

Evaluasi berbasis risiko terhadap kepatuhan prinsip *zero ΔQ runoff* infrastruktur drainase pada pengembangan *Cluster Royal Blossom*

Alfiya Syafa Resy Pinilih¹, Rizki Budiman¹ Aisya Galuh Laksita^{1,*}

¹Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia

Article Info

Available online

Keywords:

Zero ΔQ runoff
Infrastructure risks
Housing
Land-use change
Drainage
Infiltration wells

Corresponding Author:

Aisya Galuh Laksita
245111201@uii.ac.id

Abstract

Land-use conversion from agricultural areas to residential development reduces infiltration capacity and increases surface runoff, potentially affecting the performance and sustainability of urban drainage infrastructure. This study evaluates the impact of land-use change on runoff discharge, assesses compliance with the Zero ΔQ Runoff principle, and examines the effectiveness of infiltration wells as a risk mitigation measure in the Royal Blossom Cluster, Tangerang Regency, Indonesia. Hydrological analysis was conducted using annual maximum rainfall data from the Pasar Baru Rainfall Station for the period 2010–2024. Design rainfall was determined through frequency analysis, rainfall intensity was calculated using the Mononobe method, and peak runoff discharge was estimated using the Rational Method. Infrastructure risk was evaluated using the Infrastructure Risk Index (IRI), while compliance with the Zero ΔQ Runoff principle was assessed using the Zero ΔQ Compliance Ratio (ZCR). The results indicate that land-use conversion from paddy fields ($C = 0.45$) to residential areas ($C = 0.70$) increased peak runoff discharge by 55.6%, from $0.331 \text{ m}^3/\text{s}$ to $0.514 \text{ m}^3/\text{s}$ for the 2-year return period. This increase generated an additional runoff volume of 3.305 m^3 and resulted in an IRI value of 55.6%, indicating increased hydraulic loading on the drainage system. To mitigate the additional runoff, five infiltration wells with a diameter of 0.8 m and a depth of 1.5 m were designed, providing a total storage capacity of 3.273 m^3 . After mitigation, the ZCR reached 0.99 for the 2-year return period and 0.83 for the 5-year return period, indicating compliance with the Zero ΔQ Runoff principle. The results demonstrate that infiltration wells can effectively reduce drainage infrastructure risk while supporting sustainable stormwater management in residential developments.

Copyright © 2026 Universitas Islam Indonesia
All rights reserved

Pendahuluan

Pertumbuhan penduduk di Kabupaten Tangerang mendorong meningkatnya kebutuhan hunian dan pembangunan kawasan perumahan. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik Kabupaten Tangerang, laju pertumbuhan penduduk mencapai 2,83% pada tahun 2025. Salah satu kawasan yang dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan

hunian tersebut adalah Cluster Royal Blossom. Perkembangan pembangunan dan peningkatan pertumbuhan penduduk mengakibatkan perubahan fungsi lahan yang berimplikasi pada berkurangnya area terbuka dan meningkatnya debit limpasan air permukaan di wilayah perkotaan (Wardhani, 2022). Perubahan tutupan lahan dari sawah menjadi kawasan terbangun secara langsung meningkatkan nilai koefisien limpasan (C)

suatu daerah tangkapan hujan. Pada lahan persawahan, sebagian besar air hujan terserap ke dalam tanah melalui proses infiltrasi dan evapotranspirasi, sedangkan pada kawasan perumahan padat proporsi limpasan permukaan meningkat drastis karena permukaan kedap air seperti atap, jalan, dan perkerasan menggantikan fungsi lahan sebelumnya (Suripin, 2004). Indriyanti dan Azis (2026) menemukan peningkatan koefisien limpasan dari 0,591 menjadi 0,631 akibat alih fungsi lahan di Kota Makassar.

Berbagai penelitian telah mendokumentasikan dampak signifikan alih fungsi lahan terhadap peningkatan debit banjir. Ayu dan Andajani (2022) menganalisis penerapan *Zero Delta Run-Off* pada Perumahan Tataka Puri di Kabupaten Tangerang dan menemukan peningkatan debit yang proporsional terhadap perubahan koefisien limpasan. Yanti dkk. (2022) dalam penelitian di Balikpapan menyatakan bahwa pembangunan perumahan yang tidak disertai pengelolaan limpasan menyebabkan peningkatan debit yang membebani saluran drainase sekunder dan meningkatkan frekuensi banjir urban. Peningkatan limpasan tersebut tidak hanya menimbulkan permasalahan hidrologi, tetapi juga berpotensi menimbulkan risiko terhadap kinerja infrastruktur drainase. Dalam perspektif manajemen risiko infrastruktur, peningkatan debit limpasan dapat dipandang sebagai hazard yang berpotensi menurunkan tingkat pelayanan sistem drainase, meningkatkan kemungkinan genangan, mempercepat degradasi aset, serta meningkatkan kebutuhan biaya operasi dan pemeliharaan infrastruktur (Aven, 2016; Zhou dkk., 2019).

Risiko infrastruktur merupakan kombinasi antara potensi bahaya, tingkat keterpaparan aset, dan kerentanan sistem terhadap suatu gangguan yang dapat menghambat pencapaian fungsi layanan infrastruktur. Pada sistem drainase perkotaan, risiko dapat muncul ketika debit limpasan yang terjadi melebihi kapasitas sistem yang tersedia sehingga menimbulkan kegagalan fungsi hidraulik dan gangguan pelayanan kawasan.

Oleh karena itu, pengelolaan limpasan tidak hanya bertujuan mengendalikan banjir, tetapi juga menjadi bagian dari strategi pengurangan risiko untuk menjaga keandalan dan keberlanjutan infrastruktur drainase dalam jangka panjang (Dong dkk., 2020).

