

Evaluasi Risiko Genangan pada Skenario Drainase Perkotaan Menggunakan Metode Rasional dan Pemetaan Kapasitas Saluran

Muhammad Arga Saputra*¹

Email: arga.saputra@unm.ac.id

¹Universitas Nusantara Mandiri, Semarang, Indonesia

*Corresponding Author

Article Information	Abstract
Keywords: urban drainage; inundation risk; Rational Method; channel capacity; Manning equation	<i>The increase in impervious surfaces in urban areas can intensify surface runoff and increase inundation risk when drainage channel capacity is insufficient to convey the design rainfall discharge. This study aims to evaluate inundation risk in urban drainage scenarios using the Rational Method and channel capacity mapping. The study employed a scenario-based quantitative evaluative design involving five drainage channel scenarios representing variations in urban area characteristics, catchment area, runoff coefficient, channel dimensions, and channel slope. Runoff discharge was calculated using the Rational Method, while channel capacity was estimated using the Manning equation for rectangular open channels. The results show that S5 had the highest risk, with an inundation risk ratio of 0.8420, placing it in the moderate or critical category, whereas S4 represented the safest condition, with a channel capacity of 0.4624 m³/s and a risk ratio of 0.2735. These findings indicate that inundation risk cannot be assessed solely from runoff discharge or channel dimensions separately, but should be evaluated through the balance between runoff load and channel conveyance capacity. The scientific contribution of this study lies in developing a simple, quantitative, and replicable preliminary evaluation model to identify drainage scenarios that are safe, critical, or require priority intervention.</i>

Abstrak	
Kata Kunci: <i>drainase perkotaan; risiko genangan; Metode Rasional; kapasitas saluran; persamaan Manning</i>	Peningkatan permukaan kedap air pada kawasan perkotaan dapat memperbesar limpasan permukaan dan meningkatkan risiko genangan apabila kapasitas saluran drainase tidak mampu menampung debit hujan rencana. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi risiko genangan pada skenario drainase perkotaan menggunakan metode rasional dan pemetaan kapasitas saluran. Penelitian menggunakan desain evaluatif-kuantitatif berbasis skenario analitis dengan lima skenario saluran yang merepresentasikan variasi karakter kawasan, luas tangkapan, koefisien limpasan, dimensi saluran, dan kemiringan saluran. Debit limpasan dihitung menggunakan metode rasional, sedangkan kapasitas saluran dihitung menggunakan persamaan Manning pada saluran berbentuk persegi panjang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa S5 memiliki risiko tertinggi dengan nilai rasio risiko genangan sebesar 0,8420, sehingga masuk kategori sedang atau kritis, sedangkan S4 menunjukkan kondisi paling aman dengan kapasitas saluran sebesar 0,4624 m³/detik dan rasio risiko sebesar 0,2735. Temuan ini menunjukkan bahwa risiko genangan tidak dapat dinilai hanya dari besarnya debit limpasan atau dimensi saluran secara terpisah, tetapi perlu dianalisis melalui keseimbangan antara debit limpasan dan kapasitas saluran. Kontribusi penelitian ini terletak pada penyusunan model evaluasi awal yang sederhana, kuantitatif, dan mudah direplikasi untuk mengidentifikasi skenario drainase yang aman, kritis, dan memerlukan prioritas penanganan.



I. PENDAHULUAN

Pertumbuhan kawasan perkotaan mendorong peningkatan permukaan kedap air seperti jalan beraspal, area parkir, bangunan, dan perkerasan kawasan permukiman. Perubahan ini berdampak langsung terhadap berkurangnya kemampuan tanah dalam menyerap air hujan, sehingga volume limpasan permukaan menjadi lebih besar [1]. Dalam sistem perkotaan, limpasan yang tidak tertampung oleh saluran drainase dapat menimbulkan genangan pada ruas jalan, kawasan permukiman, dan area pelayanan publik [2], [3]. Genangan tersebut tidak hanya mengganggu mobilitas, tetapi juga menunjukkan adanya ketidakseimbangan antara debit limpasan dan kapasitas saluran yang tersedia [4], [5]. Oleh karena itu, evaluasi risiko genangan perlu dilakukan melalui pendekatan yang mampu menghubungkan karakteristik limpasan, dimensi saluran, dan kemampuan sistem drainase dalam menerima beban hidrologis.

Fenomena genangan perkotaan sering kali terjadi bukan hanya karena curah hujan tinggi, tetapi juga akibat perubahan tata guna lahan, peningkatan koefisien limpasan, keterbatasan kapasitas saluran, sedimentasi, dan rendahnya efektivitas pemeliharaan drainase [2], [4]. Pada kawasan dengan kepadatan bangunan tinggi, sebagian besar air hujan lebih cepat berubah menjadi aliran permukaan karena area resapan semakin terbatas [1]. Kondisi ini memperbesar debit puncak yang harus dialirkan oleh sistem drainase dalam waktu relatif singkat. Jika dimensi saluran tidak sebanding dengan debit limpasan, maka risiko genangan akan meningkat, terutama pada segmen saluran yang memiliki kapasitas hidraulik kecil [2], [4], [5]. Permasalahan ini menunjukkan bahwa analisis drainase tidak cukup hanya membahas keberadaan saluran, tetapi perlu menilai hubungan antara beban limpasan dan kapasitas aliran pada beberapa kondisi perkotaan yang berbeda.

