



Optimalisasi Penerapan Kebijakan Zero Delta Q Policy dalam Skala Perumahan di Balikpapan

Rossana Margaret Kadar Yanti¹, Maryo Inri Pratama^{2,*}, Riyan Benny Sukmara¹, Salsabila Anisa¹, Dewi Maulita³

¹ Program Studi Teknik Sipil, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Kalimantan.

² Program Studi Perencanaan Wilayah dan Kota, Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Institut Teknologi Kalimantan

³ Direktorat Jenderal Cipta Karya, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat

*Corresponding author: maryo.inri@lecturer.itk.ac.id

Diterima 02 April 2022 | Disetujui 03 Juli 2022 | Diterbitkan 22 Agustus 2022

DOI <https://doi.org/10.35718/compact.v1i1.736>

Abstrak

Alih fungsi kawasan hijau menjadi perumahan Daun Village Balikpapan diduga merupakan salah satu faktor yang menyebabkan peningkatan debit pada saluran sekunder Balikpapan Baru dan Syarifuddin Yoes. Berbagai upaya pengembang perumahan dalam mengatasi masalah ini dengan membangun kolam tampung untuk menampung kelebihan debit tidak cukup untuk menampung seluruh peningkatan debit yang terjadi sehingga tidak sesuai dengan Prinsip Zero Delta Q (ZDQP). Diperlukan penerapan ZDQP yang lebih komprehensif untuk mengurangi dampak pembangunan perumahan ini. Penelitian ini dilakukan dengan melakukan analisis curah hujan harian maksimum 20 tahun terakhir, analisis perubahan debit, dan analisis skenario penerapan ZDQP untuk mendapatkan debit banjir yang sama sebelum dan setelah pembangunan. Metode yang digunakan untuk mengurangi dampak banjir adalah optimalisasi kolam tampung, penerapan lubang resapan biopori dan penambahan kolam tampung, yang mengurangi debit banjir pada wilayah catchment Sub-DAS Balikpapan Baru dan Sub-DAS Syarifuddin Yoes sebesar 4,21 m³/det dan 0,38 m³/det. Implementasi ZDQP pada skenario ini menghasilkan debit setelah rencana yang besarnya sama dengan debit sebelum pembangunan, sehingga pembangunan tidak menambah beban saluran drainase kota.

Kata-kunci : Debit, Perumahan, Zero Delta Q

Optimization of the Implementation of The Zero Delta Q Policy to Reduce Surface Runoff on Housing Area in Balikpapan

Abstract

The conversion of the green area into the Daun Village Balikpapan housing is thought to be one of the factors causing the increase in discharge in the Balikpapan Baru and Syarifuddin Yoes secondary channels. The housing developer's efforts in overcoming this problem is by building a retention pool to temporarily accommodate the excess discharge. However, this retention pond is not enough to accommodate the discharge generated by housing, so it is not in accordance with the Zero Delta Q Policy (ZDQP). Therefore, another more comprehensive implementation of ZDQP is needed to reduce the impact of this housing development. This research was conducted by analyzing the maximum daily rainfall for the last 20 years, analysis of changes in discharge, and scenario analysis of the application of ZDQP to obtain the same flood discharge before and after construction. The method used to reduce the impact of flooding is optimization of the reservoir, application of biopori infiltration holes and the addition of a holding pond, which reduces flood discharge in the catchment areas of the Balikpapan Baru Sub-watershed and Syarifuddin Yoes Sub-watershed by 4.21 m³/s and 0.38 m³/sec. The implementation of ZDQP in this scenario produces a discharge after the plan which is equal to the discharge before construction, so that the construction does not add to the burden of the city's drainage channels.

Keywords : Discharge, Housing, Zero Delta Q Policy

A. Pendahuluan

Kota Balikpapan, pintu gerbang Kalimantan Timur, memiliki luas sebesar 50.330 hektare dan pada tahun 2020 mengalami pertumbuhan penduduk sebesar 2,06% setara dengan 13,893 jiwa, sehingga jumlah total penduduk Kota Balikpapan tahun 2020 adalah sebesar 688,318 jiwa (Badan Pusat Statistika Kota Balikpapan, 2021). Kondisi pertumbuhan penduduk ini diprediksi akan terus meningkat akibat banyak faktor, khususnya akibat perpindahan ibu kota negara Indonesia ke kabupaten Penajam Paser Utara yang berbatasan langsung dengan Kota ini. Pertumbuhan penduduk yang pesat ini secara langsung akan meningkatkan jumlah kebutuhan bangunan tempat tinggal. Kepala Dinas Perumahan dan Permukiman Kota Balikpapan memperkirakan kebutuhan rumah di Kota Balikpapan hingga tahun 2024 mencapai 12.000 unit. meliputi rumah tipe menengah atas, menengah, dan rumah swadaya penduduk. Pembangunan kawasan perumahan oleh pengembang dan penduduk yang ada di kota Balikpapan ini akan mengakibatkan alih fungsi lahan yang awalnya adalah lahan terbuka menjadi area perumahan (Ghozali et al, 2019).

Beralihnya fungsi lahan terbuka hijau menjadi area perumahan akan menyebabkan berkurangnya luasan resapan air hujan (Purwantara, 2015; Recanatesi et al, 2017; Qin, 2020). Air hujan yang semula dengan mudah meresap di area terbuka hijau, akan tertahan dan mengalir sebagai aliran permukaan dan mengakibatkan meningkatnya angka koefisien limpasan (Hu et al, 2018; Rahardjo et al, 2019; Wang et al, 2019), menyebabkan bertambahnya jumlah debit limpasan yang akan mengalir ke saluran drainase kota (Vermonden et al, 2012), yang pada gilirannya menyebabkan banjir (Tellman et al, 2016; Julian et al, 2019; Pratama et al, 2021; Farid et al, 2022). Kondisi banjir ini sudah kerap kali dialami oleh saluran drainase kota Balikpapan khususnya di saluran sekunder Balikpapan Baru yang berada di wilayah Sub Daerah Aliran Sungai (Sub-DAS) Balikpapan Baru dan saluran sekunder Syarifuddin Yoes yang berada di wilayah Sub-DAS Syarifuddin Yoes. Sebelum maraknya pembangunan di kawasan ini, tidak pernah terjadi luapan pada saluran sekunder Balikpapan Baru dan mengakibatkan banjir yang mengganggu aktifitas masyarakat. Hal yang berbeda terjadi setelah kawasan ini mulai dibangun secara masif, dimana luapan mulai terjadi dan menimbulkan banjir.

Salah satu pembangunan yang sedang dilaksanakan adalah pembangunan kawasan perumahan Daun Village, dimana sejak tahun 2010, terjadi pengalih fungsian lahan terbuka sebesar 144,665 m² menjadi kawasan perumahan. Peralihan fungsi lahan ini, bila tidak ditangani dengan baik oleh pihak pengembang, diperkirakan menimbulkan dampak permasalahan banjir di wilayah Sub-DAS Balikpapan Baru dan wilayah Sub-DAS Syarifuddin Yoes. Berbagai upaya untuk meminimalisir dampak permasalahan banjir yang akan diakibatkan oleh peralihan fungsi lahan telah dilakukan pihak pengembang perumahan Daun Village, salah satunya berupa pembangunan kolam tampung seluas 3673 m². Kolam tampung ini digunakan untuk menampung selisih debit limpasan yang diakibatkan peralihan fungsi lahan terbuka yang menjadi kawasan perumahan Daun Village. Upaya perencanaan kolam tampung ini merupakan salah satu penerapan upaya pencegahan banjir yaitu prinsip Zero Delta Q Policy (ZDQP).

