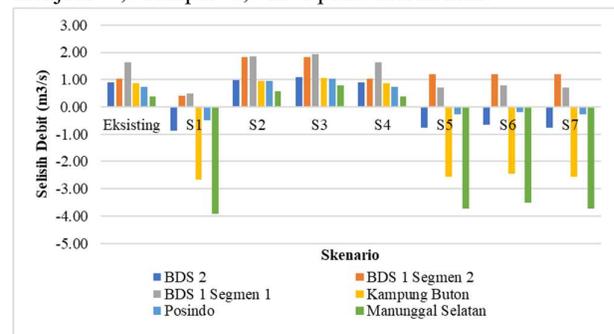
Skenario gabungan merupakan penanganan banjir dengan mengintegrasikan penyediaan sarana infrastruktur hijau yang dapat dioptimalkan di wilayah studi. Perlakuan pada setiap segmen mengikuti asumsi yang digunakan pada skenario

parsial. Beberapa skenario gabungan yang dapat dilakukan antara lain:

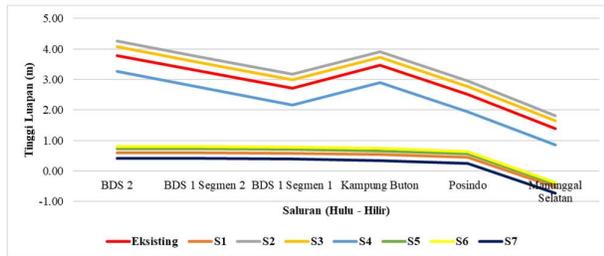
- Skenario 5 (S5): pelebaran saluran dan mempertahankan RTH 10%
- Skenario 6 (S6): pelebaran saluran dan mempertahankan RTH 20%
- Skenario 7 (S7): pelebaran saluran, mempertahankan RTH 10% dan penyediaan kolam tampungan

Beberapa skenario di atas dapat mengubah debit hidrologi atau debit limpasan dan debit kapasitas saluran atau debit hidrolika. Skenario 1 hanya akan berdampak pada perubahan debit kapasitas saluran sedangkan skenario 2, 3, dan 4 berdampak pada perubahan debit hidrologi di setiap DTA. Berbeda dengan skenario tunggal, pada skenario gabungan mengubah kedua debit karena adanya perubahan dimensi saluran dan proporsi tutupan lahan.

Gambar 8 menunjukkan hasil analisis selisih debit yang terjadi saat diterapkan setiap skenario di wilayah studi. Hasil analisis menunjukkan bahwa perubahan dimensi saluran saja cukup untuk menangani banjir eksisting terutama pada daerah hilir yang ditunjukkan oleh selisih debit negatif atau daya tampung saluran lebih besar daripada limpasan yang terjadi. Hasil skenario 1 ini sangat sulit karena hanya menangani banjir pada tahun sekarang dan mengasumsikan tidak lagi terjadi perubahan tutupan lahan dari non terbangun menjadi terbangun. Pembangunan kawasan terbangun di wilayah ini masih terus terjadi sehingga dapat dipastikan bahwa koefisien pengaliran DTA akan meningkat. Di samping itu, debit limpasan juga sangat signifikan berkurang dengan penerapan skenario gabungan terutama pada S5 dan S7 yang masih memungkinkan adanya perubahan tutupan lahan di wilayah studi pada masa mendatang dengan tetap mempertahankan RTH minimal sebesar 10% per DTA. Dengan skenario ini selisih debit limpasan dan saluran berkisar 0,6 sampai 1 m³/s pada daerah hulu dan menurun signifikan menjadi -3,5 sampai -0,3 m³/s pada daerah hilir.