Merespons permasalahan tersebut, pemerintah Indonesia menetapkan *Zero ΔQ Runoff Policy* melalui Peraturan Pemerintah Nomor 26 Tahun 2008 tentang Rencana Tata Ruang Wilayah Nasional yang selanjutnya diperbarui melalui PP Nomor 13 Tahun 2017 dan ditegaskan kembali dalam Peraturan Presiden Nomor 66 Tahun 2022. PP Nomor 13 Tahun 2017 Pasal 99 ayat (3) huruf c secara eksplisit mengamanatkan bahwa setiap kegiatan budidaya terbangun tidak boleh mengakibatkan bertambahnya debit air ke sistem drainase atau sistem aliran sungai ($\Delta Q = 0$). Indriatmoko (2018) menegaskan bahwa prinsip *Zero ΔQ Runoff* berlaku pada seluruh kawasan dan dapat diterapkan melalui berbagai teknologi pengelolaan air hujan seperti sumur resapan, kolam retensi, dan biopori. Herwindo dan Bumi (2023) membuktikan bahwa penerapan sumur resapan mampu mereduksi limpasan dan memulihkan keseimbangan neraca air. Dalam konteks keberlanjutan infrastruktur, kepatuhan terhadap prinsip *Zero ΔQ Runoff* tidak hanya berfungsi sebagai instrumen pengendalian hidrologi, tetapi juga sebagai mekanisme mitigasi risiko untuk mempertahankan kinerja dan umur layanan sistem drainase perkotaan.

Kawasan Cluster Royal Blossom di Tangerang merupakan salah satu kawasan yang mengalami konversi lahan persawahan seluas 41.400 m² menjadi perumahan tapak padat. Perubahan tata guna lahan tersebut berpotensi meningkatkan limpasan permukaan, menimbulkan risiko terhadap kinerja infrastruktur drainase, serta menyebabkan ketidaksesuaian terhadap prinsip *Zero ΔQ Runoff*. Meskipun berbagai penelitian sebelumnya telah mengkaji perubahan debit akibat alih fungsi lahan dan penerapan *Zero ΔQ Runoff*, kajian yang menghubungkan kepatuhan *Zero ΔQ* dengan

risiko infrastruktur drainase masih relatif terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis perubahan debit limpasan akibat alih fungsi lahan, mengevaluasi tingkat risiko terhadap infrastruktur drainase berdasarkan perubahan debit yang terjadi, menilai kepatuhan kawasan terhadap prinsip *Zero ΔQ Runoff*, serta mengevaluasi peran sumur resapan sebagai strategi mitigasi risiko untuk mendukung keberlanjutan infrastruktur drainase pada kawasan *Cluster Royal Blossom*, Tangerang.

Tinjauan Pustaka

Risiko dan keberlanjutan infrastruktur drainase

Pembangunan kawasan perkotaan dan perubahan tata guna lahan menyebabkan meningkatnya luas permukaan kedap air yang berimplikasi pada bertambahnya debit limpasan permukaan. Kondisi tersebut tidak hanya menimbulkan permasalahan hidrologi, tetapi juga berpotensi meningkatkan risiko terhadap kinerja infrastruktur drainase. Dalam perspektif manajemen risiko, risiko didefinisikan sebagai dampak ketidakpastian terhadap pencapaian tujuan suatu sistem atau aset (Aven, 2016). Pada sistem drainase perkotaan, risiko dapat muncul ketika debit limpasan yang terjadi melebihi kapasitas layanan sistem sehingga menyebabkan genangan, penurunan tingkat pelayanan, kerusakan infrastruktur, maupun peningkatan biaya operasi dan pemeliharaan.

Risiko infrastruktur drainase dipengaruhi oleh interaksi antara bahaya (*hazard*), keterpaparan aset (*exposure*), dan kerentanan sistem (*vulnerability*). Peningkatan limpasan akibat urbanisasi dan alih fungsi lahan merupakan salah satu bentuk *hazard* yang paling umum terjadi pada kawasan perkotaan. Ketika kapasitas saluran tidak mengalami peningkatan yang sebanding dengan kenaikan debit limpasan, maka tingkat risiko sistem drainase akan meningkat (Ashley dkk., 2005). Oleh karena itu, pengendalian limpasan menjadi salah satu strategi penting dalam pengurangan risiko infrastruktur drainase.

Selain aspek risiko, sistem drainase modern juga dituntut untuk memenuhi prinsip keberlanjutan infrastruktur. Infrastruktur yang berkelanjutan tidak hanya mampu menjalankan fungsi teknisnya saat ini, tetapi juga mampu mempertahankan kinerja layanan dalam jangka panjang melalui pemanfaatan sumber daya yang efisien dan adaptif terhadap perubahan lingkungan (Butler dkk., 2014). Dalam konteks drainase perkotaan, keberlanjutan dapat dicapai melalui pengelolaan limpasan yang mampu mengurangi tekanan terhadap sistem, meningkatkan infiltrasi, dan menjaga keseimbangan siklus hidrologi.

Prinsip *Zero ΔQ Runoff* merupakan salah satu pendekatan yang mendukung keberlanjutan infrastruktur drainase karena bertujuan mempertahankan debit limpasan pasca pembangunan agar tidak melebihi kondisi sebelum pembangunan. Dengan demikian, penerapan prinsip tersebut tidak hanya berfungsi sebagai upaya pengendalian banjir, tetapi juga sebagai mekanisme mitigasi risiko yang dapat menjaga kinerja dan umur layanan infrastruktur drainase dalam jangka panjang.

