

KAJIAN KAPASITAS DRAINASE DAN PENERAPAN *ECO-DRAINAGE* DALAM MITIGASI GENANGAN DI KELURAHAN GADING KASRI, KOTA MALANG

Ahmad Sibghul Huda¹, Medi Efendi², Chairul Muharis³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang³

Email: asibghulhuda@gmail.com¹, medipolinema@gmail.com², chairul.muharis@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Kelurahan Gading Kasri merupakan kawasan perkotaan dengan permukaan kedap dan jaringan drainase yang menerima aliran kumulatif dari beberapa ruas hulu. Penelitian ini bertujuan menentukan debit rencana, mengevaluasi kapasitas saluran eksisting, merencanakan sumur resapan sebagai penerapan *eco-drainage*, meredesain ruas yang tidak memenuhi, serta menghitung biaya penanganan. Analisis dilakukan pada daerah tangkapan air seluas 21 ha menggunakan data hujan maksimum Stasiun Sukun, Ciliwung, dan Dau tahun 2015–2024. Data diuji melalui kurva massa ganda, analisis frekuensi Gumbel Tipe I, uji Chi-Square dan Smirnov–Kolmogorov, rumus Mononobe, Metode Rasional, persamaan Manning, serta metode Sunjoto. Hasil analisis memperoleh curah hujan rancangan kala ulang 10 tahun sebesar 100,889 mm/hari, intensitas 183,327 mm/jam, dan akumulasi debit rencana 7,370 m³/detik. Dari 81 ruas saluran, 43 ruas memenuhi kapasitas, sedangkan 38 ruas memerlukan penanganan. Sebanyak 120 sumur resapan berdiameter 1,00 m dan berkedalaman 2,00 m direncanakan pada 38 ruas prioritas. Penerapannya menurunkan debit hujan dari 1,134 menjadi 0,505 m³/detik atau sebesar 55,45%. Ruas yang masih mengalami defisit direncanakan ulang menggunakan U-Ditch atau box culvert dan dilengkapi gorong-gorong, inlet, serta bangunan terjunan. Total Rencana Anggaran Biaya sebesar Rp8.137.637.930,00 termasuk PPN 12%. Hasil menunjukkan bahwa mitigasi genangan memerlukan kombinasi pengurangan limpasan di sumber, peningkatan kapasitas saluran, bangunan pelengkap, dan pemeliharaan rutin.

Kata kunci : drainase perkotaan, kapasitas saluran, debit banjir rancangan, *eco-drainage*, sumur resapan

ABSTRACT

Gading Kasri Urban Village is a densely developed urban area where impervious surfaces and cumulative upstream inflows increase the load on the drainage network. This study determines the design discharge, evaluates existing channel capacity, plans infiltration wells as an eco-drainage measure, redesigns inadequate sections, and estimates implementation costs. The analysis covers a 21 ha catchment using annual maximum rainfall records from Sukun, Ciliwung, and Dau stations for 2015–2024. The methods include double-mass curve testing, Gumbel Type I frequency analysis, Chi-Square and Smirnov–Kolmogorov tests, the Mononobe equation, Rational Method, Manning equation, and Sunjoto method. The 10-year design rainfall is 100.889 mm/day, with a rainfall intensity of 183.327 mm/hour and an accumulated design discharge of 7.370 m³/s. Of 81 drainage sections, 43 are adequate and 38 require intervention. A total of 120 infiltration wells, each 1.00 m in diameter and 2.00 m deep, are planned along 38 priority sections. The wells reduce rainfall runoff from 1.134 to 0.505 m³/s, equivalent to 55.45%. Remaining deficits are addressed using U-Ditch or box culvert sections supported by culverts, inlets, and drop structures. The estimated construction cost is IDR 8,137,637,930.00 including 12% VAT. The findings confirm that effective inundation mitigation requires source control, channel upgrading, supporting structures, and routine maintenance.

Keywords : urban drainage, channel capacity, design flood discharge, *eco-drainage*, infiltration well

1. PENDAHULUAN

Perubahan lahan terbuka menjadi kawasan terbangun meningkatkan limpasan permukaan dan mengurangi kemampuan infiltrasi tanah. Kondisi tersebut meningkatkan beban jaringan drainase perkotaan, terutama pada saluran hilir yang menerima akumulasi aliran dari beberapa ruas hulu. Kelurahan Gading Kasri, Kota Malang, merupakan kawasan padat permukiman, pendidikan, perdagangan, dan lalu lintas. Hasil survei menunjukkan adanya variasi dimensi saluran, sedimentasi, sampah, penyempitan penampang, serta beberapa ruas yang berpotensi tidak mampu menampung debit rencana.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penanganan genangan tidak cukup hanya melalui pembesaran saluran. Rehabilitasi jaringan perlu dipadukan dengan fasilitas infiltrasi, seperti sumur resapan, sumur injeksi, atau parit resapan, agar sebagian limpasan dapat dikendalikan di sumbernya. Namun, pada daerah tangkapan Gading Kasri belum terdapat kajian yang secara terpadu menghubungkan debit kumulatif antar-ruas, kapasitas saluran eksisting, efektivitas sumur resapan, kebutuhan redesain, bangunan pelengkap, dan biaya konstruksi.