Dalam konteks kebijakan dan perencanaan infrastruktur, sistem drainase perkotaan diarahkan untuk mengendalikan kelebihan air permukaan agar tidak mengganggu fungsi kawasan. Pedoman penyelenggaraan drainase perkotaan di Indonesia menekankan bahwa sistem drainase harus direncanakan untuk mengalirkan air hujan, mengendalikan genangan, serta mendukung keberlanjutan lingkungan perkotaan. Namun, penerapan evaluasi drainase sering kali membutuhkan data lapangan yang cukup rinci, seperti dimensi saluran aktual, kondisi sedimen, data curah hujan lokal, topografi, dan batas daerah tangkapan [4], [5]. Keterbatasan data tersebut dapat menjadi hambatan dalam melakukan kajian awal, terutama pada penelitian skala kecil atau kajian akademik yang tidak berbasis proyek konstruksi tertentu. Karena itu, pendekatan berbasis skenario dapat digunakan sebagai alternatif untuk memahami pola hubungan antara debit limpasan dan kapasitas saluran secara terukur tanpa mengklaim kondisi eksisting suatu lokasi tertentu.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah membahas drainase perkotaan, limpasan permukaan, dan risiko genangan melalui berbagai pendekatan. Studi tentang banjir perkotaan menunjukkan bahwa peningkatan area kedap air dan kejadian hujan ekstrem dapat memperbesar tekanan terhadap infrastruktur drainase, khususnya di kawasan dengan pertumbuhan fisik yang cepat [4], [6], [7]. Penelitian lain, misalnya [2], [5], [8] menekankan pentingnya analisis kapasitas saluran untuk menentukan apakah jaringan drainase mampu menampung debit rencana pada periode hujan tertentu. Selain itu, berbagai kajian hidrologi perkotaan telah menggunakan pemodelan numerik, simulasi drainase, pendekatan hidraulik, dan sistem informasi geografis untuk memetakan potensi genangan secara spasial [1], [3], [9], [10]. Meskipun pendekatan tersebut memberikan hasil yang rinci, sebagian metode membutuhkan data input yang kompleks dan perangkat pemodelan khusus [4], [5]. Pada sisi lain, Metode Rasional masih relevan digunakan untuk estimasi debit limpasan pada daerah tangkapan kecil karena formulanya sederhana, mudah diterapkan, dan dapat dikombinasikan dengan analisis kapasitas saluran [11], [12], [13].

Metode Rasional merupakan salah satu pendekatan dasar dalam hidrologi perkotaan yang menghubungkan koefisien limpasan, intensitas hujan, dan luas daerah tangkapan untuk memperoleh debit limpasan rencana. Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya memberikan estimasi awal debit puncak dengan kebutuhan data yang relatif sederhana. Dalam penelitian berbasis skenario, Metode Rasional dapat digunakan untuk menyusun variasi kondisi limpasan berdasarkan perbedaan luas daerah tangkapan, tingkat kekedapan permukaan, dan intensitas hujan rencana [11], [12]. Hasil perhitungan debit kemudian dapat dibandingkan dengan kapasitas saluran untuk mengetahui apakah suatu skenario berada pada kondisi aman, kritis, atau berisiko terhadap genangan. Dengan demikian, kombinasi Metode Rasional dan pemetaan kapasitas saluran dapat menghasilkan evaluasi yang tidak hanya bersifat numerik, tetapi juga mudah divisualisasikan dalam bentuk diagram segmen risiko.

Meskipun kajian drainase perkotaan telah berkembang luas, masih terdapat celah pada penelitian yang menyajikan model evaluasi sederhana, transparan, dan mudah direplikasi untuk menilai risiko genangan berbasis skenario. Sebagian penelitian berfokus pada studi kasus lapangan yang membutuhkan data lokasi spesifik, sedangkan penelitian lain menggunakan model hidrologi-hidraulik yang lebih kompleks. Pendekatan tersebut penting untuk evaluasi teknis lanjutan, tetapi tidak selalu sesuai untuk kajian awal yang bertujuan memahami sensitivitas risiko genangan terhadap perubahan parameter dasar drainase. Selain itu, kajian yang hanya menghitung debit limpasan tanpa membandingkannya dengan kapasitas saluran belum cukup menunjukkan tingkat efektivitas sistem drainase. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang mengintegrasikan perhitungan debit limpasan, estimasi kapasitas saluran, dan pemetaan risiko dalam satu kerangka evaluasi berbasis skenario.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi risiko genangan pada skenario drainase perkotaan menggunakan Metode Rasional dan pemetaan kapasitas saluran. Skenario disusun untuk merepresentasikan variasi karakteristik kawasan perkotaan, seperti perbedaan luas daerah tangkapan, koefisien limpasan, intensitas hujan rencana, dan dimensi saluran. Debit limpasan dihitung menggunakan Metode Rasional, kemudian dibandingkan dengan kapasitas saluran untuk memperoleh rasio kapasitas terhadap beban limpasan. Rasio tersebut selanjutnya digunakan untuk mengklasifikasikan tingkat risiko genangan pada setiap skenario saluran. Berdasarkan tujuan tersebut, pertanyaan penelitian yang diajukan adalah: bagaimana tingkat risiko genangan pada beberapa skenario drainase perkotaan berdasarkan perbandingan debit limpasan dan kapasitas saluran, serta skenario mana yang menunjukkan prioritas penanganan paling tinggi?

Kontribusi penelitian ini terletak pada penyusunan kerangka evaluasi risiko genangan yang sederhana, kuantitatif, dan dapat direplikasi tanpa harus bergantung pada data lapangan yang kompleks. Secara metodologis, penelitian ini menggabungkan Metode Rasional dengan pemetaan kapasitas saluran untuk menunjukkan hubungan antara parameter hidrologis dan kemampuan saluran dalam menampung debit limpasan. Secara praktis, hasil penelitian dapat digunakan sebagai dasar awal untuk memahami kondisi saluran yang berpotensi aman, kritis, atau berisiko sebelum dilakukan survei teknis yang lebih detail. Secara akademik, penelitian ini memberikan contoh penerapan model evaluatif berbasis skenario dalam kajian drainase perkotaan, khususnya untuk mendukung pembelajaran, analisis awal, dan perencanaan konseptual infrastruktur drainase.

II. PENELITIAN TERKAIT

Kajian mengenai genangan perkotaan umumnya menempatkan limpasan permukaan sebagai faktor utama yang memengaruhi beban sistem drainase. Ketika tutupan lahan berubah menjadi permukaan kedap air, kemampuan infiltrasi tanah menurun dan volume air yang mengalir di permukaan meningkat [6], [14]. Kondisi ini menyebabkan debit puncak lebih cepat terbentuk, terutama pada kawasan dengan kepadatan bangunan tinggi dan ruang terbuka yang terbatas. Beberapa studi seperti [2], [6] menunjukkan bahwa peningkatan permukaan kedap air, keterbatasan kapasitas saluran, dan perubahan intensitas hujan dapat memperbesar risiko banjir atau genangan perkotaan. Oleh karena itu, evaluasi risiko genangan perlu melihat hubungan antara karakteristik limpasan, kapasitas saluran, dan kemampuan sistem drainase dalam menyalurkan debit hujan.