Analisis debit banjir rencana

Analisis debit banjir rencana dilakukan untuk memperkirakan debit puncak limpasan yang digunakan sebagai dasar evaluasi perubahan limpasan akibat alih fungsi lahan serta kepatuhan terhadap Prinsip *Zero ΔQ Runoff*. Tahapan analisis meliputi analisis frekuensi hujan untuk memperoleh hujan rencana, perhitungan waktu konsentrasi, penentuan intensitas hujan menggunakan metode Mononobe, dan perhitungan debit puncak menggunakan Metode Rasional. Alur analisis yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Gambar 1.

Sumur resapan sebagai mitigasi risiko dan pendukung prinsip zero ΔQ runoff

Sumur resapan merupakan salah satu bentuk konservasi air yang bekerja dengan menampung dan meresapkan air hujan ke dalam tanah melalui dinding dan dasar sumur. Mekanisme ini meningkatkan infiltrasi, mengurangi volume limpasan yang masuk ke

jaringan drainase, serta membantu menjaga keseimbangan tata air pada kawasan yang mengalami peningkatan luas permukaan kedap air akibat pembangunan (Suripin, 2004). Ilustrasi sumur resapan yang menunjukkan komponen utama dan mekanisme kerjanya dapat dilihat pada Gambar 2.

Dalam konteks pengelolaan drainase perkotaan, sumur resapan berperan sebagai upaya mitigasi risiko terhadap infrastruktur drainase. Dengan meresapkan sebagian air hujan ke dalam tanah, sumur resapan dapat mereduksi debit puncak limpasan sehingga menurunkan potensi genangan, mengurangi tekanan hidraulik pada saluran, serta membantu mempertahankan tingkat pelayanan sistem drainase. Herwindo dan Bumi (2023) menunjukkan bahwa penerapan sumur resapan terbukti efektif menurunkan volume limpasan dan mendukung pengelolaan air hujan yang lebih berkelanjutan.

Berdasarkan SNI 03-2453-2002 perancangan sumur resapan menggunakan formula sebagai berikut:

$$V_{ab} = Q \times tb \quad (1)$$

$$V_{resap} = \frac{tc}{24} \times A_{total} \quad (2)$$

$$V_{storasi} = V_{ab} - V_{resap} \quad (3)$$

$$H_{total} = \frac{V_{storasi}}{n} \quad (4)$$

$$n = \frac{Ah}{H_{rencana}} \quad (5)$$

dimana:

V_{ab} = Volume andil banjir yang akan ditampung sumur resapan (m^3)

Q = Debit banjir ($m^3/detik$)

tb = Panjang hidrograf (menit)

V_{resap} = Volume air hujan yang meresap (m^3)

A_{total} = Luas dinding sumur + luas alas sumur (m^2)

K_{rerata} = Koefisien permeabilitas tanah rata-rata (m/hari)

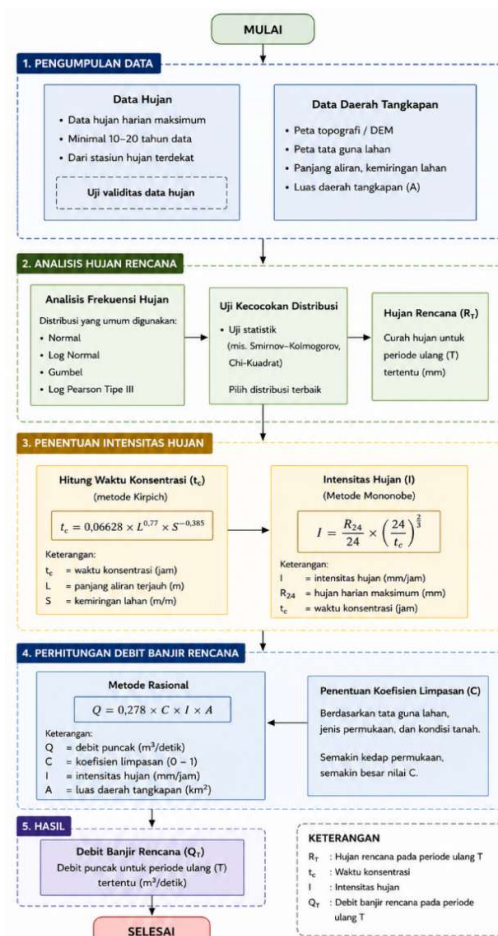
$V_{storasi}$ = Volume penampungan air hujan (m^3)

H_{total} = Kedalaman total sumur resapan air hujan (m)

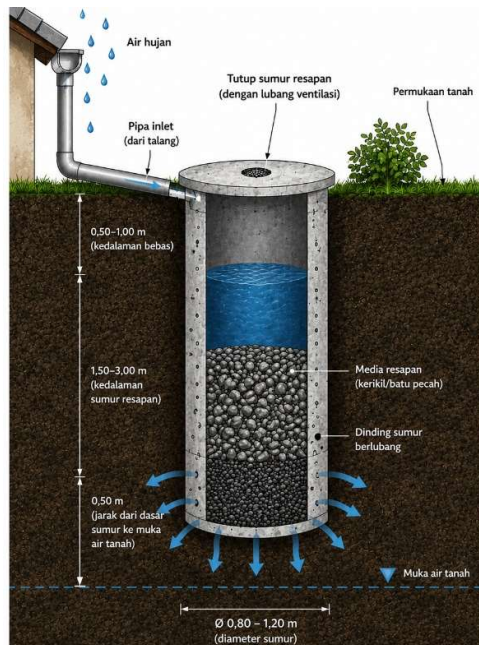
Ah = Luas alas sumur dengan penampang lingkaran (m^2)

$H_{rencana}$ = Kedalaman yang direncanakan < kedalaman air tanah (m).

n = Jumlah Sumur resapan yang di perlukan (buah)