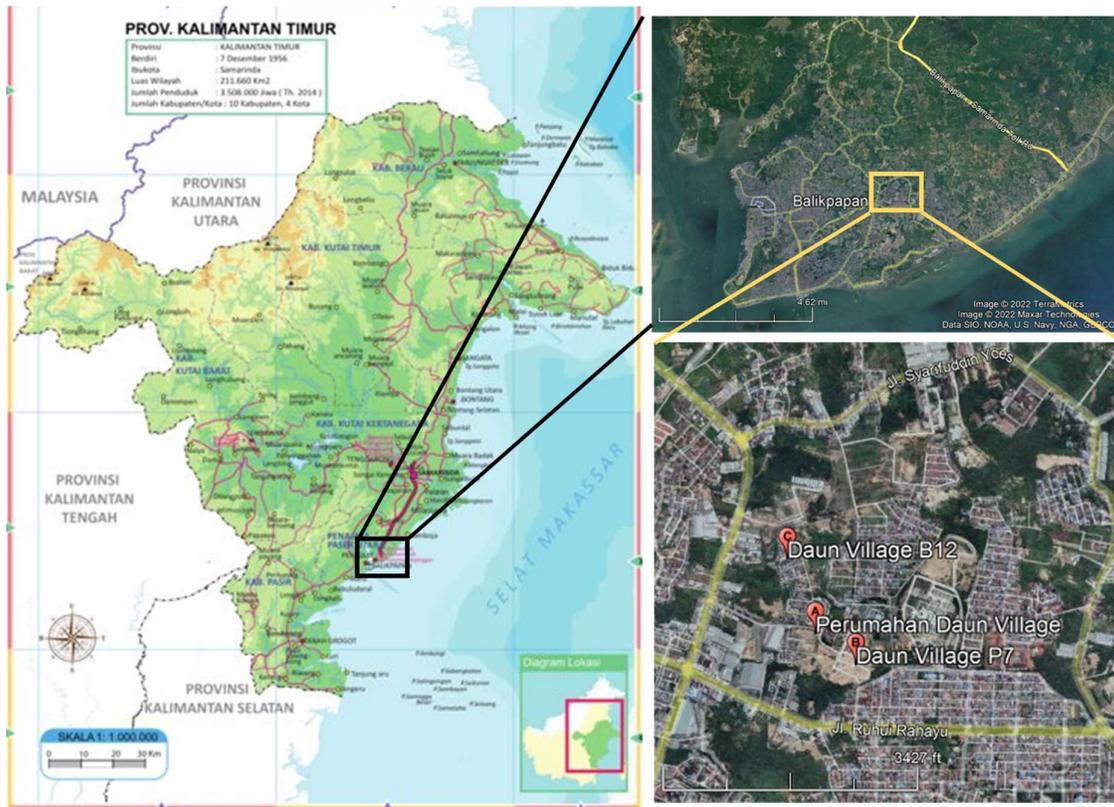
ZDQP adalah upaya yang dilakukan dengan tujuan mencegah peningkatan debit akibat pembangunan perumahan (Indriatmoko, 2010). Kebijakan prinsip ZDQP ini tertuang dalam Peraturan Pemerintah no. 26 Tahun 2008 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional, yang mewajibkan setiap bangunan wajib tidak mengakibatkan peningkatan debit limpasan ke sistem drainase kota maupun sistem aliran sungai. Artinya debit air akibat konstruksi (tambahan limpasan akibat pembangunan perumahan) harus ditahan sedemikian rupa sehingga selisih debit (ΔQ) adalah nol. Pada kenyataannya, pembangunan perumahan Daun Village menyebabkan peningkatan debit limpasan yang membebani saluran sekunder Balikpapan Baru. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan prinsip ZDQP berupa kolam tampungan yang telah direncanakan masih belum optimal. Agar prinsip ZDQP dapat diterapkan secara optimal pada perumahan Daun Village, maka perlu dilakukan penerapan inovasi prinsip ZDQP lainnya seperti Sumur Resapan Air Hujan (SRAP) dan Lubang Resapan Biopori (LRB).

Penelitian ini diharapkan dapat membantu mengatasi permasalahan banjir yang terjadi di kawasan sub-DAS Balikpapan Baru dan sub-DAS Syarifuddin Yoes akibat pembangunan perumahan Daun Village. Penelitian ini akan menerapkan prinsip ZDQP dimana selisih debit limpasan yang akan dianalisis akan menjadi debit banjir yang direncanakan pada penerapan ZDQP yaitu SRAP dan LRB. Penerapan ZDQP berupa SRAP dan LRB merupakan inovasi yang dapat menjadi solusi untuk memaksimalkan fungsi waduk yang telah dibangun di perumahan Desa Daun untuk mengatasi permasalahan banjir di kawasan Sub DAS Balikpapan Baru dan Daerah Sub DAS Syarifuddin Yoes.

B. Metode dan Material

Lokasi Penelitian dilaksanakan pada proyek perumahan Daun Village yang termasuk ke dalam Daerah Aliran Sungai

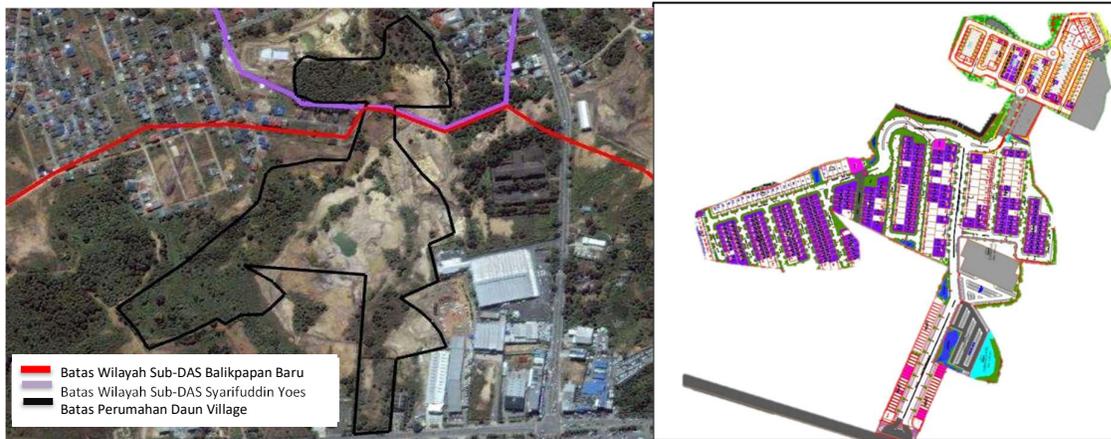
(DAS) Ampal, kota Balikpapan. DAS Ampal memiliki luas sebesar 2670.32 ha dengan sungai utama Sungai Ampal yang memiliki panjang 4.66 km. Kota Balikpapan, secara astronomis terletak pada 1.0'-1.5' Lintang Selatan dan 116.5'-117 Bujur Timur. 60.9% wilayah kota ini terletak pada ketinggian lebih dari 20 m, dan 25% berada pada ketinggian kurang dari 10 m. Kota Balikpapan memiliki iklim tropis dengan hujan sepanjang tahun. Suhu udara rata-rata tertinggi biasa terjadi pada bulan April-Mei dengan 27,8 derajat celsius dan terendah pada bulan Juni - September dengan 27.2 derajat celsius. Curah hujan tertinggi pada tahun 2020 tercatat pada bulan Juni dengan 545.6 mm dan terendah pada bulan Januari dengan 158.1 mm. Sebagian besar jenis tanah Balikpapan terdiri dari podsolik merah-kuning, aluvial, dan pasir kuarsa yang mudah tererosi. Lokasi penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

Data Siteplan perumahan Daun Village digunakan untuk menentukan luas dan jenis lahan didapatkan melalui Dinas Perumahan Rakyat dan Kawasan Permukiman yang dapat dilihat pada **Gambar 2**. Data hidrologi berupa data curah hujan harian yang digunakan pada analisis hidrologi didapatkan melalui Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) Kota Balikpapan. Peta geologi yang berisikan informasi berupa jenis dan sebaran batuan yang akan digunakan pada analisis SRAP dan analisis LRB dalam menentukan koefisien permeabilitas didapatkan melalui Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Bandung. Data dimensi penampang saluran sekunder Balikpapan Baru merupakan data primer yang didapatkan dengan melakukan survey lapangan.