Penelitian terdahulu tentang drainase perkotaan banyak menggunakan pendekatan pemodelan hidrologi dan hidraulika untuk menilai kinerja saluran [2], [6], [15]. Model seperti Storm Water Management Model, HEC-RAS, dan simulasi 1D/2D sering digunakan untuk menganalisis aliran,

kedalaman genangan, dan performa jaringan drainase pada kondisi hujan tertentu [6], [15]. Pendekatan tersebut mampu menghasilkan analisis yang rinci, tetapi membutuhkan data teknis yang cukup lengkap, seperti curah hujan historis, elevasi, dimensi saluran, kemiringan, kondisi inlet, tata guna lahan, dan konektivitas jaringan. Pada penelitian yang tidak memiliki data lapangan rinci, penggunaan model kompleks dapat menjadi kurang tepat karena kualitas hasil sangat bergantung pada kelengkapan dan validitas data input [16], [17]. Dengan demikian, penelitian berbasis skenario masih relevan digunakan sebagai kajian awal untuk memahami kecenderungan risiko genangan berdasarkan parameter dasar drainase.

Metode Rasional merupakan salah satu pendekatan yang sering digunakan untuk menghitung debit limpasan rencana pada daerah tangkapan kecil [18], [19]. Metode ini menghubungkan tiga komponen utama, yaitu koefisien limpasan, intensitas hujan, dan luas daerah tangkapan. Kelebihan Metode Rasional terletak pada kesederhanaan formulanya, kemudahan penerapan, serta kemampuannya menghasilkan estimasi awal debit puncak yang dapat langsung dibandingkan dengan kapasitas saluran. Meskipun metode ini memiliki keterbatasan karena tidak menggambarkan proses hidrologi secara dinamis, penggunaannya tetap relevan untuk evaluasi awal drainase perkotaan. Dalam penelitian berbasis skenario, metode ini dapat membantu menunjukkan bagaimana perubahan koefisien limpasan, luas tangkapan, dan intensitas hujan memengaruhi peningkatan debit yang harus ditampung oleh saluran [18], [19].

Selain perhitungan debit limpasan, evaluasi kapasitas saluran menjadi bagian penting dalam penilaian risiko genangan [2], [6]. Kapasitas saluran menunjukkan kemampuan penampang drainase dalam mengalirkan debit tertentu berdasarkan dimensi, kemiringan, dan karakteristik kekasaran saluran [6]. Apabila debit limpasan lebih besar daripada kapasitas saluran, maka sistem berada dalam kondisi tidak aman dan berpotensi menimbulkan limpasan balik atau genangan pada permukaan kawasan [2]. Sebaliknya, saluran dengan kapasitas yang lebih besar daripada debit rencana dapat dikategorikan lebih aman, meskipun tetap perlu mempertimbangkan faktor operasional seperti sedimentasi dan penyumbatan [2], [6]. Oleh karena itu, perbandingan antara debit limpasan dan kapasitas saluran dapat digunakan sebagai dasar klasifikasi risiko pada setiap skenario drainase.

Pemetaan kapasitas saluran juga berperan penting karena hasil evaluasi drainase tidak cukup hanya disajikan dalam bentuk angka [2], [18], [20]. Visualisasi berbasis segmen dapat membantu menunjukkan perbedaan tingkat risiko antara satu saluran dan saluran lainnya [2], [17]. Dalam konteks penelitian berbasis skenario, pemetaan tidak harus berupa peta geografis aktual, tetapi dapat disusun sebagai diagram segmentasi yang menunjukkan kategori aman, kritis, dan berisiko [2], [17]. Bentuk visual ini memudahkan pembaca memahami skenario mana yang memiliki

kapasitas mencukupi dan skenario mana yang membutuhkan prioritas penanganan. Dengan demikian, pemetaan kapasitas saluran menjadi instrumen interpretatif yang menghubungkan hasil perhitungan teknis dengan rekomendasi perencanaan drainase.

Berdasarkan kajian terdahulu, terlihat bahwa penelitian drainase perkotaan telah banyak membahas genangan melalui pendekatan simulasi kompleks, evaluasi kapasitas saluran, dan pemodelan risiko banjir. Namun, masih terdapat ruang untuk mengembangkan model evaluasi yang lebih sederhana, transparan, dan mudah direplikasi pada konteks akademik atau kajian awal. Penelitian berbasis skenario dapat mengisi celah tersebut dengan menyusun variasi kondisi drainase yang merepresentasikan perbedaan karakter kawasan perkotaan. Pendekatan ini tidak dimaksudkan untuk menggantikan survei lapangan atau model hidraulik detail, tetapi untuk memberikan pemahaman awal mengenai hubungan antara limpasan dan kapasitas saluran. Oleh karena itu, penelitian ini memosisikan Metode Rasional dan pemetaan kapasitas saluran sebagai kerangka analisis untuk mengevaluasi risiko genangan pada beberapa skenario drainase perkotaan.