Penelitian ini bertujuan menghitung debit banjir rancangan kala ulang 10 tahun, mengevaluasi kapasitas 81 ruas saluran, merencanakan sumur resapan berdasarkan SNI 8456:2025 dan metode Sunjoto, serta menentukan kebutuhan redesain dan Rencana Anggaran Biaya. Pendekatan tersebut digunakan untuk menyusun rekomendasi mitigasi genangan yang tidak hanya memperbesar kapasitas pengaliran, tetapi juga mengurangi limpasan melalui penerapan *eco-drainage*.

2. METODE

Pendekatan, Lokasi, dan Data

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif berbasis studi kasus di Kelurahan Gadingkasri, Kota Malang ini menentukan batas daerah tangkapan air (DTA) berdasarkan kontur, elevasi jalan, arah kemiringan lahan, dan keterhubungan saluran. Jaringan drainase dipetakan menjadi ruas-ruas yang dihubungkan oleh *node* pada titik persimpangan, perubahan dimensi, atau *outlet*, dengan mencatat atribut teknis tiap ruas seperti panjang, penampang, material, elevasi, dan luas DTA.

Data primer diperoleh dari survei lapangan yang mencakup dimensi, material, arah aliran, kerusakan, sedimentasi, elevasi, serta kondisi *inlet*. Data sekunder meliputi curah hujan maksimum 3 stasiun (2015–2024), peta topografi dan tata guna lahan, demografi, serta pedoman teknis terkait. Seluruh data diolah menggunakan *spreadsheet*, GIS, dan CAD untuk perhitungan hidrologi-hidraulika, pemetaan, serta penyusunan profil memanjang saluran.

Tahapan Analisis Hidrologi

Konsistensi data hujan diuji menggunakan kurva massa ganda. Curah hujan wilayah dihitung dari tiga stasiun, kemudian parameter statistiknya dibandingkan dengan Distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson Tipe III. Distribusi terpilih diuji melalui Smirnov–Kolmogorov dan Chi-Square.

Uji Konsistensi dan Curah Hujan Daerah

Konsistensi data hujan harian maksimum dari Stasiun Sukun, Ciliwung, dan Dau dievaluasi menggunakan metode kurva massa ganda dengan membandingkan akumulasi hujan tiap stasiun terhadap rata-rata stasiun pembanding. Data dinyatakan konsisten jika membentuk grafik linear yang stabil; jika terjadi deviasi kemiringan, penyesuaian dilakukan melalui faktor koreksi rasio kemiringan. Selanjutnya, curah hujan wilayah dihitung dengan metode rata-rata aljabar karena ketiga stasiun terdekat memadai untuk mewakili respons hujan pada DTA yang relatif kecil. Persamaan yang digunakan adalah:

$$P = \frac{1}{n} (P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n) \dots \dots \dots (1)$$

Keterangan :

P = Curah hujan rata-rata (mm)

P₁ = Curah hujan daerah (mm)

n = Jumlah data

Analisis Frekuensi dan Uji Distribusi

Pemilihan distribusi dilakukan dengan membandingkan koefisien kepengcengan (Cs) dan koefisien kepuncakan (Ck) data terhadap persyaratan Distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson Tipe III.

$$Cs = \frac{n \sum (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)(S)^3} \dots \dots \dots (2)$$

$$Ck = \frac{n^2 \sum (X_i - \bar{X})^4}{(n-1)(n-2)(n-3)(S)^4} \dots \dots \dots (3)$$

Keterangan:

Ck = Koefisien/kepuncakan

Cs = Koefisien/kepengcengan

X = Data/hujan (mm)

$\bar{x}$ = Rerata data hujan (m)

S = Standart deviasi

Distribusi terpilih tidak langsung digunakan, tetapi diuji kembali melalui uji Smirnov–Kolmogorov dan Chi-Square agar kesesuaian antara peluang empiris dan peluang teoritis dapat dikontrol.

a. Metode *Smirnov-Kolmogorov*

$$\Delta P = P_{\text{empiris}} - P_{\text{teoritis}} \dots \dots \dots (4)$$

b. Metode *Chi – Square*

$$\chi^2 = \frac{(X_{\text{empiris}} - X_{\text{teoritis}})^2}{X_{\text{teoritis}}} \dots \dots \dots (5)$$

Keterangan :

X^2 = Parameter Chi-Square
 X_{empiris} = X berdasarkan/kertas distribusi
 X_{teoritis} = X berdasarkan teoritis

Distribusi dinyatakan dapat diterima apabila D_{max} lebih kecil daripada nilai kritis D_o dan X^2_{hitung} lebih kecil daripada X^2_{tabel} pada taraf signifikansi 5%.