Penelitian ini dilakukan dengan mengkaji kondisi yang terjadi di lingkungan masyarakat khususnya di Kota Balikpapan. Penelitian dibagi menjadi 3 bagian besar : Analisis curah hujan, analisis perubahan debit dan analisis implementasi ZDPQ. Analisis curah hujan yang terdiri dari analisis statistika dan analisis intensitas dilakukan untuk memperkirakan besarnya intensitas curah hujan penyebab banjir pada periode ulang yang sesuai dengan perencanaan drainase. Selanjutnya dilakukan analisis perubahan debit banjir yang diakibatkan oleh perubahan tutupan lahan sebelum dan setelah dilakukan pembangunan wilayah hingga akhirnya didapatkan selisih debit limpasan akibat pembangunan perumahan. Selanjutnya dilakukan analisis alternatif pola implementasi ZDPQ yang berupa besarnya dimensi SRAP dan jumlah LRB untuk menampung selisih debit limpasan.



Gambar 2a (kiri). Kondisi Lahan Sebelum Pembangunan.
Gambar 2b (kanan). Siteplan Perumah Pada Akhir Pembangunan.

1. Tutupan Lahan dan Koefisien Limpasan

Tutupan lahan merupakan salah satu faktor yang sangat menentukan respon hidrologi suatu DAS (Giudice, 2012; Rodríguez-Blanco et al, 2012; Wang et al, 2014; Mustafa & Szydlowski, 2020). Besarnya pengaruh tutupan lahan terhadap besarnya limpasan yang dibangkitkan dikuantifikasi dalam nilai koefisien limpasan yang dipengaruhi oleh sifat dan kondisi tanah (Lemma, 2018; Liu et al, 2018; Ghiglieri, 2018; Baiamonte, 2019;). Koefisien limpasan yang diklasifikasikan menurut jenis tanah dan tutupan lahan dapat dilihat pada **Tabel 1** (AECOM et al, 2001).

Nilai koefisien limpasan suatu area yang terdiri dari lebih dari 1 jenis tanah dan tutupan didapatkan dengan koefisien limpasan permukaan komposit pada persamaan (1).

$$C = \frac{\sum_{i=1}^n C_i A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \tag{1}$$

Table 1. Koefisien limpasan

Penggunaan Lahan	C	Penggunaan Lahan	C
Halaman Industri		Kawasan Industri	
Tanah berpasir, landai, 2%	0,10	Ringan	0,70
Tanah berpasir, rata-rata, 2-7%	0,13	Berat	0,80
Tanah berpasir, curam, > 7%	0,20	Taman, Kuburan	0,25
Tanah lempung, landai, 2 %	0,17	Taman bermain	0,35
Tanah lempung, sedang, 2-7 %	0,22	Rel kereta api	0,40
Tanah lempung, curam, > 7 %	0,35	Jalan	
Hutan/Bervegetasi	0,10	Aspal dan Beton	0,95
Perkantoran		Batu bata 0,85	
Perkotaan	0,95	Trotoar dan Atap	0,95
Pinggiran	0,70	Daerah berkerikil	0,50
Perumahan		Tanah kosong (tidak ada penutup berupa tanaman)	
Permukiman (Rumah tinggal)	0,50	Tanah berpasir, landai, 0-5 %	0,30
Multi-unit, terpisah	0,60	Tanah berpasir, sedang, 5-10%	0,40
Multi-unit, tergabung	0,75	Tanah lempung, landai, 0-5 %	0,50
Permukiman (Perkampungan)	0,40	Tanah lempung, sedang, 5-10%	0,60
Apartmen	0,70		

2. Model Hidrologi

Intensitas hujan adalah besarnya hujan yang dinyatakan dalam ketinggian hujan per satuan waktu. Semakin singkat durasi hujan berlangsung maka semakin besar pula intensitas (Suripin, 2004). Besarnya intensitas hujan bervariasi tergantung pada durasi hujan dan frekuensi kemunculannya, dan secara langsung berpengaruh pada besarnya debit rencana yang digunakan. Besarnya intensitas hujan didekati dengan metode Mononobe pada persamaan (2).

$$I = \frac{R24}{24} x \left(\frac{24}{T}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (2)$$

dengan I adalah intensitas hujan (mm/jam), R24 adalah hujan maksimum dalam 24 jam (mm), dan T adalah lamanya curah hujan (jam).

Untuk menentukan besarnya debit yang dibangkitkan oleh hujan yang terjadi, rumus debit rasional umum digunakan dikarenakan memerlukan parameter yang sedikit dan mudah diestimasi, namun tetap memberikan hasil yang memuaskan dengan luasan DAS kecil (AECOM, 2001). Besarnya debit didekati dengan rumus rasional seperti ditunjukkan pada persamaan (3).

$$Q_{a,b} = C_{a,b} \cdot I \cdot A \quad (3)$$

Dimana A adalah luas DAS (km²) kurang dari 300 ha. Besarnya volume hujan yang dibangkitkan dapat diturunkan ke dalam persamaan (4) dan (5).

$$Q_{inflow} = \frac{tn}{tc} x Q \quad (4)$$

$$\text{Volume} = \frac{1}{2} x (t_n - t_{n-1}) - (Q_{inflow\ n} + Q_{inflow\ n-1}) \quad (5)$$

Dimana Qinflow adalah debit banjir yang masuk ke dalam sistem (m³/det), tn waktu ke-n pada setelah memasuki waktu konsentrasi (jam) dan tc adalah waktu konsentrasi (jam) yang diperlukan oleh titik air hujan yang jatuh pada area yang mengalir ke saluran terdekat ditambah dengan waktu air mengalir sepanjang bagian drainase yang ditinjau, ditunjukkan pada persamaan (6).

$$tc = to + tl = 1.44 x \frac{n_d l_s}{s^{0.5}} + \frac{l}{v} \quad (6)$$

dengan to adalah waktu rambat air di permukaan area (jam), tl adalah waktu aliran air di saluran (jam), nd adalah kekasaran dasar, ls adalah panjang lintasan air (m), s adalah kemiringan lahan, l adalah panjang saluran (m) dan v adalah kecepatan aliran di drainase (m/det).

3. Zero Delta Q Policy

ZDQP merupakan salah satu pendekatan Low Impact Development yang menitik beratkan efek pembangunan terhadap bangkitan debit guna mencegah terjadinya banjir (Ahiablame et al, 2012; Huang et al, 2018; Wu et al, 2018). ZDQP termuat pada Peraturan Pemerintah No.26 Tahun 2008 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional yang mensyaratkan keharusan agar setiap penambahan bangunan tidak mengakibatkan penambahan debit air limpasan setelah mengalami pengalihan fungsi lahan. Peralihan fungsi lahan mengakibatkan peningkatan angka koefisien limpasan yang akan menambah nilai debit limpasan. Prinsip ini dioptimalkan dengan pemanfaatan ruang secara terbatas untuk kegiatan budidaya tidak terbangun yang memiliki kemampuan tinggi dalam menahan limpasan air hujan. Perhitungan selisih debit pada ZDQP dapat dilihat pada persamaan (7).

$$\Delta Q = Q_a - Q_b \quad (7)$$

Dimana Qa adalah debit limpasan setelah pembangunan perumahan selesai (m³/det) dan Qb adalah debit limpasan sebelum dilakukan pembangunan perumahan (m³/det).

4. Kolam Tampung

Kolam tampung merupakan prasarana drainase yang berwawasan lingkungan berfungsi sebagai kolam yang

dapat menampung sementara air hujan di suatu wilayah. Kolam tampung ini dapat digunakan sebagai sistem pengendali debit yang akan dilimpahkan ke suatu daerah dengan menampung sementara limpasan yang terjadi, menampung beberapa volume hujan, dan memperpanjang waktu konsentrasi sehingga mereduksi debit limpasan yang keluar menuju drainase perkotaan (Despotovic, 2002; Khan, 2013; Keyvanfar, 2021; Luo, 2018; Yanti, 2021). Perhitungan yang dilakukan untuk alternatif kolam tampung dilakukan melalui penelusuran debit inflow pada persamaan (5) dan debit outflow yang dipengaruhi oleh bukaan pintu air yang dioperasikan, ditunjukkan pada persamaan (8).

$$Q_{out} = Cd \cdot b \cdot a \cdot \sqrt{2gh} \quad (8)$$

Dimana Q_{out} adalah debit yang keluar melalui pintu air (m^3/det), Cd koefisien debit yang dipengaruhi bentuk pintu, b adalah lebar pintu (m), a adalah tinggi bukaan pintu (m), h adalah selisih tinggi air di hulu dan hilir pintu (m) dan g adalah percepatan gravitasi (m/det^2).