Gambar 1. Alur Analisis Debit Banjir



Gambar 2. Konsep Sumur Resapan

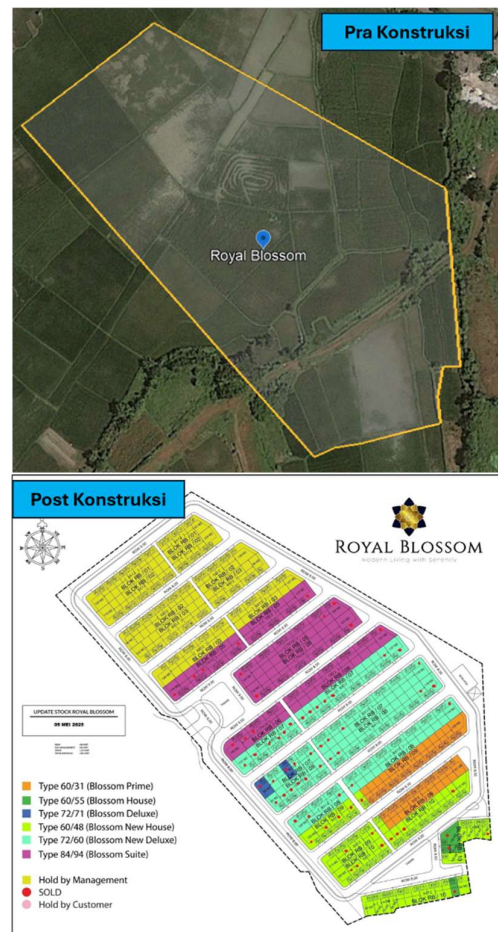
Metode Penelitian

Lokasi dan data penelitian

Penelitian ini dilakukan di kawasan *Cluster Royal Blossom, District Royal Batavia*, Jalan Raya Cadas-Kukun, Desa Pangadegan, Kecamatan Pasar Kemis, Kabupaten Tangerang, Provinsi Banten. Kawasan penelitian memiliki luas sekitar 41.400 m² yang memiliki 301 unit rumah dari berbagai tipe dan sebelumnya berupa lahan persawahan yang saat ini sedang dikembangkan menjadi kawasan perumahan tapak.

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data curah hujan harian Stasiun Curah Hujan Pasar Baru periode 2010–2024, data spasial kawasan berupa citra *Google Earth* dan *site plan* pengembangan kawasan, data elevasi dari *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), serta data permeabilitas tanah yang diperoleh dari data sekunder wilayah Kabupaten Tangerang. Data tersebut digunakan untuk menganalisis perubahan debit limpasan akibat alih fungsi lahan serta mengevaluasi tingkat risiko terhadap infrastruktur drainase.

Perubahan penggunaan lahan pada kawasan penelitian ditunjukkan pada Gambar 3. Sebelum pembangunan, kawasan didominasi oleh lahan persawahan yang memiliki kemampuan infiltrasi relatif tinggi. Setelah pembangunan, kawasan berubah menjadi perumahan tapak dengan dominasi bangunan dan perkerasan yang meningkatkan luas permukaan kedap air. Perubahan penutup lahan tersebut menyebabkan peningkatan koefisien limpasan yang berpotensi meningkatkan debit limpasan permukaan dan risiko terhadap kinerja infrastruktur drainase.



Gambar 3. Perubahan penggunaan lahan kawasan penelitian sebelum dan sesudah pembangunan *Cluster Royal Blossom*

Parameter kawasan

Parameter fisik kawasan yang digunakan dalam analisis hidrologi diperoleh dari hasil

pengolahan data spasial kawasan dan ditunjukkan pada Tabel 1.

Perbedaan utama antara kondisi pra konstruksi dan pasca konstruksi terletak pada nilai koefisien limpasan yang berubah akibat perubahan penggunaan lahan. Nilai tersebut digunakan untuk mengevaluasi perubahan debit limpasan sebagai dasar analisis risiko dan kepatuhan terhadap Prinsip *Zero ΔQ Runoff*.

Tabel 1. Parameter Hidrologi dan Karakteristik Kawasan Penelitian

Parameter	Nilai
Panjang aliran (L), m	260
Kemiringan rerata saluran (S), m/m	0,003846
Luas daerah tangkapan (A), km ²	0,0414
Waktu konsentrasi (tc), menit	12
Durasi hidrograf (tb), menit	36
Koefisien limpasan pra konstruksi (C _{pra}), Sawah	0,45
Koefisien limpasan pasca konstruksi (C _{post}), gabungan	0,7

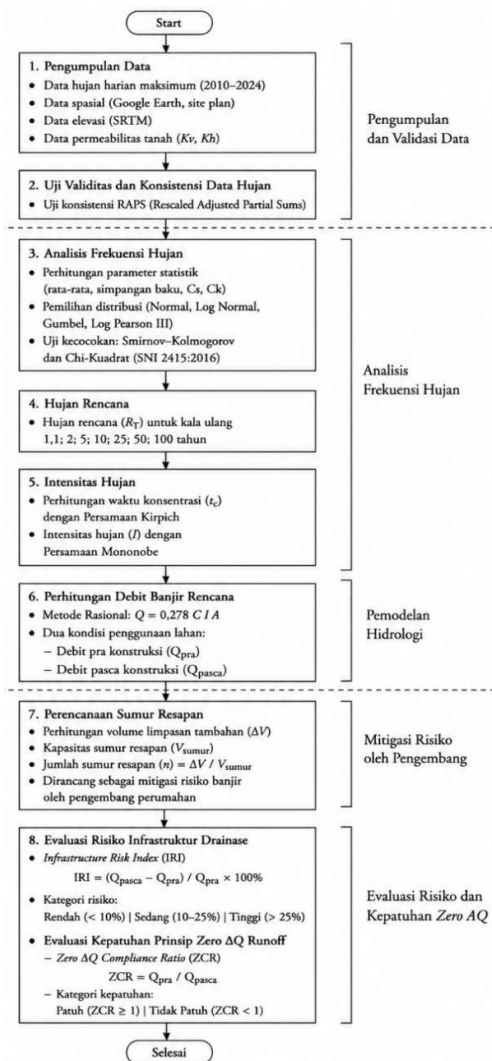
Tahapan analisis

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis analisis hidrologi untuk mengevaluasi risiko terhadap infrastruktur drainase akibat perubahan penggunaan lahan pada kawasan *Cluster Royal Blossom*. Tahapan penelitian diawali dengan pengumpulan dan validasi data curah hujan harian maksimum periode 2010–2024, kemudian dilanjutkan dengan analisis frekuensi hujan untuk memperoleh hujan rencana pada berbagai kala ulang.