Intensitas Curah Hujan

Waktu konsentrasi tiap tangkapan dihitung berdasarkan panjang lintasan dan kemiringan; pada kawasan kecil diterapkan batas minimum 5 menit, nilai 0,083 jam untuk menghindari intensitas yang tidak realistis. Intensitas Mononobe dihitung sebagai:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^{\frac{2}{3}} \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
 R_{24} = Curah hujan maksimum (mm/hari)
 T_c = Waktu Konsentrasi (jam)

Debit Banjir Rancangan

Debit banjir rancangan dihitung menggunakan Metode Rasional :

$$Q = 0,00278 \cdot C \cdot I \cdot A \dots \dots \dots (7)$$

Q = Debit banjir rancangan (m^3/detik)
 C = Koefisien pengalihan
 I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
 A = Luas daerah pengaliran (m^2)

Limbah Domestik, dan Debit Rencana

Debit limbah domestik dihitung sebagai:

$$Q_p = F_p \times Q_{ab} \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan :

Q_{ab} = Debit rata-rata air buangan (L/detik)
 P = Jumlah penduduk
 q = Kebutuhan air (L/jiwa/hari)
 F_p = Faktor puncak

$$Q_{\text{rencana}} = Q_{\text{limpasan}} + Q_{\text{limbah}} + \Sigma Q_{\text{hulu}} \dots \dots \dots (9)$$

Analisis Hidraulika dan Redesain

Untuk saluran persegi panjang, luas penampang $A = b \cdot h$ dan keliling basah $P = b + 2h$. Untuk saluran trapesium dengan lebar dasar b dan kemiringan sisi z , $A = (b + z \cdot h)h$ dan $P = b + 2h\sqrt{(1 + z^2)}$. Jari-jari hidraulik dihitung dengan:

$$R = \frac{A}{P} \dots \dots \dots (10)$$

Kecepatan dan kapasitas saluran dihitung menggunakan persamaan Manning:

$$V = \frac{1}{n} \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \dots \dots \dots (11)$$

$$Q = A \times V \dots \dots \dots (12)$$

Keterangan :

V = Kecepatan (m/detik)
 N = Koefisien Manning
 R = Jari-jari hidraulik (m)
 S = Kemiringan dasar

Q_{kap} = Kapasitas (m^3/detik)

Kondisi aliran dikontrol menggunakan bilangan Froude:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g \times D}} \dots \dots \dots (13)$$

Keterangan :

G = Percepatan gravitasi $9,81 \text{ m/detik}^2$
 D = Kedalaman hidraulik (m)
 T = Lebar muka air (m)

Perencanaan Sumur Resapan dan Evaluasi Reduksi

Sumur resapan direncanakan sesuai persyaratan SNI 8456:2025. Pemeriksaan mencakup permeabilitas tanah, jarak terhadap bangunan dan sumber pencemar, kedalaman muka air tanah, ruang utilitas, akses pemeliharaan, serta ketersediaan lahan. Pada sumur silinder berpori digunakan luas penampang $A_w = \pi r^2$ dan faktor geometrik $F = 5,5r$. Persamaan kedalaman metode Sunjoto dituliskan sebagai:

$$H = \frac{Q}{F \times K} \left(1 - e^{-\frac{FKT}{\pi R^2}} \right) \dots \dots \dots (14)$$

Keterangan :

H = Kedalaman air dalam sumur (m)
 Q = Debit masuk (m^3/detik)
 F = Faktor geometrik (m)
 K = Koefisien permeabilitas (m/detik)
 t = Durasi pengisian (detik)
 A_w = Luas penampang sumur (m^2)

Sementara itu, untuk menguji kondisi mendekati tunak (*steady-state*) pada dimensi sumur yang telah ditetapkan, kapasitas infiltrasi praktis dihitung menggunakan rumus:

$$Q_{\text{resap}} = \frac{H \times F \times K}{1 - e^{-\frac{F \times K \times t}{R}}} \dots \dots \dots (15)$$