5. Lubang Resapan Biopori

LRB merupakan pori makro yang berfungsi untuk mempercepat peresapan air ke dalam tanah. LRB dibentuk oleh aktivitas fauna, seperti rayap dan cacing, dan fauna. Manfaat LRB sebagai salah satu alternatif untuk mereduksi banjir adalah dengan menyediakan wadah tampungan dan resapan air ke dalam tanah sehingga tidak menjadi limpasan permukaan yang bisa menyebabkan banjir (GhaffarianHoseini, 2016; Sample, 2014; Walsh, 2014). Besarnya dimensi LRB direncanakan untuk diletakan pada tanah yang seluruhnya porous dengan seluruh dinding sumur permeable dan dasar berbentuk setengah bola ditentukan pada persamaan (9) sedangkan besarnya kapasitas penyerapan dihitung melalui persamaan (10).

$$F = \frac{2\pi H + \pi R \ln \ln 2}{\ln \ln \left(\frac{H + 2R}{3R} + \sqrt{\left(\frac{H}{3R}\right)^2 + 1} \right)} \quad (9)$$

$$Q_{LRB} = F \cdot K \cdot H \quad (10)$$

dengan H adalah kedalaman LRB (m), R adalah Jari-jari LRB (m), F adalah faktor geometrik (m), K adalah koefisien permeabilitas tanah (m/det) dan Q_{LRB} adalah kapasitas penyerapan (m^3/det)

6. Sumur Resapan Air Hujan

Sumur resapan air hujan (SRAP) merupakan prasarana untuk penampungan air hujan dan meresapkan air hujan ke dalam tanah yang sekaligus digunakan untuk pemanenan air hujan (Bahunta & Waspodo, 2019; Sample & Liu, 2014; Wahyuningtyas et al, 2011). Selain dapat menjadi metode tampungan hujan, SRAP juga berfungsi memfilter air sebelum terserap ke dalam tanah, sehingga meningkatkan kualitas air tanah (Beganskas & Fisher 2017; Edwards et al, 2016; Gonzalez-Merchan et al, 2012). Perencanaan SRAP harus memperhatikan kondisi tanah, dimensi setiap sumur, jarak antar sumur dan kondisi bangunan lain sekitar untuk memastikan sumur resapan berfungsi dengan efisien (Boroomandnia et al., 2021; Edwards et al, 2016). Besarnya kapasitas penyerapannya dapat dilihat pada persamaan (11).

$$H = \frac{Q_{SRAP}}{\omega \pi r K} \quad (11)$$

Dimana H adalah kedalaman sumur (m), ω adalah koefisien jenis sumur (2 untuk dinding kedap air, 5 untuk dinding porous), r adalah radius sumur dan Q_{SRAP} adalah debit banjir yang dapat ditampung sumur (m^3/det).

C. Hasil dan Pembahasan

1. Analisis Koefisien Limpasan

Kondisi tutupan lahan Perumahan Daun Village saat belum terbangun terbagi menjadi 2 kategori tutupan lahan dengan koefisien tutupan lahan yang berbeda dengan luasan yang berbeda pula, yaitu 44,409.66 m^2 lahan terbuka kosong dan 75,555 m^2 lahan terbuka hijau, sedangkan pada wilayah sub-DAS Syarifuddin Yoes didapatkan lahan kosong sebesar 7,772 km^2 dan 16,926 m^2 lahan terbuka hijau, sehingga koefisien limpasan komposit kedua sub-DAS didapatkan sebesar

$$Ck_{daunvillage} = \frac{(44,409.66 \times 0.13 + 75,555 \times 0.1)}{44,409.66 + 75,555} = 0.111$$

$$Ck_{syarifuddinyoes} = \frac{(7,772 \times 0.13 + 16,926 \times 0.1)}{7,772 + 16,926} = 0.109$$

Nilai koefisien yang semakin kecil berarti semakin banyak air yang terinfiltrasi ke dalam tanah. Pada koefisien limpasan wilayah catchment Balikpapan Baru, terdapat 11 % yang melimpas di atas permukaan, dan sisanya adalah air yang terinfiltrasi ke dalam tanah. Begitu pula halnya pada koefisien limpasan wilayah catchment Syarifuddin Yoes. Setelah selesainya pembangunan, total sebesar 60,445 m² lahan terbuka hijau, setara lebih dari 65% luasan awal, dikonversi menjadi nilai area terbangunan dalam bentuk bangunan gedung dan jalan. Koefisien limpasan naik menjadi 0.63 untuk Sub-DAS Balikpapan baru dan 0.767 untuk Sub-DAS Syarifuddin Yoes, naik 5-6 kali lipat nilai semula. Besarnya detail jenis tutupan dan koefisien limpasan setelah pembangunan selesai dapat dilihat pada Tabel (2).

Table 2. Koefisien Limpasan Setelah Pembangunan Selesai

Kategori Lahan	C	Luas Sub-DAS Balikpapan Baru (m2)	Luas Sub- DAS Syarifuddin Yoes (m2)
Bangunan	0.75	62145.70	16160.38
Jalan	0.95	27296.68	7024.00
Lahan Terbuka Hijau	0.10	30522.28	1513.62
Ck		0.630	0.767

2. Analisis Peningkatan Besar Bangkitan Debit

Selain mengakibatkan perubahan koefisien limpasan, perubahan tutupan lahan juga mengakibatkan perubahan waktu konsentrasi yang disebabkan oleh menurunnya tingkat kekasaran lintasan air hujan sehingga waktu tempuh air menjadi lebih pendek. Kawasan sebelum terbangun belum memiliki saluran drainase perumahan dan hanya mengalirkan air pada permukaan lahan yang memiliki koefisien hambatan bernilai besar, hal ini menyebabkan nilai waktu konsentrasi akan semakin lambat. Menggunakan persamaan (6), didapatkan perubahan waktu konsentrasi sub-DAS Balikpapan Baru dan sub-DAS Syarifuddin Yoes yang semula sebesar 0.706 jam dan 0.515 jam, menurun menjadi 0.206 jam dan 0.162 jam. Penurunan ini mengakibatkan peningkatan intensitas hujan sebesar 127.25% dan 116.47%, menjadi 194.23 mm dan 228.29 mm, berturut-turut sub-DAS Balikpapan Baru dan sub-DAS Syarifuddin Yoes. Dampak dari kenaikan faktor C dan I terhadap debit (Q) dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Melalui analisis perubahan koefisien limpasan, dapat dilihat bahwa debit banjir yang dibangkitkan akan naik sebesar 12-15 kali lipat, yang mengindikasikan keharusan penerapan ZDQP yang masif guna meminimalisir efek peningkatan bangkitan debit. Peningkatan debit sebesar 3.77 m³/det pada sub-DAS Balikpapan Baru dan 1.12 m³/det pada sub-DAS Syarifuddin Yoes selanjutnya akan dijadikan acuan dalam penerapan ZDQP guna menghasilkan ΔQ senilai 0 m³/det

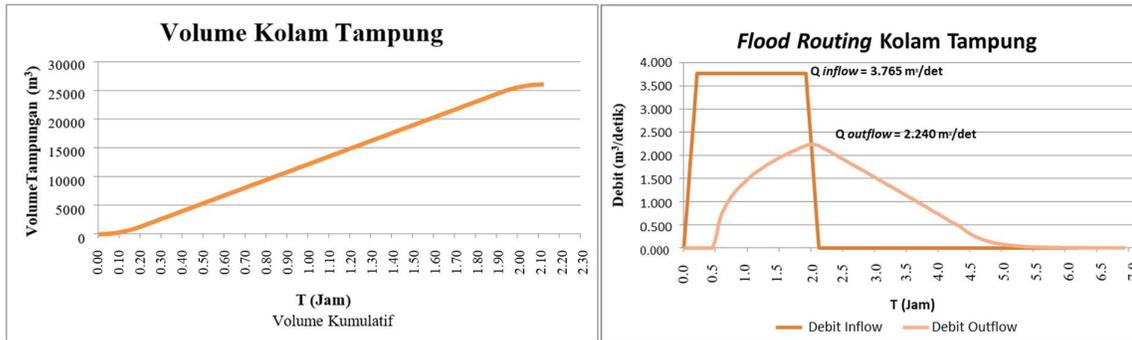
Table 3. Rekapitulasi Perubahan Debit Banjir Sebelum dan Setelah Pembangunan