III. METODE/METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan desain evaluatif-kuantitatif berbasis skenario analitis untuk mengevaluasi risiko genangan pada drainase perkotaan. Pendekatan berbasis skenario dipilih karena penelitian ini tidak menggunakan data pengukuran lapangan aktual, tetapi menyusun model drainase yang merepresentasikan beberapa karakteristik umum kawasan perkotaan. Parameter yang digunakan dalam skenario meliputi luas daerah tangkapan, koefisien limpasan, intensitas hujan rencana, dimensi saluran, kemiringan dasar saluran, dan koefisien kekasaran Manning. Setiap skenario dianalisis untuk memperoleh debit limpasan rencana, kapasitas saluran, rasio risiko genangan, dan kategori tingkat risiko. Dengan demikian, hasil penelitian ini tidak dimaksudkan untuk menggambarkan kondisi eksisting suatu lokasi tertentu, melainkan untuk menunjukkan hubungan antara limpasan permukaan dan kapasitas saluran pada beberapa konfigurasi drainase perkotaan. Untuk alur penelitian disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Alur penelitian yang digunakan

Objek analisis dalam penelitian ini terdiri atas lima skenario segmen saluran drainase perkotaan yang diberi kode S1 sampai S5. Kelima skenario tersebut disusun untuk menggambarkan variasi karakter kawasan, mulai dari permukiman kepadatan sedang, permukiman padat, area komersial,

kawasan campuran, hingga koridor jalan perkotaan. Pemilihan skenario dilakukan agar analisis dapat menunjukkan perbedaan risiko genangan akibat variasi koefisien limpasan, luas tangkapan, dan dimensi saluran. Skenario dengan dominasi permukaan kedap air diberi nilai koefisien limpasan lebih tinggi karena diasumsikan menghasilkan aliran permukaan yang lebih besar. Parameter skenario yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Parameter Skenario Drainase Perkotaan

Skenario	Karakter Kawasan	Luas Tangkapan (ha)	Koefisien Limpasan (C)	Lebar Saluran (m)	Tinggi Saluran (m)	Kemiringan Saluran
S1	Permukiman kepadatan sedang	0,30	0,55	0,60	0,50	0,0015
S2	Permukiman padat	0,45	0,70	0,50	0,45	0,0012
S3	Area komersial	0,55	0,80	0,60	0,50	0,0010
S4	Kawasan campuran	0,70	0,65	0,80	0,60	0,0014
S5	Koridor jalan perkotaan	0,60	0,85	0,55	0,45	0,0011

Data pada Tabel 1 merupakan data skenario yang digunakan untuk kebutuhan pemodelan analitis. Nilai luas tangkapan, koefisien limpasan, dan dimensi saluran tidak berasal dari pengukuran lapangan, tetapi disusun untuk merepresentasikan variasi umum kondisi drainase perkotaan. Intensitas hujan rencana dalam penelitian ini ditetapkan sebesar 100 mm/jam dan digunakan secara seragam pada seluruh skenario. Penetapan intensitas yang sama bertujuan agar perbedaan risiko genangan dapat ditelusuri terutama dari variasi karakter kawasan dan kapasitas saluran. Dengan pendekatan ini, setiap skenario dapat dibandingkan secara lebih terkontrol.

Tahapan penelitian dilakukan secara berurutan mulai dari penyusunan skenario sampai klasifikasi risiko genangan. Tahap pertama adalah menentukan karakter kawasan dan parameter teknis saluran pada setiap skenario. Tahap kedua adalah menghitung debit limpasan rencana menggunakan Metode Rasional. Tahap ketiga adalah menghitung kapasitas saluran menggunakan persamaan Manning untuk saluran terbuka berbentuk persegi panjang. Tahap keempat adalah membandingkan debit limpasan dengan kapasitas saluran untuk memperoleh rasio risiko genangan. Tahap terakhir adalah menyusun klasifikasi risiko dan visualisasi kapasitas saluran dalam bentuk tabel, grafik, dan diagram segmentasi risiko.

Debit limpasan rencana dihitung menggunakan Metode Rasional. Metode ini digunakan karena sesuai untuk estimasi awal debit puncak pada daerah tangkapan kecil dan memerlukan parameter yang relatif sederhana. Parameter utama dalam metode ini adalah koefisien limpasan, intensitas

hujan, dan luas daerah tangkapan. Rumus Metode Rasional yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada rumus (1).

$$Q = 0,00278 \times C \times I \times A \quad (1)$$

dimana, Q adalah debit limpasan rencana (m^3/detik), C merupakan koefisien limpasan, I adalah intensitas hujan (mm/jam), sedangkan A merupakan luas daerah tangkapan (ha) $0,00278 =$ konstanta konversi satuan. Berdasarkan rumus (1), debit limpasan akan meningkat apabila koefisien limpasan, intensitas hujan, atau luas daerah tangkapan mengalami peningkatan. Koefisien limpasan yang lebih tinggi menunjukkan bahwa proporsi air hujan yang berubah menjadi aliran permukaan juga semakin besar. Kawasan dengan dominasi permukaan kedap air, seperti area komersial dan koridor jalan, cenderung menghasilkan debit limpasan lebih besar dibandingkan kawasan dengan ruang resapan yang lebih baik. Dalam penelitian ini, hasil perhitungan debit limpasan digunakan sebagai dasar untuk menilai beban hidrologis yang harus diterima oleh saluran drainase pada setiap skenario.

Kapasitas saluran dihitung menggunakan persamaan Manning untuk saluran terbuka berbentuk persegi panjang. Persamaan ini digunakan karena dapat memperkirakan kemampuan saluran dalam mengalirkan debit berdasarkan luas penampang basah, jari-jari hidraulik, kemiringan saluran, dan koefisien kekasaran. Dalam penelitian ini, koefisien kekasaran Manning ditetapkan sebesar 0,015 sebagai asumsi saluran beton dalam pemodelan. Nilai ini digunakan secara seragam pada seluruh skenario agar perbedaan kapasitas saluran lebih mudah ditelusuri dari variasi dimensi dan kemiringan saluran. Rumus kapasitas saluran yang digunakan dapat dilihat melalui rumus (2).

$$Q_c = \frac{1}{n} \times A_s \times R^{\frac{2}{3}} \times S^{\frac{1}{2}} \quad (2)$$

dimana, Q_c adalah kapasitas saluran (m^3/detik), n adalah koefisien kekasaran Manning. Sedangkan A_s adalah luas penampang basah saluran (m^2), R merupakan jari-jari hidraulik (m), dan, S adalah kemiringan dasar saluran. Untuk memperoleh nilai kapasitas saluran, terlebih dahulu dihitung luas penampang basah, keliling basah, dan jari-jari hidraulik saluran. Karena bentuk saluran yang digunakan adalah persegi panjang, luas penampang basah dihitung dari hasil perkalian lebar saluran dan tinggi aliran. Keliling basah dihitung dari lebar dasar saluran ditambah dua kali tinggi aliran. Jari-jari hidraulik kemudian diperoleh dari perbandingan antara luas penampang basah dan keliling basah. Rumus-rumus geometri saluran yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada rumus (3), (4), dan (5) berikut ini.