Gambar 8. Selisih debit hidrologi dan hidrolika setiap Skenario pada setiap DTA



Gambar 9. Perbandingan Tinggi Luapan di Atas Tanggul Pada Setiap Segmen Saluran

Meskipun debit luapan air dapat berkurang signifikan terutama pada penerapan skenario 1 dan skenario gabungan tetapi perlu ditinjau perbandingan tinggi saluran yang ada dengan tinggi air limpasan yang terjadi sehingga dapat diketahui potensi terjadinya luapan dan besaran tinggi luapan. Hasil permodelan Hec-Ras juga menunjukkan tinggi luapan di atas tanggul yang terjadi di setiap DTA pada penerapan skenario-skenario penanganan banjir dapat diidentifikasi dari hasil permodelan Hec-Ras yang disajikan pada **Gambar 9**.

Berdasarkan gambar di atas diketahui perbandingan besarnya tinggi banjir antara kondisi eksisting di Sub-DAS Posindo dengan beberapa penerapan skenario penanganan. Pada kondisi skenario perubahan dimensi saluran terjadi penurunan tinggi luapan banjir dari tanggul saluran yang cukup signifikan hingga mencapai 0,6 m di daerah hulu dan tidak ada luapan di daerah hilir. Kondisi yang mirip juga terjadi pada saat diterapkan skenario pelebaran saluran dan mempertahankan ruang terbuka hijau minimal 10%. Pada skenario perubahan luas ruang terbuka hijau memiliki hasil yang berbeda yaitu terjadi peningkatan tinggi luapan di atas tanggul daripada kondisi eksisting. Hal ini dikarenakan oleh adanya pengurangan luas RTH dari luas pada kondisi eksisting pada skenario ini. Artinya, lahan RTH yang berkurang akan meningkatkan limpasan sehingga kebutuhan RTH sangatlah penting.

Dari skenario tunggal yang telah dianalisis, dilakukan analisis skenario gabungan antara perubahan dimensi, pembangunan bendali, dan perubahan ruang terbuka hijau. Dari hasil analisis skenario gabungan ini diperoleh hasil yang paling efektif menurunkan debit dan tinggi luapan banjir adalah dengan skenario gabungan terakhir, melebarkan dimensi saluran ditambah dengan pembangunan bendali dan tetap mempertahankan RTH minimal sebesar 10%. Dengan skenario ini limpasan air di wilayah subDAS Posindo mampu tertampung dan teralirkan oleh saluran yang telah ditingkatkan. Meskipun pada gambar di atas menunjukkan masih berpotensi terjadi luapan, tetapi luapan yang terjadi berada di

daerah tengah yang kurang dari 0,5 m dan pada daerah hilir terjadi surplus.

4. Kesimpulan

Hasil analisis menunjukkan bahwa pada kondisi eksisting kondisi banjir di sub-DAS Posindo merupakan akumulasi luapan dari saluran hulu. Hasil evaluasi kapasitas saluran eksisting diketahui bahwa terjadi debit luapan di atas tanggul sebesar 0,38 – 1,64 m³/s. Untuk mengurangi genangan ini perlu memperhatikan strategi penanganan yang berbasis infrastruktur hijau dan selisih elevasi saluran hulu dan saluran muara pada sub-DAS Posindo. Beberapa strategi penanganan yang memungkinkan adalah perubahan dimensi saluran kelompok hulu dan hilir, penyediaan RTH, dan skenario gabungan. Dengan membandingkan hasil selisih debit hidrologi dan hidrolika di setiap skenario yang mungkin diterapkan diketahui bahwa skenario yang optimal untuk menangani banjir di wilayah sub-DAS Posindo berdasarkan optimalisasi penyediaan infrastruktur hijau adalah dengan skenario gabungan S7 dengan kondisi sebagai berikut:

1. Mempertahankan penyediaan ruang hijau minimal sebesar 10% per DTA
2. Perubahan dimensi saluran segi empat pada segmen hulu dengan lebar (B) x Tinggi (H) minimal sebesar 2 x 1 m.
3. Perubahan dimensi saluran segi empat pada segmen hilir dengan lebar (B) x Tinggi (H) minimal sebesar 3 x 2 m.
4. Pembangunan bendali seluas 1,67 ha pada penghubung daerah hulu dan hilir.