Jumlah hidraulik teoritis diperoleh dari $N = Q_{\text{target}}/Q_{\text{resap}}$, sedangkan jumlah terpasang disesuaikan dengan ruang dan interval penempatan. Efektivitas dinyatakan:

$$\text{Reduksi} = \frac{(Q_{\text{sebelum}} - Q_{\text{setelah}})}{Q_{\text{sebelum}}} \times 100\% \dots \dots \dots (16)$$

Hasil akhir tersebut selanjutnya dievaluasi kembali terhadap kapasitas redesain. Tahap verifikasi ini krusial untuk memastikan bahwa sumur resapan berfokus mereduksi beban limpasan tanpa mengabaikan kontrol kapasitas utama saluran. Di samping itu, penelitian ini juga merinci kebutuhan gorong-gorong, *inlet*, bangunan terjunan, serta estimasi biaya konstruksi berbasis kalkulasi volume pekerjaan dan analisis harga satuan setempat.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Umum dan Jaringan Drainase Eksisting

Jaringan eksisting sejajar koridor jalan menampung limpasan dari area permukiman, pendidikan, komersial, dan jalan. Akibat akumulasi aliran hulu, beban saluran hilir tidak sebanding dengan luas DTA lokalnya. Kondisi ini diperparah oleh endapan sedimen dan sampah yang memperkecil penampang efektif, serta variasi dimensi dan elevasi yang memicu ketidakseragaman kapasitas aliran.



Gambar 1. Area penelitian, pembagian blok, dan arah aliran area kajian

Sumber: Hasil analisis, 2026

Konsistensi Data, Hujan Wilayah, dan Distribusi Frekuensi

Uji kurva massa ganda pada data hujan harian maksimum tiga stasiun (Sukun, Ciliwung, Dau) menghasilkan faktor koreksi awal sebesar 1,029, 0,923, dan 1,118. Pasca-koreksi, deret data 2015–2024 dinyatakan konsisten dengan rerata hujan wilayah 79,745 mm/hari ($S = 11,439$ mm/hari) pada rentang 58,000–96,109 mm/hari.

Berdasarkan parameter statistik ($C_s = -0,529$ dan $C_k = 4,056$), distribusi Gumbel Tipe I dipilih karena memenuhi kriteria $C_s \leq 1,14$ dan $C_k \leq 5,4$. Distribusi ini dinyatakan diterima berdasarkan uji Kolmogorov-Smirnov ($\Delta P_{maks} = 0,148 < D_0 = 0,410$) dan *Chi-Square* memberikan $X^2_{hitung} 1,594 < X^2_{kritis} 14,067$. Hasil analisis menghasilkan curah hujan rancangan kala ulang 10 tahun sebesar 100,889 mm/hari, yang sesuai untuk jaringan drainase perkotaan berisiko genangan tinggi.

Tabel 1. Ringkasan Hasil Analisis Hidrologi

Parameter	Hasil	Keterangan
Periode data	2015-2024	10 tahun
Stasiun hujan	Sukun, Ciliwung, Dau	Kurva massa ganda
Rerata hujan maksimum wilayah	79,745 mm/hari	Setelah koreksi

Simpangan baku	11,439 mm/hari	-
Distribusi terpilih	Gumbel Tipe I	$C_s = -0,529$; $C_k = 4,056$
Hujan rancangan T10	100,889 mm/hari	Dipakai dalam desain
Kolmogorov-Smirnov	$0,148 < 0,410$	Diterima
Chi-Square	$1,594 < 14,067$	Diterima
Waktu konsentrasi minimum	5 menit (0,083 jam)	Batas kawasan kecil
Intensitas Mononobe	183,327 mm/jam	Untuk t_c minimum

Dengan t_c minimum 5 menit, intensitas hujan metode Mononobe menghasilkan angka 183,327 mm/jam. Angka yang cukup tinggi ini menunjukkan betapa cepatnya kawasan merespons hujan akibat dominasi permukaan kedap air. Patokan t_c minimum ini diambil sebagai langkah aman (konservatif), meski perhitungan t_c riil untuk saluran dengan lintasan panjang tetap harus dihitung terpisah supaya nilainya tidak disamaratakan. Di samping itu, keterbatasan data 10 tahun perlu diantisipasi lewat pembaruan data dan uji sensitivitas saat masuk tahap detail engineering desain (DED).