Sub-DAS	Kenaikan C (%)	Kenaikan I (%)	Kenaikan Debit (kali lipat)	Qawal (m ³ /det)	Q Setelah Pembangunan (m ³ /det)	ΔQ (m ³ /det)
Balikpapan Baru	568	227	12.9	0.32	4.082	3.77
Syarifuddin Yoes	704	216	15.23	0.079	1.202	1.12

3. Analisis Kapasitas Kolam Tampung Eksisting

Analisis kapasitas kolam tampung dilakukan untuk mengetahui kapasitas kolam tampung yang telah dibangun oleh pengembang Daun Village. Terdapat 1 (satu) kolam tampung pada perumahan ini yang berfungsi untuk menampung debit limpasan dari kawasan perumahan Daun Village yang berada di wilayah Sub-Das Balikpapan Baru. Kawasan perumahan Daun Village yang berada di wilayah Sub-DAS Syarifuddin Yoes tidak

memiliki kolam tampung yang berfungsi untuk menampung limpasan dari kawasan tersebut. Kolam tampung existing memiliki sebesar 128.82 m^2 dan kedalaman 4.8 m serta memiliki pintu air dengan tinggi bukaan 0.35 m dan lebar 0.8 m. Penelusuran volume banjir dan debit yang keluar dari kolam tampungan eksisting dapat dilihat pada **Gambar 3**.

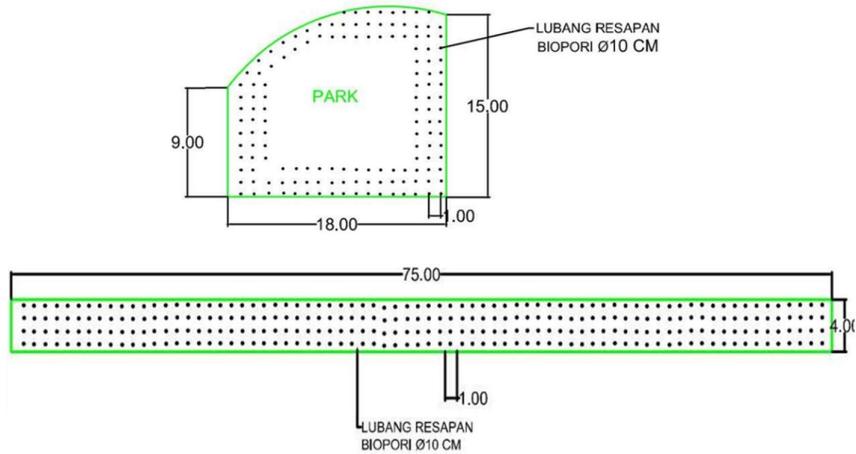


Gambar 3a (kiri). Dinamika Kolam Tampung Saat Terjadi Hujan
Gambar 3b (kanan). Penelusuran Debit Banjir Kolam Tampung.

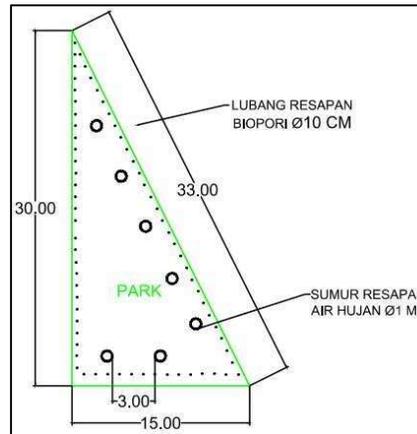
Dapat dilihat pada **Gambar 3** bahwa debit banjir yang keluar dari kolam tampung masing sangat besar walaupun berhasil direduksi sebesar 40% menjadi $2.24 \text{ m}^3/\text{det}$. Dari pada itu, diperlukan implementasi prinsip ZDQP lain untuk mengeliminasi sisa debit yang masih tersisa. Pada analisis selanjutnya akan dicoba beberapa alternatif guna mengurangi debit banjir sebesar $2.24 \text{ m}^3/\text{det}$ di sub-DAS Balikpapan Baru dan $1.12 \text{ m}^3/\text{det}$ di sub-DAS Syarifuddin Yoes.

4. Analisis Pengaruh Pengaplikasian Lubang Resapan Biopori dan Sumur Resapan Air Hujan
 Pada penelitian ini direncanakan pembangunan LRB dan SRAP guna menyerap air sehingga mengurangi beban kolam tampung eksisting. LRB direncanakan dibangun pada sebagian pekarangan warga, sebagian area parkir dan area pedestrian. Dimensi LRB ditentukan sama di seluruh kawasan, dengan dimensi kedalaman 1 meter, diameter lubang 0.1 meter, jari-jari lubang 0.05 meter dan jarak antar lubang adalah 1 meter serta dengan asumsi bahwa koefisien rata-rata kawasan adalah sebesar 3.60 cm/jam . Berdasarkan dimensi yang digunakan, besarnya faktor geometri yang didapat untuk setiap LRB Adalah 2.5 meter dan kapasitas serapan tiap LRB adalah sebesar $3 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{det}$.
 SRAP direncanakan dibangun pada lahan-lahan terbuka di sub-DAS Balikpapan Baru. Tiap SRAP didesain memiliki dimensi kedalaman 3 meter, diameter 1 meter dan jarak antar sumur adalah 3 meter. Kapasitas serapan tiap SRAP diestimasi sebesar $9 \times 10^{-5} \text{ m}^3/\text{det}$. Melalui perbandingan antara dimensi dan kapasitas serapan LRB dan SRAP, dimana pada luasan yang sama kapasitas penyerapan SRAP hanya setengah kapasitas LRB, serta dengan pertimbangan biaya pembangunan dan keamanan, disimpulkan bahwa SRAP tidak cocok diaplikasikan pada penelitian ini. Contoh pola pengaplikasian LRB dan SRAP masing-masing dapat dilihat pada **Gambar 4** dan **Gambar 5**.
 Pada area sub-DAS Balikpapan Baru diaplikasikan 1797 LRB dengan perkiraan pengurangan debit sebesar $0.045 \text{ m}^3/\text{det}$, sedangkan pada area sub-DAS Syarifuddin Yoes diaplikasikan 746 LRB dengan perkiraan pengurangan debit sebesar $0.027 \text{ m}^3/\text{det}$. Melalui metode ini, kelebihan debit yang masih harus dieliminasi adalah sebesar $2.2 \text{ m}^3/\text{det}$ dan $1.1 \text{ m}^3/\text{det}$ untuk sub-DAS Balikpapan Baru dan sub-DAS Syarifuddin Yoes, berurutan.
5. Analisis Pengaplikasian Biopori bersama dengan Optimalisasi Kapasitas Kolam Tampung
 Perencanaan pengoptimalan kolam tampung dilakukan karena pada Perumahan Daun Village terdapat beberapa kolam tampung yang sudah terbangun namun tidak berfungsi secara optimal. Kolam tampung yang tidak berfungsi ini tidak dapat menampung debit air yang mengalir dari saluran sebelumnya, melainkan hanya mengalirkannya lagi ke saluran selanjutnya. Pengoptimalan kolam tampung dilakukan dengan cara menambahkan pintu air pada masing-masing kolam tampung, sehingga debit yang masuk dapat tertampung sementara sebelum dikeluarkan ke saluran selanjutnya. Pada tahap perencanaan ini, debit banjir akan dihitung sesuai dengan masing-masing catchment kolam tampung. Debit yang dihasilkan akan direduksi dengan penerapan LRB, dan debit yang masih tersisa akan menjadi debit puncak pada perencanaan hidrograf kolam tampung yang akan dioptimalkan. Hal ini akan mereduksi debit keluar yang akan masuk dan