Hujan rencana yang diperoleh selanjutnya digunakan untuk menghitung intensitas hujan dan debit banjir rencana menggunakan Metode Rasional. Perhitungan dilakukan pada dua kondisi penggunaan lahan, yaitu kondisi pra konstruksi (persawahan) dan pasca konstruksi (perumahan), dengan perbedaan utama terletak pada nilai koefisien limpasan akibat perubahan penutup lahan.

Perbandingan debit limpasan antara kondisi pra dan pasca konstruksi digunakan untuk mengevaluasi tingkat risiko terhadap infrastruktur drainase serta tingkat kepatuhan

terhadap Prinsip *Zero ΔQ Runoff*. Selanjutnya dilakukan perencanaan sumur resapan sebagai upaya mitigasi risiko dan pengendalian limpasan tambahan akibat pembangunan. Perencanaan mengacu pada SNI 03-2453-2002 dengan mempertimbangkan volume limpasan tambahan serta karakteristik infiltrasi tanah. Jumlah sumur resapan yang dibutuhkan dihitung berdasarkan kapasitas tampungan setiap sumur sehingga mampu mengurangi limpasan tambahan. Tahapan analisis penelitian secara lengkap disajikan pada Gambar 4.



Gambar 4. Tahapan Analisis

Selanjutnya dilakukan evaluasi risiko terhadap infrastruktur drainase menggunakan *Infrastructure (drainage) Risk Index*, yang dihitung berdasarkan persentase peningkatan debit limpasan akibat pembangunan kawasan sebagai berikut:

$$IRI = \frac{Q_{pasca} - Q_{pra}}{Q_{pra}} \times 100\% \quad (6)$$

dimana:

IRI = *Infrastructure (drainage) Risk Index*

Q_{pra} = debit limpasan kondisi pra konstruksi (m³/detik)

Q_{post} = debit limpasan kondisi pasca konstruksi (m³/detik)

Nilai IRI digunakan untuk menggambarkan tingkat peningkatan beban hidraulik yang diterima sistem drainase akibat pembangunan kawasan.

Selain itu, kepatuhan terhadap Prinsip *Zero ΔQ Runoff* dievaluasi menggunakan rasio kepatuhan (*Zero ΔQ Compliance Ratio/ZCR*) yang dirumuskan sebagai:

$$ZCR = \frac{Q_{pra}}{Q_{post}} \quad (7)$$

dimana:

ZCR = *Zero ΔQ Compliance Ratio*

Q_{pra} = debit limpasan kondisi pra konstruksi (m³/detik)

Q_{post} = debit limpasan kondisi pasca konstruksi (m³/detik)

Nilai ZCR digunakan untuk menilai tingkat kesesuaian kondisi pasca pembangunan terhadap prinsip bahwa pembangunan tidak boleh meningkatkan debit limpasan dibandingkan kondisi awal.

Hasil dan Pembahasan

Analisis debit limpasan akibat alih fungsi lahan

Analisis hidrologi dilakukan untuk membandingkan karakteristik limpasan sebelum dan sesudah pembangunan kawasan perumahan *Cluster Royal Blossom*.

Perhitungan debit banjir rencana menggunakan Metode Rasional dengan mempertimbangkan perubahan koefisien limpasan akibat alih fungsi lahan dari persawahan menjadi kawasan perumahan. Pada kondisi pra konstruksi digunakan koefisien limpasan sebesar 0,45 yang mewakili lahan persawahan, sedangkan pada kondisi pasca konstruksi digunakan koefisien limpasan sebesar 0,70 yang mewakili kawasan permukiman. Parameter lainnya seperti luas daerah tangkapan, intensitas hujan, panjang aliran, dan kemiringan lahan diasumsikan tetap.

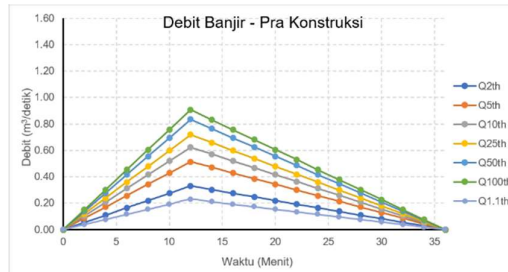
Hasil perhitungan debit banjir rencana untuk berbagai kala ulang disajikan pada Tabel 2. Debit banjir pada kondisi pasca konstruksi menunjukkan peningkatan yang konsisten dibandingkan kondisi pra konstruksi. Pada kala ulang 2 tahun, debit meningkat dari 0,331 m³/detik menjadi 0,541 m³/detik, sedangkan pada kala ulang 100 tahun meningkat dari 0,908 m³/detik menjadi 1,411 m³/detik.