Debit Limpasan, Limbah Domestik, dan Akumulasi Jaringan

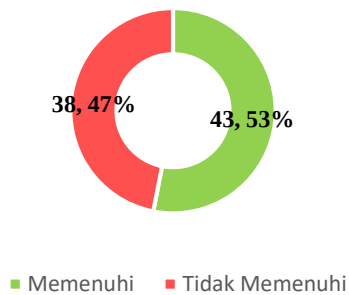
Perhitungan limpasan memisahkan fungsi lahan dan debit domestik. Sebagai sampel pada Blok 1 (Saluran 3-4), limpasan jalan ($A = 400,956 \text{ m}^2$; $C = 0,80$) menghasilkan $0,016 \text{ m}^3/\text{detik}$ dan permukiman ($A = 1.429,480 \text{ m}^2$; $C = 0,60$) menyumbang $0,044 \text{ m}^3/\text{detik}$. Ditambah air limbah domestik $0,000071 \text{ m}^3/\text{detik}$ (8 rumah, $q = 120 \text{ L/jiwa/hari}$, $f_{puncak} = 2$), total Q_{lokal} tercatat $0,06008 \text{ m}^3/\text{detik}$.

Namun, Saluran 3-4 juga menerima pasokan hulu Saluran 2-3 sebesar $0,259 \text{ m}^3/\text{detik}$, sehingga $Q_{\text{kumulatif}}$ melonjak hingga $0,3194 \text{ m}^3/\text{detik}$. Hal ini membuktikan dominasi limpasan hulu terhadap beban hilir—yang mana beban riil jaringan mencapai lima kali lipat Q_{lokal} . Oleh karena itu, matriks konektivitas menjadi elemen krusial agar kapasitas saluran tidak terbiaskan oleh sekadar analisis lokal.

Evaluasi Kapasitas Saluran Eksisting

Dari total 81 ruas yang dianalisis, 43 ruas atau 53,09% memenuhi kapasitas, sedangkan 38 ruas atau 46,91% belum memenuhi. Hasil ini menunjukkan bahwa masalah tidak terjadi pada seluruh jaringan, tetapi terkonsentrasi pada ruas

tertentu yang memiliki penampang terbatas, menerima debit kumulatif besar, atau mengalami hambatan fisik.



Gambar 2. Status kapasitas saluran drainase eksisting
Sumber: Hasil analisis, 2026

Sebagai contoh, Saluran 3–4 (trapesium eksisting) hanya mampu menampung $\approx 47\%$ dari debit kumulatif ($0,319 \text{ m}^3/\text{s}$) meskipun kecepatan alirannya ($0,666 \text{ m/s}$) aman dari erosi. Nilai bilangan Froude $Fr = 0,341$ (subkritis) mengonfirmasi bahwa kendala utama terletak pada kapasitas penampang dan energi pengaliran, bukan ketidakstabilan aliran.

Perencanaan Sumur Resapan

Sumur resapan direncanakan sebagai pengendali limpasan di sumber, bukan pengganti saluran. Setiap unit dirancang berdiameter 1,00 m dengan kedalaman 2,00 m, dilengkapi *inlet* dan bak kontrol untuk menyaring sampah serta sedimen. Selain itu, saluran *overflow* tetap disediakan untuk mengalirkan kelebihan air ke jaringan drainase utama.

Contoh perhitungan pada ruas 3-4:

$$Q_{\text{hujan}} = 0,016 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$r = 0,50 \text{ meter}$$

$$K = 0,00000589 \text{ m/detik}$$

$$H = 2 \text{ meter}$$

$$T = 0,083 \text{ jam} = 300 \text{ detik}$$

$$A_s = \pi \times r^2 = 3,14 \times 0,5^2 = 0,78 \text{ m}^2$$

$$F = 5,5 \times r = 5,5 \times 0,50 = 2,75$$

$$Q_{\text{resapan 1 sumur}} = \frac{H \times F \times K}{1 - e^{-\frac{F \times K \times t}{R}}}$$

$$= \frac{2 \times 2,75 \times 0,00000589}{1 - e^{-\frac{2,75 \times 0,00000589 \times 300}{0,785}}}$$

$$= 0,00525 \text{ m}^3/\text{unit}$$

$$\text{Jumlah Sumur} = \frac{\text{Panjang Saluran}}{\text{Jarak Rencana}}$$

$$= \frac{66,826}{50}$$

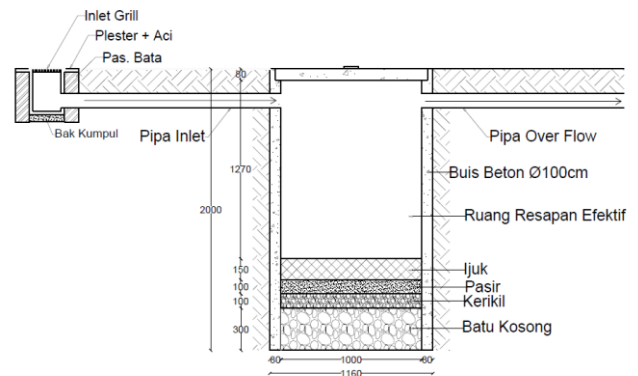
$$= 1,34 \approx 2 \text{ buah}$$

$$\text{Total Debit Resapan} = 2 \times 0,00525 = 0,011 \text{ m}^3/\text{detik}$$