$$A_s = b \times h \quad (3)$$

Di mana A_s adalah luas penampang basah saluran (m^2), b adalah lebar saluran (m), dan h adalah tinggi saluran atau kedalaman aliran (m).

$$P = b + 2h \quad (4)$$

P adalah keliling basah saluran (m), b merupakan lebar saluran (m), dan, h adalah tinggi saluran atau kedalaman aliran (m).

$$R = \frac{A_s}{P} \quad (5)$$

R adalah jari-jari hidraulik (m), A_s merupakan luas penampang basah saluran (m^2), dan, P adalah keliling basah saluran (m). Risiko genangan ditentukan dengan membandingkan debit limpasan rencana dan kapasitas saluran. Perbandingan ini digunakan karena genangan berpotensi terjadi ketika debit limpasan yang masuk ke saluran lebih besar daripada kemampuan saluran dalam mengalirkannya. Semakin tinggi nilai rasio risiko, semakin besar kemungkinan saluran mengalami kelebihan kapasitas. Sebaliknya, nilai rasio yang rendah menunjukkan bahwa kapasitas saluran masih relatif mencukupi terhadap debit limpasan rencana. Rumus rasio risiko genangan yang digunakan disajikan pada rumus (6).

$$R_g = \frac{Q}{Q_c} \quad (6)$$

dimana, R_g adalah rasio risiko genangan, Q merupakan debit limpasan rencana ($m^3/detik$), dan, Q_c adalah kapasitas saluran ($m^3/detik$). Klasifikasi risiko genangan dilakukan berdasarkan nilai rasio antara debit limpasan dan kapasitas saluran. Nilai R_g kurang dari 0,80 dikategorikan sebagai risiko rendah karena kapasitas saluran masih memiliki cadangan yang cukup terhadap debit limpasan. Nilai R_g antara 0,80 sampai 1,00 dikategorikan sebagai risiko sedang atau kritis karena kapasitas saluran mulai mendekati debit limpasan yang harus dialirkan. Nilai R_g lebih dari 1,00 dikategorikan sebagai risiko tinggi karena debit limpasan telah melebihi kapasitas saluran. Klasifikasi risiko yang digunakan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Klasifikasi Risiko Genangan Berdasarkan Rasio Debit dan Kapasitas Saluran

Nilai Rasio Risiko Genangan (R_g)	Kategori Risiko	Interpretasi
$R_g < 0,80$	Rendah	Kapasitas saluran masih mencukupi untuk menampung debit limpasan
$0,80 \leq R_g \leq 1,00$	Sedang/Kritis	Kapasitas saluran mendekati debit limpasan dan memerlukan perhatian
$R_g > 1,00$	Tinggi	Debit limpasan melebihi kapasitas saluran dan berpotensi menimbulkan genangan

Visualisasi hasil dilakukan melalui pemetaan kapasitas saluran berbasis segmen skenario. Karena penelitian ini tidak menggunakan koordinat geografis aktual, pemetaan yang dimaksud bukan

peta spasial lapangan, melainkan diagram segmentasi yang menunjukkan kategori risiko setiap skenario. Diagram tersebut digunakan untuk memperlihatkan perbedaan kondisi antara S1 sampai S5 secara lebih mudah dibaca. Selain diagram segmentasi, hasil penelitian juga disajikan melalui tabel debit limpasan, tabel kapasitas saluran, grafik perbandingan Q dan Qc, serta grafik rasio risiko genangan. Penyajian visual ini bertujuan untuk memperkuat interpretasi hasil dan memudahkan pembahasan pada bagian hasil dan diskusi.

Instrumen penelitian yang digunakan berupa lembar parameter skenario, rumus perhitungan debit limpasan, rumus kapasitas saluran, dan matriks klasifikasi risiko genangan. Data diolah menggunakan perangkat lunak spreadsheet untuk menghitung nilai Q, As, P, R, Qc, dan Rg pada setiap skenario. Spreadsheet juga digunakan untuk menghasilkan grafik perbandingan debit limpasan dan kapasitas saluran. Diagram alur penelitian dan diagram segmentasi risiko disusun menggunakan perangkat lunak visualisasi sederhana. Seluruh proses analisis dilakukan secara sistematis agar setiap hasil dapat ditelusuri kembali pada parameter awal yang digunakan.

Penelitian ini memiliki beberapa batasan metodologis yang perlu dijelaskan secara eksplisit. Pertama, data yang digunakan merupakan data skenario sehingga tidak mewakili kondisi aktual suatu kawasan perkotaan tertentu. Kedua, intensitas hujan, koefisien limpasan, dan dimensi saluran ditetapkan sebagai parameter analitis, bukan hasil pengukuran empiris. Ketiga, penelitian ini belum mempertimbangkan faktor detail seperti sedimentasi, penyumbatan saluran, elevasi jaringan, bentuk percabangan saluran, dan kondisi operasional aktual. Keempat, hasil analisis lebih tepat dipahami sebagai evaluasi awal untuk menjelaskan hubungan antara limpasan dan kapasitas saluran. Oleh karena itu, penelitian lanjutan berbasis data lapangan tetap diperlukan apabila model ini akan digunakan untuk kebutuhan perencanaan teknis pada lokasi tertentu.

Aspek etika penelitian diperhatikan dengan memastikan bahwa penelitian ini tidak melibatkan responden manusia, data pribadi, maupun informasi lokasi privat. Seluruh parameter yang digunakan bersifat skenario analitis dan tidak mengarah pada identifikasi kawasan, institusi, atau pihak tertentu. Oleh karena itu, penelitian ini tidak memerlukan persetujuan etik berbasis subjek manusia. Meskipun demikian, transparansi metodologis tetap dijaga dengan menyatakan bahwa data yang digunakan merupakan data skenario, bukan data pengukuran lapangan aktual.