Tabel 2. Perbandingan Debit Banjir Rencana Pra dan Pasca Konstruksi

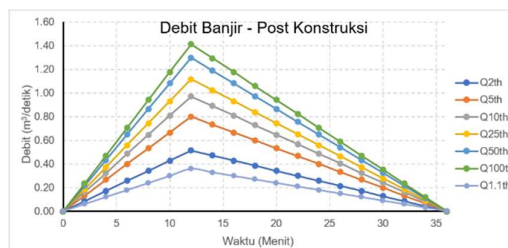
Kala Ulang (th)	Q Pra (m ³ /s) C=0,45	Q Pasca (m ³ /s) C=0,70	ΔQ (m ³ /s)	IRI(%)
1,1	0,2303	0,3583	0,1280	+55,6%
2	0,3305	0,5141	0,1836	+55,6%
5	0,5141	0,7997	0,2856	+55,6%
10	0,6243	0,9711	0,3468	+55,6%
25	0,7187	1,1180	0,3993	+55,6%
50	0,8341	1,2976	0,4634	+55,6%
100	0,9076	1,4118	0,5042	+55,6%

Selain dalam bentuk tabel, perubahan debit juga terlihat pada hidrograf debit banjir pra konstruksi dan pasca konstruksi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5 dan Gambar 6. Kedua hidrograf memiliki bentuk yang relatif sama karena karakteristik hujan dan waktu konsentrasi tidak berubah, namun seluruh kurva pada kondisi pasca konstruksi berada di atas kondisi pra konstruksi. Hal ini menunjukkan bahwa peningkatan limpasan sepenuhnya dipengaruhi oleh perubahan

koefisien limpasan akibat meningkatnya luas permukaan kedap air.



Gambar 5. Debit Banjir Pra Konstruksi



Gambar 6. Debit Banjir Post Konstruksi

Evaluasi risiko infrastruktur drainase

Risiko terhadap infrastruktur drainase dievaluasi berdasarkan peningkatan debit limpasan yang terjadi setelah pembangunan kawasan. Dalam penelitian ini, peningkatan debit dipandang sebagai peningkatan beban hidraulik yang harus ditanggung oleh sistem drainase dibandingkan kondisi sebelum pembangunan.

Evaluasi dilakukan menggunakan *Infrastructure Risk Index* (IRI), yaitu perbandingan antara kenaikan debit pasca konstruksi terhadap debit pra konstruksi. Hasil perhitungan menghasilkan nilai IRI sebesar 55,6% pada seluruh kala ulang yang dianalisis (Tabel 1 Tabel 2). Nilai tersebut menunjukkan bahwa pembangunan kawasan menyebabkan peningkatan beban hidraulik sebesar sepertiga dari kondisi awal.

Peningkatan beban hidraulik berpotensi menurunkan tingkat pelayanan sistem drainase apabila kapasitas saluran tidak mengalami penyesuaian. Ashley dkk. (2005) menjelaskan bahwa urbanisasi dan peningkatan luas permukaan kedap air merupakan faktor utama yang meningkatkan

risiko pada infrastruktur drainase perkotaan karena menyebabkan peningkatan limpasan dan frekuensi genangan. Butler dkk. (2018) juga menyatakan bahwa keberlanjutan sistem drainase sangat dipengaruhi oleh kemampuan infrastruktur dalam mengelola perubahan limpasan akibat perkembangan kawasan.

Berdasarkan hasil analisis, peningkatan debit sebesar 55,6% mengindikasikan adanya peningkatan risiko terhadap kinerja infrastruktur drainase pada kawasan *Cluster Royal Blossom* apabila tidak disertai dengan fasilitas pengendali limpasan.

Mitigasi risiko melalui sumur resapan

Pengendalian limpasan dilakukan melalui perencanaan sumur resapan yang mengacu pada SNI 03-2453-2002. Perencanaan didasarkan pada volume limpasan tambahan yang harus dikelola agar kondisi pasca konstruksi memiliki karakteristik limpasan yang setara dengan kondisi pra konstruksi.

Rekapitulasi volume limpasan untuk kala ulang 2 tahun disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Volume Limpasan Wajib Kelola

Parameter	Pra Konstruksi	Pasca Konstruksi
C	0,45	0,70
Q (m³/s)	0,3305	0,5141
Volume Limpasan (m³)	5,9492	9,2542
Volume Wajib Kelola (m³)	0 (acuan)	3,3051

Berdasarkan Tabel 3, volume limpasan pada kondisi pra konstruksi sebesar 5,949 m³ dan meningkat menjadi 9,254 m³ pada kondisi pasca konstruksi. Dengan demikian terdapat tambahan volume limpasan sebesar 3,305 m³ yang harus dikelola untuk memenuhi Prinsip *Zero ΔQ Runoff*.

Perencanaan sumur resapan menghasilkan kebutuhan sebanyak lima unit sumur resapan dengan diameter 0,8 m dan kedalaman 1,5 m sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

Kebutuhan lima unit sumur resapan masih tergolong realistis untuk diterapkan pada kawasan perumahan dengan luas lahan

penelitian sebesar 4,14 ha. Herwindo dan Bumi (2023) melaporkan bahwa sumur resapan efektif dalam mereduksi limpasan permukaan dan meningkatkan infiltrasi air hujan pada kawasan permukiman. Radius dkk. (2022) juga menjelaskan bahwa penerapan sistem resapan pada kawasan terbangun dapat menjadi salah satu alternatif pengendalian limpasan untuk mendukung konsep *Zero ΔQ Runoff*.

Tabel 4. Perencanaan sumur resapan

Parameter	Nilai	Satuan
Diameter sumur	0,80	m
Kedalaman per sumur	1,50	m
Permeabilitas vertikal	0,48	m ³ /m ² /hari
Permeabilitas horizontal	0,96	m ³ /m ² /hari
Luas bidang resap total	4,270	m ²
Volume air melimpas	3,305	m ³
Volume resap selama tc	0,032	m ³
Volume storasi	3,273	m ³
Tinggi total sumur	6,51	m
Jumlah sumur (dibulatkan)	5	unit

Evaluasi Kepatuhan Prinsip Zero ΔQ Runoff

Evaluasi kepatuhan terhadap Prinsip Zero ΔQ Runoff dilakukan setelah penerapan sumur resapan sebagai fasilitas pengendali limpasan. Berdasarkan hasil perencanaan, lima unit sumur resapan dengan diameter 0,8 m dan kedalaman 1,5 m memiliki kapasitas tampungan total sebesar 3,273 m³. Kapasitas tersebut digunakan untuk mengendalikan volume limpasan tambahan yang timbul akibat perubahan penggunaan lahan dari persawahan menjadi kawasan perumahan.