Daftar Pustaka

- [1] Setiawan, E. Bahtiar, Yusran, Fadly H., Razie, F., Mustika, R. 2015. Zonasi Tingkat Kerentanan Banjir Di Kota Banjar Baru Kalimantan Selatan. *Jurnal EnviroScienteeae* Vol. 11 Nomor 3 November 2015
- [2] Wismarini, T.D., Ningsih, Untari D.H. 2010. Analisis Sistem Drainase Kota Semarang Berbasis Sistem Informasi Geografis Dalam Membantu Pengambilan Keputusan Bagi Penanganan Banjir. *Jurnal Teknologi Informasi DINAMIK* Vol. XV No. 1 Januari 2010
- [3] Setyawan, A., Puri, A., Harmiyati. 2018. Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Saluran Drainase Jalan Arifin Ahmad Pada Ruas Antara Jalan Rambutun Dengan Jalan Paus Ujung Di Kota Pekanbaru. *Jurnal Saintis* Vol. 18 No. 2 Oktober 2018.
- [4] <https://bnpb.go.id/berita/banjir-melanda-balikpapan>. Diakses pada 10 November 2020
- [5] <https://kaltim.tribunnews.com/2020/06/05/banjir-di-balikpapan-tiga-unit-rumah-di-perumahan-posindo>

- balikpapan-selatan-rusak-parah. diakses pada 10 November 2020
- [6] <https://www.inibalikpapan.com/penanggulangan-banjir-di-balikpapan-butuh-ratusan-miliar>. diakses pada 10 November 2020
- [7] Standar Nasional Indonesia (SNI) 2415 Tahun 2016 Tentang Tata Cara Perhitungan Debit banjir.
- [8] U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. 2001. User's Manual, Hydrologic Modeling System HEC-HMS, Davis. California
- [9] Affandy, NA, *Pemodelan Hujan-Debit Menggunakan Model Hec-Hms Di Das Sampean Baru*, Jurusan Teknik Sipil- FTSP-ITS, 2011
- [10] L. F. Ideawati, L. M. Limantara, U, Andawayanti. "Analisis Perubahan Bilangan Kurva Aliran Permukaan (Runoff Curve Number) Terhadap Debit Banjir Di DAS Lesti" *Jurnal Pengairan Universitas Brawijaya* Vol. 6, No. 1 Tahun 2015.
- [11] Bambang Triatmodjo, *Hidrologi Terapan*, Yogyakarta: Beta Offset, 2008.
- [12] U.S. Army Corps of Engineers Hydrologic Engineering Center. 2004. User's Manual, HECRAS River Analysis System, Davis. California
- [13] Qaryatullailiyah. 2015. *Analisa Pengaruh Tampung Terhadap Pengendalian Banjir Dan Penyediaan Air Baku Pada Daerah Aliran Sungai (Das) kemuning - Sampang*. Jurusan Teknik Sipil- FTSP-ITS, 2015.
- [14] Sudamara, Yoktan. 2012. *Optimasi Penanggulangan Bencana Banjir Di Kota Manado Dengan Metode Ahp (Analytical Hierarchy Process)*. *Jurnal Ilmiah Media Engineering* Vol. 2 Nomor 4 November 2012.
- [15] Lubis, Fadrizal. 2016. *Analisa Frekuensi Curah Hujan Terhadap Kemampuan Drainase Permukiman Di Kecamatan Kandis*. *Jurnal Teknik Sipil Siklus* Vo. 2 No. 1 April 2016.
- [16] Lovell, S.T.; Taylor, J.R. *Supplying Urban Ecosystem Services through Multifunctional Green Infrastructure in the United States*. *Landsc. Ecol.* 2013, 28, 1447–1463
- [17] Kim, D.; Song, S.-K. *The Multifunctional Benefits of Green Infrastructure in Community Development: An Analytical Review Based on 447 Cases*. *Sustainability* 2019, 11, 3917.
- [18] Hannah, Wright. 2011. *Understanding green infrastructure: the development of a contested concept in England*, *Local Environment*, 16:10, 1003-1019, DOI: 10.1080/13549839.2011.631993.