IV. HASIL DAN DISKUSI

4.1 Debit Limpasan Rencana pada Setiap Skenario

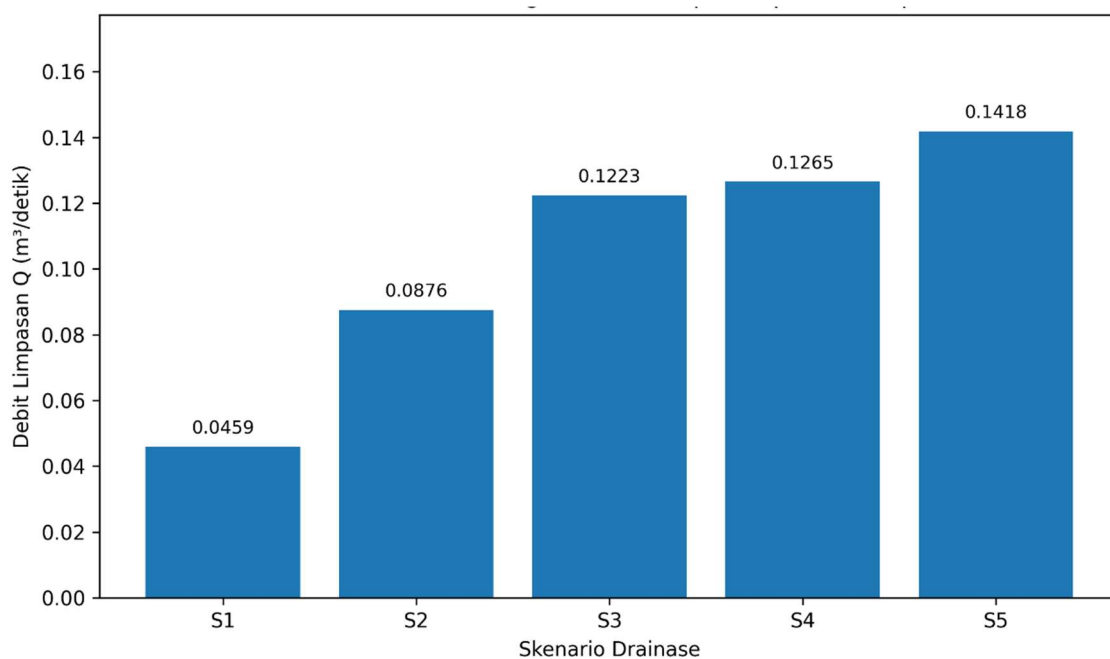
Hasil perhitungan debit limpasan menunjukkan bahwa perbedaan luas tangkapan dan koefisien limpasan memengaruhi besarnya debit yang harus ditampung oleh saluran. Skenario dengan koefisien limpasan tinggi cenderung menghasilkan debit limpasan yang lebih besar karena

sebagian besar air hujan diasumsikan berubah menjadi aliran permukaan. Selain itu, luas daerah tangkapan juga berpengaruh langsung terhadap peningkatan debit limpasan. Dengan intensitas hujan rencana sebesar 100 mm/jam, nilai debit limpasan pada setiap skenario disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Debit Limpasan Rencana

Skenario	Karakter Kawasan	Luas Tangkapan (ha)	Koefisien Limpasan (C)	Intensitas Hujan (mm/jam)	Debit Limpasan Q (m ³ /detik)
S1	Permukiman kepadatan sedang	0,30	0,55	100	0,0459
S2	Permukiman padat	0,45	0,70	100	0,0876
S3	Area komersial	0,55	0,80	100	0,1223
S4	Kawasan campuran	0,70	0,65	100	0,1265
S5	Koridor jalan perkotaan	0,60	0,85	100	0,1418

Berdasarkan Tabel 3, debit limpasan tertinggi terdapat pada S5, yaitu sebesar 0,1418 m³/detik. Kondisi ini terjadi karena S5 memiliki koefisien limpasan paling tinggi, yaitu 0,85, yang merepresentasikan koridor jalan perkotaan dengan dominasi permukaan kedap air. Debit limpasan terbesar kedua terdapat pada S4 sebesar 0,1265 m³/detik, meskipun koefisien limpasan S4 lebih rendah dibandingkan S3 dan S5. Hal ini menunjukkan bahwa luas tangkapan yang lebih besar dapat meningkatkan debit limpasan meskipun koefisien limpasan tidak berada pada nilai tertinggi. Sementara itu, debit limpasan terendah terdapat pada S1 sebesar 0,0459 m³/detik karena skenario ini memiliki luas tangkapan dan koefisien limpasan yang paling kecil.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Debit Limpasan pada Setiap Skenario

Gambar 2 dapat menampilkan grafik batang nilai debit limpasan Q untuk S1 sampai S5. Grafik ini digunakan untuk memperlihatkan peningkatan debit limpasan dari kawasan permukiman kepadatan sedang hingga koridor jalan perkotaan. Visualisasi tersebut memperjelas bahwa kombinasi antara luas tangkapan dan koefisien limpasan menjadi faktor penting dalam pembentukan debit rencana. Pada grafik tersebut, S5 perlu ditonjolkan sebagai skenario dengan debit limpasan terbesar.