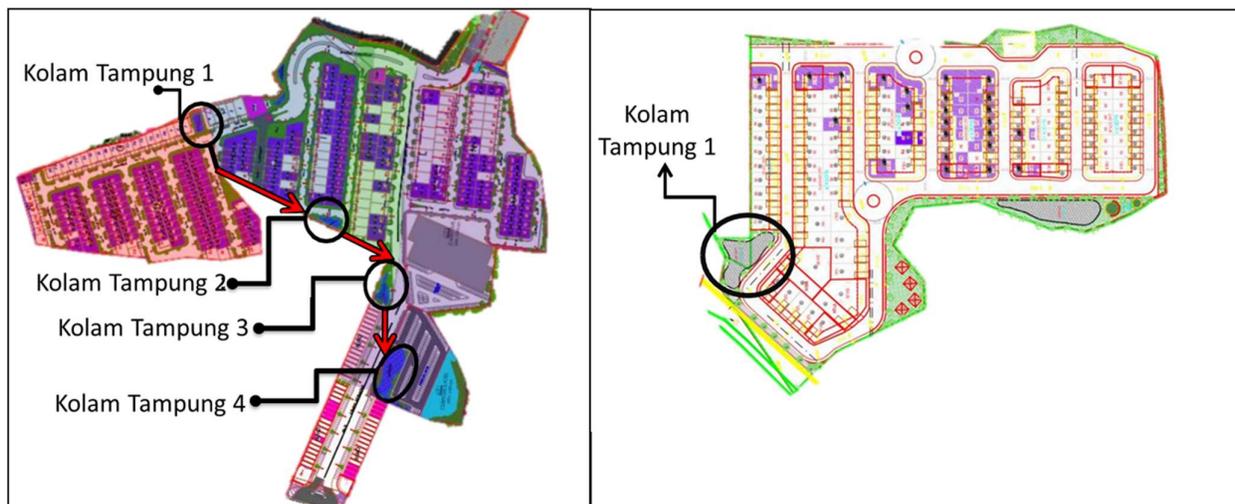
membebani saluran drainase kota. Berikut merupakan perhitungan kapasitas optimal kolam tampung terbangun serta LRB pada wilayah catchment Sub-DAS Balikpapan Baru dan wilayah catchment Sub-DAS Syarifuddin Yoes. Pembagian daerah tangkapan dapat dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 4. Pola Pengaplikasian Biopori pada Lahan Kosong maupun Area Pedestrian



Gambar 5. Pola Pengaplikasian Sumur Resapan Air Hujan



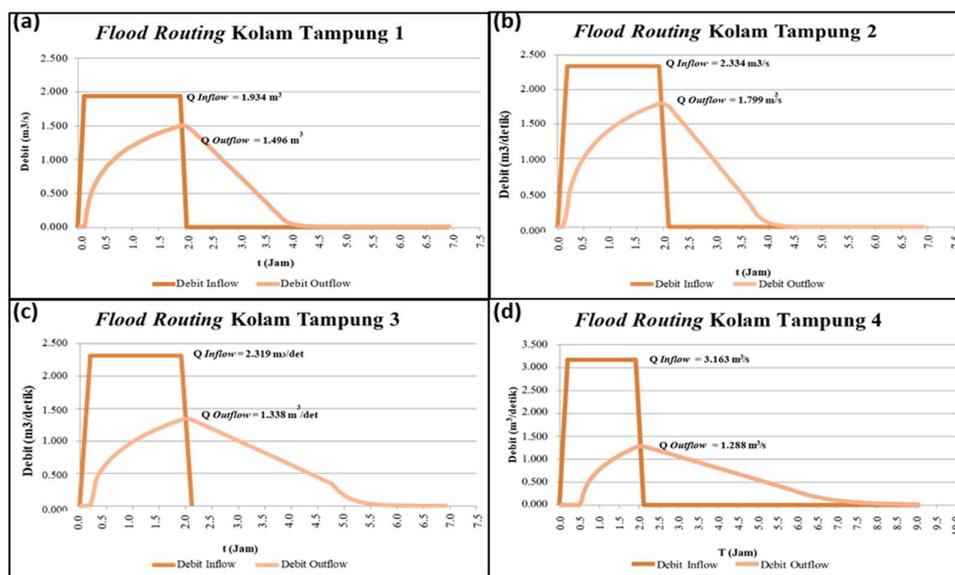
Gambar 6. Daerah Tangkapan Rencana Kolam Tampung. (a) Sub-DAS Balikpapan Baru dan (b) Sub-DAS Syarifuddin Yoes.

Dimensi kolam tampung dan pintu pelengkap pada sub-DAS Balikpapan Baru adalah sebagai berikut: Kolam tampung 1 memiliki luas 168.71 m² dan kedalaman 3 m memiliki pintu air dengan lebar 0.5 m, kolam tampung 2 memiliki luas 140.79 m² dan kedalaman 3 m memiliki pintu air dengan lebar 0.5 m, kolam tampung 3 memiliki luas 344.18 m² dan kedalaman 3 m memiliki pintu air dengan lebar 0.5 m, kolam tampung 4 memiliki luas 1282.82 m² dan kedalaman 4.8 m memiliki pintu air dengan lebar 0.8 m. Pada sub-DAS Syarifuddin Yoes, kolam tampung eksisting memiliki luas 506.0 m² dan kedalaman 4.8 m memiliki pintu air lebar 0.65 m. Optimalisasi dilakukan dengan melakukan penelusuran banjir pada beberapa kombinasi bukaan pintu air, dimana pintu harus cukup besar tanpa menyebabkan kolam tampung meluap namun harus sedemikian kecil sehingga debit yang melimpas ke saluran di hilir menunjukkan nilai minimum. Melalui analisis penelusuran banjir, didapat bukaan pintu untuk kolam tampung 1, kolam tampung 2, kolam tampung 3, kolam tampung 4 dan kolam tampung Syarifuddin Yoes berturut-turut adalah 0.2 m, 0.2 m, 0.2 m, 0.2 m dan 0.2 m dengan pengurangan debit banjir di tiap kolam tampungan mencapai 0.446 m³/det, 0.536 m³/det, 0.982 m³/det, 1.881 m³/det (total 3.85 m³/det) pada sub-DAS Balikpapan Baru dan 0.35 m³/det pada sub-DAS Syarifuddin Yoes. Melalui alternative ini didapatkan pengurangan debit outflow pada sub-DAS Balikpapan Baru dan sub-DAS Syarifuddin Yoes dari 2.2 m³/det menjadi 1.29 m³/det dan dari 1.2 m³/det menjadi 0.83 m³/det, berurutan. Hasil analisis penelusuran debit banjir disajikan pada **Gambar 7** dan **Gambar 8**.

6. Analisis Pembuatan Kolam Tampung Baru

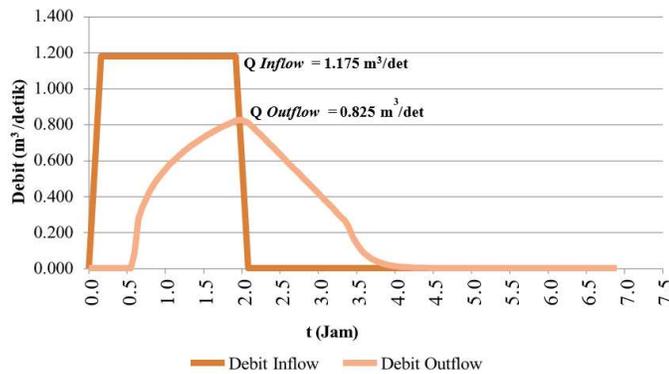
Kolam tampung baru menjadi salah satu opsi yang dipilih dikarenakan hasil optimasi dari kolam tampung yang sudah ada menunjukkan hasil yang memuaskan, sehingga keberadaan kolam tampung pada kawasan penelitian dinilai cocok untuk diaplikasikan. Selain ini, fungsi kolam tampung untuk meningkatkan kualitas air tanah sekaligus menjadi persediaan air bersih menjadi faktor pertimbangan. Pada Analisis kolam tampung baru, dilakukan uji coba hubungan antara dimensi kolam tampungan-dimensi pintu air-penelusuran debit. Fungsi tujuan dari analisis ini adalah meminimalisir luasan kolam tampungan, memperkecil dimensi pintu air dan memperkecil debit yang keluar ke saluran drainase kawasan sehingga kolam tampung yang direncanakan membutuhkan biaya minimal dalam pembangunan, menggunakan luas tanah sekecil mungkin, aman untuk digunakan dan berkesesuaian dengan prinsip ZDQP. Masing-masing kolam tampung baru direncanakan terhubung dengan sistem jaringan kolam tampungan eksisting untuk mempermudah pengendalian.