$$\text{Presentase Reduksi} = \frac{\text{Total } Q_{\text{resapan}}}{Q_{\text{hujan}}} \times 100\%$$

$$= \frac{0,011}{0,016} \times 100\%$$

$$= 64,307 \%$$

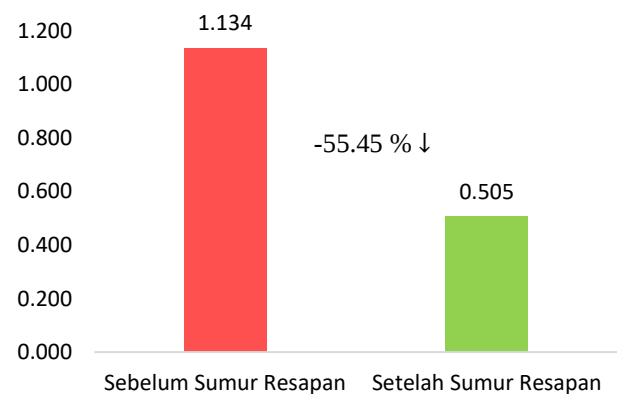


Gambar 3. Detail sumur resapan
Sumber: Hasil perencanaan berdasarkan SNI 8456:2025 dan metode Sunjoto, 2026

Sebanyak 120 unit sumur resapan direncanakan secara tersebar pada 38 ruas prioritas yang mengalami defisit kapasitas. Penempatan titik berlokasi di bahu jalan atau ruang utilitas dengan mempertimbangkan jaringan eksisting, akses pemeliharaan, serta jarak aman struktur.

Reduksi Debit dan Implikasi Hidraulika

Penerapan sumur resapan terdistribusi pada 38 ruas prioritas berhasil memotong debit hujan dari $1,134 \text{ m}^3/\text{detik}$ menjadi $0,505 \text{ m}^3/\text{detik}$. Reduksi aktual sebesar $0,629 \text{ m}^3/\text{detik}$ (55,45%) ini membuktikan efektivitas sistem infiltrasi dalam memangkas lebih dari separuh beban limpasan sebelum terkonsentrasi ke saluran hilir.



Gambar 4. Perubahan debit hujan sebelum dan setelah sumur resapan
Sumber: Hasil analisis, 2026

Meskipun efisiensi reduksi mencapai 55,45%, angka ini masih berbasis asumsi nilai koefisien permeabilitas (K) dari studi terdahulu di Kota Malang. Oleh karena itu, tahap pra-

konstruksi tetap memerlukan pengujian tanah lokal, verifikasi muka air tanah, serta pemeriksaan utilitas bawah tanah. Selain itu, skema pemeliharaan bak kontrol secara rutin wajib diterapkan guna mencegah akumulasi sedimen yang dapat menyumbat bidang resapan dan menurunkan kinerja sistem.

Redesain Saluran, Box Culvert, dan Kontrol Elevasi

Setelah reduksi dari sumur resapan, debit rencana Saluran 3-4 menjadi 0,2931 m³/detik. Redesain menggunakan U-Ditch 0,60 × 0,60 m dengan kedalaman aliran 0,40 m dan tinggi jagaan 0,20 m. Nilai $n = 0,013$ dan $S = 0,006$

a. Menghitung luas penampang

$$\begin{aligned} A &= b \times h \\ &= 0,60 \times 0,40 \\ &= 0,240 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

b. Menghitung keliling basah saluran

$$\begin{aligned} P &= b + 2h \\ &= 0,60 + (2 \times 0,40) \\ &= 1,400 \text{ m} \end{aligned}$$

c. Menghitung jari-jari hidrolis saluran

$$\begin{aligned} R &= \frac{A}{P} \\ &= \frac{0,24}{1,40} \\ &= 0,171 \text{ m} \end{aligned}$$

d. Menghitung kecepatan aliran

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S^{\frac{1}{2}} \\ &= \frac{1}{0,13} \cdot (0,171)^{\frac{2}{3}} \cdot 0,006^{\frac{1}{2}} \\ &= 1,878 \text{ m/detik} \end{aligned}$$