Untuk menilai efektivitas mitigasi yang dilakukan, dilakukan evaluasi ulang terhadap risiko infrastruktur drainase dan tingkat kepatuhan Prinsip *Zero ΔQ Runoff* menggunakan nilai *Infrastructure Risk Index* (IRI) pasca mitigasi dan *Zero ΔQ Compliance Ratio* (ZCR). Hasil evaluasi disajikan pada Tabel 5.

Berdasarkan Tabel 5, kapasitas tampungan sumur resapan sebesar 3,273 m³ mampu mengakomodasi seluruh tambahan volume limpasan pada kala ulang 1,1 tahun, 2 tahun, dan 5 tahun. Kondisi tersebut ditunjukkan

oleh perubahan nilai IRI dari 55,6% sebelum mitigasi menjadi -23,4% setelah mitigasi. Nilai IRI negatif menunjukkan bahwa kapasitas pengendalian limpasan yang disediakan lebih besar daripada tambahan limpasan yang dihasilkan akibat pembangunan kawasan.

Tabel 5 Perencanaan Evaluasi Risiko dan Kepatuhan Prinsip *Zero ΔQ Runoff* Setelah Mitigasi Sumur Resapan

Kala Ulang (th)	ΔVol. Limpasan (m3)	Mitigasi – Sumur Resapan	
		IRI (%) Premitigation	IRI (%) mitigation
1,1	2.3031	+55,6%	-23.4%
2	3.3046	+55,6%	0.53%
5	5.1404	+55,6%	20.18%
10	+55,6%	+55,6%	26.43%

*Volume limpasan yang diakomodir sumur resapan 3,273 m3

Pada kala ulang 10 tahun, volume limpasan tambahan mencapai 6,2425 m³ atau sedikit lebih besar dibandingkan kapasitas tampungan sumur resapan sebesar 3,273 m³. Akibatnya masih terdapat limpasan residual yang belum dapat dikendalikan secara penuh, sehingga nilai IRI pasca mitigasi masih sebesar 26,43%. Meskipun demikian, nilai tersebut jauh lebih rendah dibandingkan kondisi sebelum mitigasi yang mencapai 33,3%, sehingga risiko terhadap sistem drainase mengalami penurunan yang signifikan.

Tingkat kepatuhan terhadap Prinsip *Zero ΔQ Runoff* dievaluasi menggunakan nilai ZCR. Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai ZCR pada kala ulang 1,1 tahun, 2 tahun, dan 5 tahun berturut-turut sebesar 1,31; 0,99; dan 0,83. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kapasitas sumur resapan mampu mengendalikan limpasan tambahan sehingga kondisi pasca mitigasi telah memenuhi kriteria Prinsip *Zero ΔQ Runoff*. Pada kala ulang 10 tahun diperoleh nilai ZCR sebesar 0,79 yang menunjukkan bahwa sistem pengendalian limpasan telah mendekati kondisi patuh, namun masih memerlukan tambahan

kapasitas tampungan untuk sepenuhnya memenuhi prinsip tersebut.

Hasil evaluasi ini menunjukkan bahwa penerapan lima unit sumur resapan dengan kapasitas total 3,273 m³ efektif dalam menurunkan risiko terhadap infrastruktur drainase sekaligus meningkatkan kepatuhan terhadap Prinsip *Zero ΔQ Runoff*. Pada kala ulang yang umum digunakan sebagai dasar perencanaan drainase kawasan perumahan, yaitu kala ulang 2 tahun, nilai ZCR sebesar 0,99 mengindikasikan bahwa kapasitas sumur resapan yang direncanakan telah memadai untuk mengendalikan limpasan tambahan akibat pembangunan kawasan. Kondisi ini sejalan dengan konsep pengelolaan limpasan berkelanjutan yang menekankan pengendalian limpasan sedekat mungkin dengan sumbernya melalui fasilitas infiltrasi (Butler dkk., 2018).

Kesimpulan

Alih fungsi lahan pada kawasan *Cluster Royal Blossom* dari persawahan menjadi perumahan menyebabkan peningkatan koefisien limpasan dari 0,45 menjadi 0,70 sehingga meningkatkan debit banjir rencana pada seluruh kala ulang yang dianalisis. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa debit puncak meningkat sebesar 55,6%, dari 0,331 m³/detik menjadi 0,514 m³/detik pada kala ulang 2 tahun. Peningkatan debit tersebut menghasilkan nilai Infrastructure Risk Index (IRI) sebesar 55,6% yang mengindikasikan adanya peningkatan beban hidraulik terhadap sistem drainase kawasan.

Evaluasi terhadap Prinsip *Zero ΔQ Runoff* menunjukkan bahwa kondisi pasca pembangunan belum memenuhi kriteria kepatuhan karena terjadi tambahan volume limpasan sebesar 3,305 m³ pada kala ulang 2 tahun. Untuk mengendalikan limpasan tersebut, direncanakan lima unit sumur resapan berdiameter 0,8 m dan kedalaman 1,5 m dengan kapasitas tampungan total sebesar 3,273 m³.

Penerapan sumur resapan mampu menurunkan tingkat risiko infrastruktur drainase secara signifikan dan meningkatkan kepatuhan terhadap Prinsip *Zero ΔQ Runoff*.