Dilakukan analisis kolam tampung baru seluas 3800 m² dan kedalaman 3 m, memiliki pintu air dengan tinggi 0.2 m dan lebar 0.65 m untuk sub-DAS Balikpapan baru. Dilakukan pula analisis kolam tampung baru seluas 1850 m² dan kedalaman 4 m, memiliki pintu air dengan tinggi 0.2 m dan lebar 0.65 m untuk sub-DAS Syarifuddin Yoes. Debit akhir yang dikeluarkan ke dalam saluran drainase wilayah adalah 0.313 m³/det dan 0.072 m³/det, yang mana memiliki besaran hampir serupa dengan debit sebelum pembangunan. Hasil analisis penelusuran debit banjir yang keluar dari perumahan akibat pengaplikasian kolam tampungan baru dapat dilihat pada **Gambar 9**

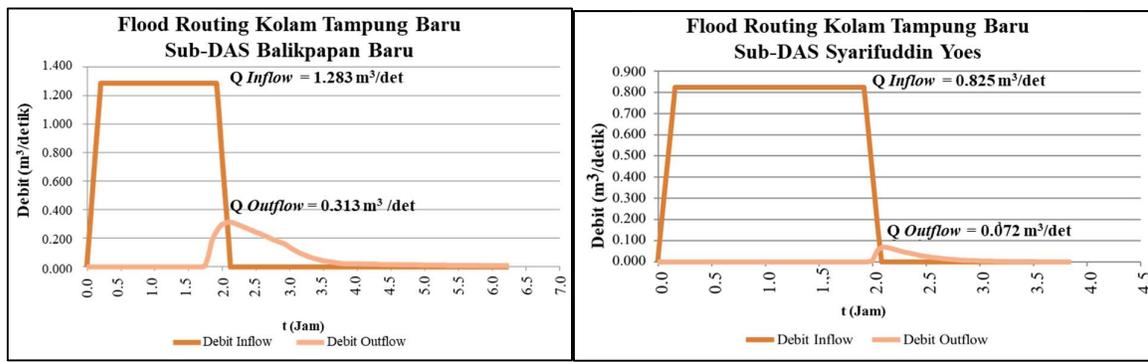


Gambar 7. Penelusuran Kolam Tampung Sub-DAS Balikpapan Baru untuk (a) Kolam Tampung 1, (b) Kolam Tampung 2, (c) Kolam Tampung 3 dan (d) Kolam Tampung 4.

Flood Routing Kolam Tampung 1 SY



Gambar 8. Penelusuran Kolam Tampung Sub-DAS Syarifuddin Yoes.



Gambar 9a (kiri). Flood Routing Kolam Tampungan Baru pada Sub-DAS Balikpapan Baru.
 Gambar 9b (kanan). Flood Routing Kolam Tampungan Baru pada Sub-DAS Syarifuddin Yoes.

D. Kesimpulan

Penelitian ini merupakan usaha mengkuantifikasikan dampak pembangunan perumahan terhadap penambahan debit banjir kawasan serta menemukan metode yang dapat meminimalisir besarnya banjir. Perumahan Daun Village Balikpapan mengalihfungsikan 60,445 m² lahan hijau menjadi area terbangun, menyebabkan meningkatnya nilai koefisien limpasan dan mempercepat waktu konsentrasi drainase. Hasil analisis menunjukkan terjadi kenaikan besar bangkitan debit sebesar 3.77 m³/det pada sub-DAS Balikpapan Baru dan 1.12 m³/det akibat pembangunan, sehingga dilakukan analisis alternatif penerapan ZDQP dengan kombinasi pengaplikasian LRB, optimalisasi kolam tampungan eksisting dan pembuatan kolam tampung baru. Reduksi total debit dengan pengaplikasian optimalisasi kolam tampung dan penerapan lubang resapan biopori pada sub-DAS Balikpapan Baru adalah sebesar 4,21 m³/det, sedangkan pada sub-DAS Syarifuddin Yoes sebesar 0.38 m³/det. Reduksi debit ini masih belum bisa memenuhi persyaratan ZDQP, sehingga dilakukan perencanaan kolam tampung baru seluas 3800 m² dan sedalam 3.0 m pada outlet Balikpapan Baru dan pada outlet Syarifuddin Yoes seluas 1850 m² dan sedalam 4.0 m. Penelitian ini dapat digunakan sebagai bahan kajian rencana kawasan dan pola operasi kolam tampung, baik pada kawasan penelitian maupun penelitian selanjutnya. Pengembangan dari studi ini dapat dilakukan dengan mempertimbangkan opsi penerapan ZDQP lain dan pengelolaan sistem drainase pada skala kota.

E. Daftar Pustaka

Ahiablame, L. M., Engel, B. A. & Chaubey, I. (2012). Effectiveness of Low Impact Development Practices: Literature Review and Suggestions for Future Research. *Water Air Soil Pollut*, 223. 4253–4273. DOI 10.1007/s11270-012-1189-2

AECOM, Atlanta Regional Commission, Center for Watershed Protection, Center Forward, Georgia Environmental Protection Division, Mandel Design (2001) *Methods for Estimating Stormwater Runoff*. Georgia Stormwater Management Manual Volume 2 Technical Handbook. Atlanta Regional Council. United States. hlm 2.1-6.

Badan Pusat Statistik Kota Balikpapan (2021). *Kependudukan*. Kota Balikpapan Dalam Angka, Edisi I, IPDS (eds.), Badan Pusat