Kontrol Kecepatan :

$$V_{\text{Maks}} \geq V \geq V_{\text{Min}}$$

$$3 \geq 1,878 \geq 0,6 \rightarrow \text{Aman}$$

e. Menghitung kapasitas debit saluran rencana

$$\begin{aligned} Q_{\text{kapasitas}} &= V \times A \\ &= 1,878 \times 0,24 \\ &= 0,451 \text{ m}^3/\text{detik} \end{aligned}$$

Kontrol kapasitas saluran :

$$Q_{\text{kapasitas}} \geq Q_{\text{rencana}}$$

$$0,451 \geq 0,293 \rightarrow \text{Aman}$$

f. Menghitung bilangan Froude

$$\begin{aligned} Fr &= \frac{V}{\sqrt{g \times h}} \\ &= \frac{1,887}{\sqrt{9,81 \times 0,40}} \\ &= 0,948 \end{aligned}$$

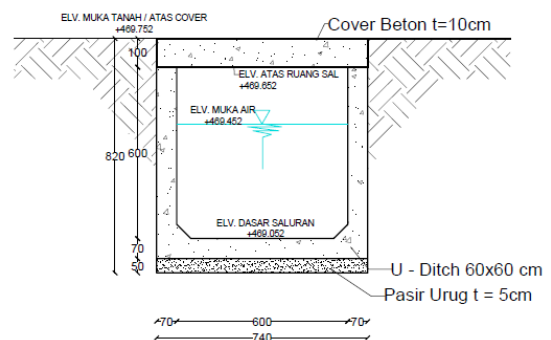
Kontrol :

$$Fr < 1$$

$$0,948 < 1 \rightarrow \text{Subkritis (Aman)}$$

Kontrol elevasi dilakukan dari muka tanah, puncak saluran, muka air, dan invert. Pada Saluran 3-4, puncak awal 469,852 m, muka air awal 469,652 m, dan invert awal 469,252 m. Penurunan dasar sepanjang 66,826 m pada $S = 0,006$ adalah

0,418 m, sehingga puncak akhir 469,434 m masih lebih rendah daripada muka tanah akhir 469,724 m.



Gambar 5. Saluran U-Ditch 60x60

Tabel 2. Contoh hasil evaluasi dan redesain hidraulika

Ruas	Penampang	Qrencana (m ³ /s)	Qkap (m ³ /s)	Status
Saluran 3-4 eksisting	Trapesium; b bawah 0,55 m; h 0,40 m	0,3194	0,151	Tidak memenuhi
Saluran 3-4 redesain	U-Ditch 0,60 × 0,60 m; h 0,40 m	0,2931	0,451	Memenuhi
Box culvert 4-8	0,80 × 0,80 m; h 0,533 m	0,515	0,950	Memenuhi

Bangunan Terjunan dan Inlet

Pengendalian kecepatan aliran dan kedalaman galian pada ruas curam dilakukan melalui instalasi 16 unit terjunan terbuka dan 11 unit *drop chamber* (20 tingkat)—seperti pada Ruas 17–19 (5 × 0,685 m) dan Ruas 1–6 (3 × 0,690 m). Sistem ini dilengkapi 120 unit *inlet* terdistribusi di 38 ruas prioritas yang dievaluasi berdasarkan kemiringan jalan, toleransi genangan, serta potensi penyumbatan.

Integrasi Solusi, Biaya, dan Implikasi

Hasil penelitian menunjukkan bahwa mitigasi genangan paling efektif dicapai melalui strategi kombinasi. Pembersihan saluran memulihkan kapasitas eksisting, sedangkan redesain penampang dan pemasangan *box culvert* mengatasi keterbatasan geometrik serta perlintasan jalan. Pengendalian energi dan elevasi dikelola melalui bangunan terjunan, sementara *inlet* memaksimalkan tangkapan air permukaan. Adapun sumur resapan berperan penting dalam mereduksi debit limpasan langsung dari sumbernya.

Tabel 4. Ringkasan komponen penanganan dan biaya

Komponen	Jumlah/nilai	Keterangan
Sumur resapan	120 unit	Ø 1,00 m; kedalaman 2,00 m; Q teoritis 0,00525 m ³ /s/unit

Gorong-gorong/box culvert	18 ruas; 85 m	Disesuaikan debit dan beban jalan
Bangunan terjunan terbuka	16 buah	Tinggi tiap tahap dikontrol $\leq 0,80$ m
Drop chamber tertutup	11 buah	Untuk perubahan elevasi pada saluran tertutup
Inlet	120 unit pada 38 ruas	Grill rencana $0,20 \times 0,20$ m; perlu faktor sumbatan
Biaya konstruksi sebelum PPN	Rp7.265.748.151,19	Pekerjaan persiapan, tanah, saluran, sumur, finishing
PPN 12%	Rp871.889.778,14	-
Total dibulatkan	Rp8.137.637.930,00	Tidak termasuk pembebasan lahan, operasi, dan pemeliharaan