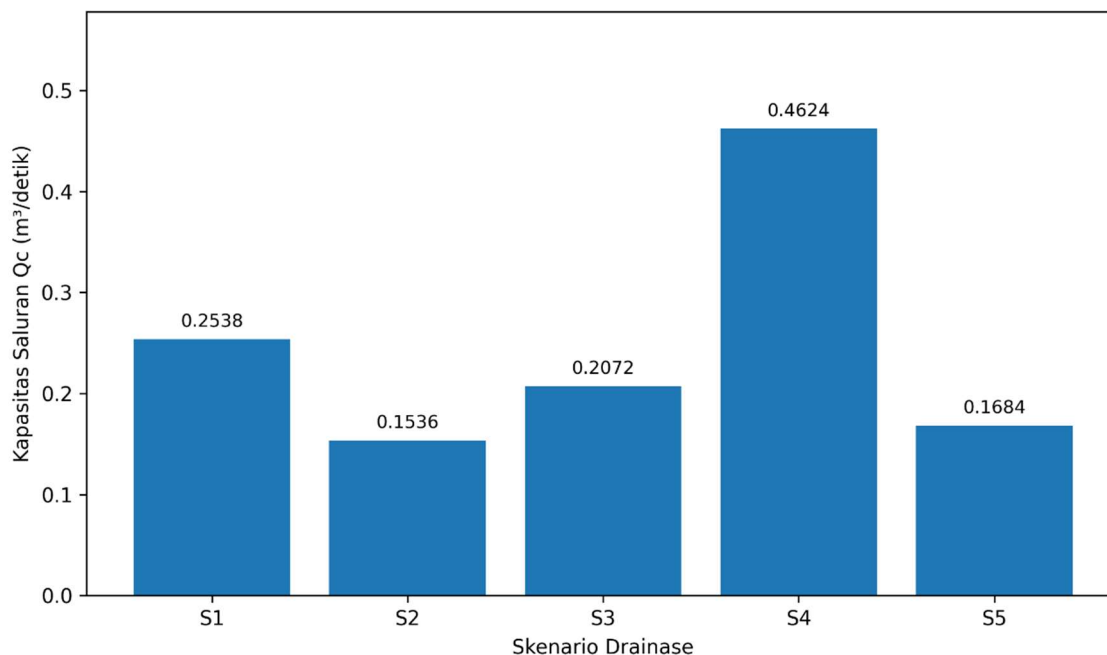
4.2 Kapasitas Saluran Berdasarkan Persamaan Manning

Perhitungan kapasitas saluran dilakukan dengan menggunakan parameter dimensi saluran, kemiringan dasar saluran, dan koefisien kekasaran Manning. Nilai kapasitas saluran tidak hanya dipengaruhi oleh ukuran lebar dan tinggi saluran, tetapi juga oleh jari-jari hidraulik serta kemiringan saluran. Saluran dengan dimensi yang lebih besar tidak selalu memiliki risiko lebih rendah apabila debit limpasan yang masuk juga tinggi. Oleh karena itu, kapasitas saluran perlu dibandingkan langsung dengan debit limpasan agar tingkat risiko dapat dinilai secara lebih proporsional.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Kapasitas Saluran

Skenario	Lebar Saluran (m)	Tinggi Saluran (m)	Luas Penampang As (m ²)	Keliling Basah P (m)	Jari-jari Hidraulik R (m)	Kapasitas Saluran Qc (m ³ /detik)
S1	0,60	0,50	0,3000	1,6000	0,1875	0,2538
S2	0,50	0,45	0,2250	1,4000	0,1607	0,1536
S3	0,60	0,50	0,3000	1,6000	0,1875	0,2072
S4	0,80	0,60	0,4800	2,0000	0,2400	0,4624
S5	0,55	0,45	0,2475	1,4500	0,1707	0,1684

Tabel 4 menunjukkan bahwa kapasitas saluran tertinggi terdapat pada S4 sebesar 0,4624 m³/detik. Nilai tersebut dipengaruhi oleh dimensi saluran yang paling besar, yaitu lebar 0,80 m dan tinggi 0,60 m, sehingga luas penampang basah nya lebih besar dibandingkan skenario lain. Kapasitas saluran terendah terdapat pada S2 sebesar 0,1536 m³/detik, meskipun dimensi salurannya tidak jauh berbeda dengan S5. Perbedaan tersebut dipengaruhi oleh kombinasi luas penampang, jari-jari hidraulik, dan kemiringan saluran. Hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas saluran sangat bergantung pada konfigurasi geometris dan kemiringan saluran, bukan hanya pada satu parameter dimensi.



Gambar 3. Grafik Perbandingan Kapasitas Saluran pada Setiap Skenario

Gambar 3 dapat menampilkan grafik batang kapasitas saluran Qc untuk S1 sampai S5. Visualisasi ini digunakan untuk memperlihatkan perbedaan kemampuan setiap saluran dalam mengalirkan debit. S4 terlihat sebagai skenario dengan kapasitas paling besar, sedangkan S2 dan S5 memiliki kapasitas yang relatif lebih terbatas. Grafik ini penting karena menjadi dasar untuk memahami mengapa skenario dengan debit limpasan tinggi belum tentu memiliki risiko tertinggi apabila kapasitas salurannya masih besar.

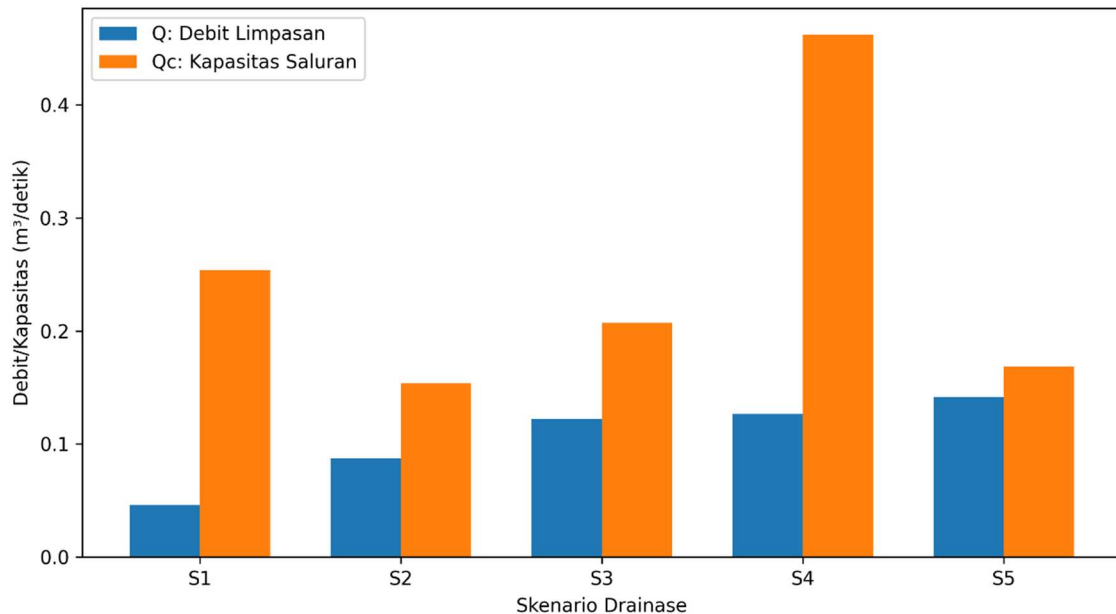
4.3 Perbandingan Debit Limpasan dan Kapasitas Saluran