- Statistik Kota Balikpapan, Indonesia, hlm. 87
- Badan Standarisasi Nasional. 2017. SNI 8456:2017. Sumur dan parit resapan air hujan. Badan Standarisasi Nasional : Jakarta.
- Bahunta, L. & Wasposito, R. S. B. (2019). The Design of Infiltration Wells to Reduce Runoff in Babakan Village, Cibinong, Bogor Regency. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 4 (1). 37-48.
- Baiamonte, G. (2019): A rational runoff coefficient for a revisited rational formula. *Hydrological Sciences Journal*. 65 (1). 112-126. DOI: 10.1080/02626667.2019.1682150
- Beganskas, S. & Fisher, A. T. (2017) Coupling distributed stormwater collection and managed aquifer recharge: field application and implications. *J Environ Manag.*, 200. 366–379.
- Boroomandnia, A., Bozorg-Haddad, O., Bahrami, M., Goharian, E., Singh, V. P. & Loáiciga, H. A. (2021) Optimizing urban stormwater control strategies and assessing aquifer recharge through drywells in an urban watershed. *Hydrogeol J.*, 29, 1379–1398. <https://doi.org/10.1007/s10040-021-02316-0>.
- Despotovic, J., Petrovic, J., & Jacimovic, N. (2002) Measurement, calibration of rainfallrunoff models and assessment of the return period of flooding events at urban catchment Kumodraz in Belgrade. *Water Sci. Technol.* 45 (2), 127–133.
- Edwards, E. C., Harter, T., Fogg, G. E., Washburn, B. & Hamad, H. (2016) Assessing the effectiveness of drywells as tools for stormwater management and aquifer recharge and their groundwater contamination potential. *J Hydrol*, 539, 539–553.
- Farid, M., Mano, A. & Udo, K. (2011). Distributed flood model for urbanization assessment in a limited-gauged river basin. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 146. 83-94.
- Farid, M., Pratama, M. I., Kuntoro, A. A., Adityawan, M. B., Rohmat, F. I. W. & Moe, I. R. (2022). Flood Prediction due to Land Cover Change in the Ciliwung River Basin. *International Journal of Technology*, 13 (2), 356 – 366. doi: 10.14716/ijtech.v13i2.4662
- GhaffarianHoseini, A., Tookey, J., GhaffarianHoseini, A., Yusoff, S. M. & Hassan, N. B. (2016) State of the art of rainwater harvesting systems toward promoting green built environments: a review. *Desalination and Water Treatment*, 57 (1), 95-104, doi: 10.1080/19443994.2015.1021097.
- Ghiglieri, G., Carletti, A. & Pittalis, D. (2014) Runoff coefficient and average yearly natural aquifer recharge assessment by physiography-based indirect methods for the island of Sardinia (Italy) and its NW area (Nurra). *Journal of Hydrology* 519 Part B. 1779-1791. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.09.054>.
- Ghozali, A., Hasanah, N. & Subchan (2019). Optimization of settlement land use through carbon footprint approach in The North Balikpapan. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 340. doi:10.1088/1755-1315/340/1/012001
- Giudice, G. D., Padulano, R., & Rasulo, G. (2012) Factors affecting the runoff coefficient. *Hydrol. Earth Syst. Sci. Discuss.*, 9. 4919–4941. doi:10.5194/hessd-9-4919-2012.
- Gonzalez-Merchan, C., Barraud, S., Le Coustumer S. & Fletcher, T. (2012) Monitoring of clogging evolution in the stormwater infiltration system and determinant factors. *Eur J Environ Civ Eng.*, 16(1) : s34 – s47.
- Hu, M., Zhang, X., Siu, Y. L., L. Y., Tanaka, K., Yang, H. & Xu, Y. (2018) Flood Mitigation by Permeable Pavements in Chinese Sponge City Construction. *Water*, 10 (2). 172. <https://doi.org/10.3390/w10020172>
- Huang, C. L., Hsu, N. S., Liu, H. J. & Huang, Y. H. (2018) Optimization of low impact development layout designs for megacity flood mitigation. *Journal of Hydrology*, 564. 542–558. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2018.07.044>
- Indriatmoko, R. H., (2010). Penerapan Prinsip Kebijakan Zero Delta Q dalam Pembangunan Wilayah. *Jurnal Air Indonesia*, 6 (1). 77-83. <http://dx.doi.org/10.29122/jai.v6i1.2457>
- Julian, M.M., Brenning, A., Kralisch, S. & Fink, M. (2019). Modelling of Hydrological Responses in the Upper Citarum Basin Based on the Spatial Plan of West Java Province 2029 and Climate Change. *International Journal of Technology*, 10(5), pp. 866–875
- Keyvanfar, A., Shafaghat, A., Ismail, N. & Mohamad, S. & Ahmad, H. (2021) Multifunctional retention pond for stormwater management: A decision-support model using Analytical Network Process (ANP) and Global Sensitivity Analysis (GSA). *Ecological Indicators*, 124. 107317. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107317>.
- Khan, S., Melville, B. W. & Shamseldin, A. (2013). Design of Storm-Water Retention Ponds with Floating Treatment Wetlands. *J. Environ. Eng.*, 139(11). 1343-1349.
- Lemma, T. M., Gessesse, G. D., Kassa, A. K. & Edossa, D. C. (2018) Effect of spatial scale on runoff coefficient: Evidence from the Ethiopian highlands. *International Soil and Water Conservation Research*, 6 (4). 289-296. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2018.08.002>.
- Liu, W., Chen, W. & Feng, Q. (2018) Field simulation of urban surfaces runoff and estimation of runoff with experimental curve numbers, *Urban Water Journal*, 15 (5), 418-426. DOI: 10.1080/1573062X.2018.1508597.
- Luo, P., Mu, D., Xue, H., Ngo-Duc, T., Dang-Dinh, K., Takara, K., Nover, D. & Schladow, G. (2018). Flood inundation assessment for the Hanoi Central Area, Vietnam under historical and extreme rainfall conditions. *Scientific Reports*, 8: 12623. DOI:10.1038/s41598-018-30024-5 .
- Mustafa, A. & Szydlowski, M. The Impact of Spatiotemporal Changes in Land Development (1984–2019) on the Increase in the Runoff Coefficient in Erbil, Kurdistan Region of Iraq. *Remote Sens.* 12, 1302. Doi:10.3390/rs12081302.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 26 Tahun 2008 (2008). Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional. Jakarta.
- Pratama, M. I., Rohmat, F. I. W. Farid, M., Adityawan, M. B., Kuntoro, A. A., & Moe, I. R. (2021) Flood Hydrograph Simulation to Estimate Peak Discharge in Ciliwung River Basin. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 708(1), doi: 10.1088/1755-1315/708/1/012028
- Purwantara, S. (2015). Dampak Pengembangan Permukiman Terhadap Air Tanah Di Wilayah Yogyakarta Dan Sekitarnya. *Geo Edukasi*, 4 (1), 31-40. <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/GeoEdukasi/article/view/535>
- Qin, Y. (2020). Urban Flooding Mitigation Techniques: A Systematic Review and Future Studies. *Water*, 12, 3579. doi:10.3390/w12123579
- Rahardjo, P., Junaidi, Prasetya, T. (2019). Interaksi Alih Fungsi Lahan Terhadap Banjir Dan Kekeringan. *Bangunan Rekaprima*, 5 (2). 33-41.
- Recanatesi, F., Petroselli, A., Ripa, M.N. & Leone, A. (2017) Assessment of stormwater runoff management practices and BMPs under soil sealing: A study case in a peri-urban watershed of the metropolitan area of Rome (Italy). *J. Environ. Manag.*

- 201, 6–18.
- Rodríguez-Blanco, M.L., Taboada-Castro, M.M. & Taboada-Castro, M.T. (2012) Rainfall–runoff response and event-based runoff coefficients in a humid area (northwest Spain). *Hydrological Sciences Journal*, 57(3). 445-459. <http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2012.666351>.
- Sample, D. J. & Liu, J. (2014) Optimizing rainwater harvesting systems for the dual purposes of water supply and runoff capture. *Journal of Cleaner Production*, 75. 174-194. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.075>.
- Sejati, A. W., Buchori, I., Rudiarto, I., Silver, C. & Sulisty, K. (2020). Open-Source Web Gis Framework In Monitoring Urban Land Use Planning: Participatory Solutions For Developing Countries. *Journal of Urban and Regional Analysis*, 13 (1). 19 – 33. <https://doi.org/10.37043/JURA.2020.12.1.2>
- Tellman, B., Saiers, J.E. & Cruz, O.A.R., (2016). Quantifying the Impacts of Land Use Change on Flooding in Data-Poor Watersheds in El Salvador with Community-Based Model Calibration. *Regional Environmental Change*, 16(4), pp. 1183–1196
- Vermonden, K., van der Velde, G. & Leuven, R.S.E.W. (2012) Key factors for biodiversity of surface waters in climate proof cities. *Resour. Conserv. Recycl.* 64, 56–62. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2011.01.003>.
- Wahyuningtyas, A., Hariyani, S. & Sutikno, F. R. (2011). Strategi Penerapan Sumur Resapan Sebagai Teknologi Ekodrainase Di Kota Malang (Studi Kasus: Sub DAS Metro). *Jurnal Tata Kota dan Daerah*, 3 (1). 25-31.
- Wang, G., Yang, H., Wang, L., Xu, Z. and Xue, B. (2014). Using the SWAT model to assess impacts of land use changes on runoff generation in headwaters. *Hydrol. Process.* 28, 1032-1042. <https://doi.org/10.1002/hyp.9645>.
- Wang, J., Zhang, S. & Guo, Y. (2019). Analyzing the Impact of Impervious Area Disconnection on Urban Runoff Control Using an Analytical Probabilistic Model. *Water Resources Management*, 33, 1753–1768
- Walsh, T.C., Pomeroy, C.A. & Burian, S.J. (2014) Hydrologic modeling analysis of a passive, residential rainwater harvesting program in an urbanized, semi-arid watershed. *J. Hydrol.* 508, 240–253. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2013.10.038>.
- Wu, J., Yang, R. & Song, J. (2018). Effectiveness of low impact development for urban inundation risk mitigation under different scenarios: a case study in Shenzhen, China. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci. Discuss.*, 18 (9). 2525-2536. <https://doi.org/10.5194/nhess-2017-402>
- Yanti, R. M. K. & Irawan, B., N. (2021). Ratio Analysis of Storage Pond Area to the Built Area as Flood Control Effort in Balikpapan Southern Drainage Area. *Jurnal Manajemen Aset Infrastruktur & Fasilitas*, 5 (1), 89 – 108. <http://dx.doi.org/10.12962/j26151847.v5i1.8736>