Total Rencana Anggaran Biaya (RAB) direncanakan sebesar Rp8.137.637.930,00 (termasuk PPN 12%), mencakup seluruh struktur drainase, bangunan pelengkap, dan 120 unit sumur resapan (di luar pembebasan lahan dan pemeliharaan). Biaya ini bersifat estimasi paket keseluruhan yang dapat dilaksanakan secara bertahap. Tahap pertama diprioritaskan pada ruas dengan defisit kapasitas terbesar, debit tinggi, dan lokasi genangan berulang.

Secara lingkungan, penerapan infiltrasi ini efektif menahan air di kawasan serta mereduksi pelepasan debit secara masif ke hilir. Air hasil resapan/tangkapan dapat difungsikan untuk kebutuhan non-konsumsi (seperti penyiraman atau pencucian) setelah melalui proses pengendapan.

4 KESIMPULAN

1. Hujan rancangan 10 tahun sebesar 100,889 mm/hari dengan intensitas 183,327 mm/jam dan memenuhi kedua uji distribusi.
2. Dari 81 ruas saluran, 43 ruas memenuhi kapasitas dan 38 ruas mengalami defisit. Ruas yang belum memenuhi memerlukan normalisasi dan redesain menggunakan U-Ditch atau box culvert dengan kontrol kapasitas, kecepatan, bilangan Froude, tinggi jagaan, dan elevasi.
3. Redesain dan kontrol elevasi menjadikan kapasitas saluran memenuhi; penanganan dilengkapi gorong-gorong, inlet, 16 terjunan terbuka, 11 drop chamber dan 120 inlet.
4. Sebanyak 120 sumur resapan berdiameter 1,00 m dan berkedalaman 2,00 m menurunkan debit hujan pada 38 ruas prioritas dari 1,134 menjadi 0,505 m³/detik atau sebesar 55,45%. Sumur resapan efektif sebagai pengendali di sumber, tetapi tidak menggantikan kebutuhan saluran yang memadai.
5. Mitigasi genangan direkomendasikan melalui kombinasi sumur resapan, redesain saluran, gorong-gorong, inlet,

bangunan terjunan, dan pemeliharaan rutin. Estimasi biaya penanganan sebesar Rp8.137.637.930,00 termasuk PPN 12%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Suripin, Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan. Yogyakarta: Andi, 2004.
- [2] I. M. Kamiana, Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2011.
- [3] S. A. F. Suharto, M. Charits, dan A. C. Harifa, "Penerapan Eco-Drainage sebagai Upaya Penanggulangan Genangan pada Pemukiman Jalan Ciliwung-Jalan Citandui, Kota Malang," JOS-MRK, vol. 4, no. 4, pp. 41–48, 2023.
- [4] D. P. Farliani, M. Bisri, dan R. D. Lufira, "Evaluasi Sistem Drainase dan Penerapan Ecodrainage di Jalan Andalas Kota Malang Menggunakan SWMM 5.1," Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air, vol. 4, no. 2, 2024.
- [5] O. R. Hamdani, U. Andawayanti, dan R. D. Lufira, "Evaluasi saluran drainase dan penerapan eco drainage di Kecamatan Genuk," J. Teknol. Rekayasa SDA, vol. 5, no. 2, 2025.
- [6] A. R. Cansian, D. A. Guzmán, A. Rosa, dan J. T. Machado, "Nature-Based Solutions for Urban Drainage: A Systematic Review of Sizing and Monitoring Methods," Water, vol. 17, no. 17, p. 2524, 2025.
- [7] M. I. Rodríguez-Rojas, F. J. Garrido-Jiménez, F. J. Abarca-Álvarez, dan M. R. Vallecillos-Siles, "Advances in the Integration of Sustainable Drainage Systems into Urban Planning: A Case Study," Sustainability, vol. 16, no. 7, p. 2658, 2024.
- [8] V. T. Chow, Open-Channel Hydraulics. New York: McGraw-Hill, 1959.
- [9] Badan Standardisasi Nasional, SNI 8456:2025 Sumur dan Parit Resapan Air Hujan. Jakarta: BSN, 2025.
- [10] Sunjoto, Outline Teknik Drainase Pro-Air. Yogyakarta, 2011.
- [11] Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia, Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 12/PRT/M/2014 tentang Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan. Jakarta, 2014.
- [12] Direktorat Jenderal Bina Marga, Pedoman Inventarisasi Drainase Jalan. Jakarta: Kementerian PUPR, 2023.