Nilai ZCR setelah mitigasi mencapai 0,99 pada kala ulang 2 tahun dan 0,83 pada kala ulang 5 tahun, yang menunjukkan bahwa kapasitas pengendalian limpasan telah memenuhi kriteria kepatuhan pada kala ulang yang umum digunakan dalam perencanaan drainase kawasan perumahan. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan sumur resapan dapat berfungsi sebagai strategi mitigasi risiko yang efektif untuk menjaga kinerja dan keberlanjutan infrastruktur drainase pada kawasan perumahan.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang telah memberikan dukungan akademik dan fasilitas..

Daftar Pustaka

- Ananta, M. I., Bunganaen, W., & Muskananfolo, J. (2024). Analisa Curah Hujan Rancangan di Daerah Aliran Sungai Bendungan Manikin Kabupaten Kupang. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(2). <https://sipil.ejournal.web.id/index.php/jts/article/download/856/409/>
- Ashley, R. M., Balmforth, D. J., Saul, A. J., & Blanskby, J. D. (2005). Flooding in the future—Predicting climate change, risks and responses in urban areas. *Water Science and Technology*, 52(5), 265–273. <https://doi.org/10.2166/wst.2005.0142>
- Aven, T. (2016). *Risk assessment and risk management: Review of recent advances on their foundation. European Journal of Operational Research*, 253(1), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.12.023>
- Ayu, A. W., & Andajani, S. (2022). Penerapan Konsep Zero Delta Run-Off pada Perumahan Tataca Puri, Kabupaten Tangerang. *Jurnal Teknik Sipil (Reka Racana)*, 8(1), 1–8. <https://ejurnal.itenas.ac.id/index.php/rekaracana/article/view/6659>
- Badan Standardisasi Nasional. (2002). SNI 03-2453-2002: Tata Cara Perencanaan Sumur Resapan Air Hujan untuk Lahan Pekarangan. BSN: Jakarta.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). SNI 2415:2016: Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana. BSN: Jakarta.

- Badan Pusat Statistik Kabupaten Tangerang. (2025). Badan Pusat Statistik Kabupaten Tangerang. <https://tangerangkab.bps.go.id/>
- Bunganaen, W., Snae, Y. A., & Muskananfolo, J. (2024). Perencanaan Jaringan Drainase Perumahan Matani – Kabupaten Kupang. *Jurnal Teknik Sipil*, 13(2). <https://sipil.ejournal.web.id/index.php/jts/article/download/844/416/>
- Bustawan, N., & Purwanto, A. (2023). Penerapan Low Impact Development (LID) dalam Mendukung Kebijakan Zero Delta Q di Kabupaten Karawang. *Jurnal Ilmiah Karawang (JIKA)*, 1(1), 45–58.
- Butler, D., Farmani, R., Fu, G., Ward, S., Diao, K., & Astaraie-Imani, M. (2014). A new approach to urban water management: Safe and SuRe. *Procedia Engineering*, 89, 347–354. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2014.11.198>
- Gradien. (2025). Evaluasi Kinerja Hidraulik Saluran Drainase Akibat Alih Fungsi Lahan di Denpasar Utara. *Jurnal Teknik Gradien*, 17(2), 148–156. <https://ojs.unr.ac.id/index.php/teknikgradien/article/download/1702/1288>
- Harto, S. (1993). Analisis Hidrologi. Gramedia Pustaka Utama: Jakarta.
- Herwindo, W., & Bumi, I. S. (2023). Analisis Resapan Limpasan Air Hujan dalam Rangka Penerapan Zero Delta Q di Politeknik PU. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 14(2), 95–104. <https://doi.org/10.32679/jth.v14i2.743>
- Indriatmoko, R. H. (2018). Penerapan Prinsip Kebijakan Zero Delta Q dalam Pembangunan Wilayah. *Jurnal Air Indonesia*, 6(1), 22–30. <https://ejurnal.bppt.go.id/index.php/JAI/article/view/2457>
- Mandasari. (2024). Pengendalian Banjir dengan Konsep Kebijakan Zero Delta Q Menggunakan Sumur Resapan. *Jurnal Ilmiah Desain & Konstruksi*, 23(1). <https://ejournal.gunadarma.ac.id/index.php/dekons/article/view/11202>
- Radius, P., Setiawan, B. I., & Arif, C. (2022). Model Rancangan Zero Runoff Sistem (ZROS) Integrasi Bangunan Penampung Hujan dan Sumur Resapan. *Jurnal Rona Teknik Pertanian*, 15(1), 34–44.
- Rinaldy. (2021). Analisis Debit Banjir dengan Membandingkan Nilai Debit Banjir Metode Rasional dan Kapasitas Debit Aliran Sungai pada Sub-DAS Ciwaringin. *Padjadjaran Geoscience Journal*, 5(4), 424–432. <https://jurnal.unpad.ac.id/geoscience/article/download/35243/16120>
- Soemarto, C. D. (1999). Hidrologi Teknik Edisi Dua. Erlangga: Jakarta.
- Suripin. (2004). Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan. Andi Yogyakarta.
- Wardhani, A. R. (2022). Analisis Pengaruh Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Debit Banjir Kota Magelang Wilayah Timur Saluran Irigasi Progo Manggis. <https://dspace.uui.ac.id/handle/123456789/42312>
- Yanti, R. M. K., Wahyudi, S. I., & Muis, A. (2022). Optimalisasi Penerapan Kebijakan Zero Delta Q Policy dalam Skala Perumahan di Balikpapan. *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, 24(2), 112–121.
- Zhou, Q., Leng, G., Su, J., & Ren, Y. (2019). Comparison of urbanization and climate change impacts on urban flood volumes: Importance of urban planning and drainage adaptation. *Science of the Total Environment*, 658, 24–33. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.184>