Perbandingan debit limpasan dan kapasitas saluran menjadi dasar utama dalam menentukan tingkat risiko genangan. Suatu skenario dapat dikategorikan aman apabila kapasitas saluran jauh lebih besar daripada debit limpasan. Sebaliknya, risiko meningkat ketika debit limpasan mendekati atau melebihi kapasitas saluran. Hasil perbandingan antara Q dan Qc disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Debit Limpasan dan Kapasitas Saluran

Skenario	Debit Limpasan Q (m³/detik)	Kapasitas Saluran Qc (m³/detik)	Selisih Kapasitas Qc - Q (m³/detik)	Rasio Risiko Rg
S1	0,0459	0,2538	0,2079	0,1808
S2	0,0876	0,1536	0,0660	0,5701
S3	0,1223	0,2072	0,0849	0,5904
S4	0,1265	0,4624	0,3359	0,2735
S5	0,1418	0,1684	0,0266	0,8420

Berdasarkan Tabel 5, seluruh skenario masih memiliki kapasitas saluran yang lebih besar daripada debit limpasan rencana. Namun, tingkat cadangan kapasitas antar skenario berbeda cukup jelas. S4 memiliki selisih kapasitas terbesar, yaitu $0,3359 \text{ m}^3/\text{detik}$, sehingga skenario ini menunjukkan kemampuan saluran yang paling memadai dibandingkan beban limpasan. S1 juga memiliki rasio risiko rendah karena debit limpasan yang terbentuk relatif kecil. Sebaliknya, S5 memiliki selisih kapasitas paling kecil, yaitu $0,0266 \text{ m}^3/\text{detik}$, sehingga skenario ini menjadi yang paling mendekati kondisi kritis.



Gambar 4. Grafik Perbandingan Debit Limpasan Q dan Kapasitas Saluran Qc

Gambar 4 dapat menampilkan grafik batang berpasangan antara Q dan Qc untuk setiap skenario. Grafik ini penting untuk memperlihatkan jarak antara beban limpasan dan kapasitas saluran secara visual. Pada S1 dan S4, jarak antara Q dan Qc relatif besar, sehingga keduanya menunjukkan kondisi lebih aman. Pada S5, jarak antara Q dan Qc paling kecil, sehingga skenario ini perlu diberi perhatian lebih tinggi. Visualisasi ini mendukung interpretasi bahwa risiko genangan tidak hanya dipengaruhi oleh debit limpasan yang besar, tetapi juga oleh seberapa dekat debit tersebut terhadap kapasitas saluran.

4.4 Klasifikasi Risiko Genangan

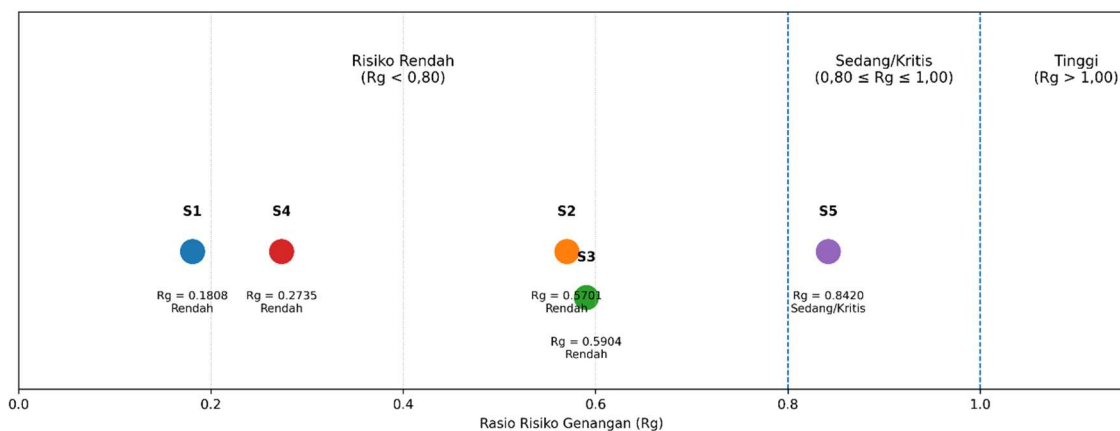
Klasifikasi risiko genangan dilakukan berdasarkan nilai rasio R_g , yaitu perbandingan antara debit limpasan dan kapasitas saluran. Nilai R_g kurang dari 0,80 dikategorikan sebagai risiko rendah, nilai antara 0,80 sampai 1,00 dikategorikan sebagai sedang atau kritis, dan nilai lebih dari 1,00 dikategorikan sebagai risiko tinggi. Berdasarkan hasil perhitungan, empat skenario berada pada

kategori risiko rendah, sedangkan satu skenario berada pada kategori sedang atau kritis. Hasil klasifikasi risiko genangan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Klasifikasi Risiko Genangan pada Setiap Skenario

Skenario	Karakter Kawasan	Rasio Risiko Rg	Kategori Risiko	Prioritas Penanganan
S1	Permukiman kepadatan sedang	0,1808	Rendah	Rendah
S2	Permukiman padat	0,5701	Rendah	Sedang
S3	Area komersial	0,5904	Rendah	Sedang
S4	Kawasan campuran	0,2735	Rendah	Rendah
S5	Koridor jalan perkotaan	0,8420	Sedang/Kritis	Tinggi

Tabel 6 menunjukkan bahwa S5 merupakan skenario dengan tingkat risiko tertinggi karena memiliki nilai Rg sebesar 0,8420. Meskipun nilai tersebut belum melebihi 1,00, posisi S5 sudah masuk kategori sedang atau kritis karena kapasitas saluran mendekati debit limpasan rencana. Kondisi ini menunjukkan bahwa koridor jalan perkotaan dengan koefisien limpasan tinggi dan kapasitas saluran terbatas berpotensi menjadi segmen prioritas dalam pengendalian genangan. S2 dan S3 masih berada pada kategori rendah, tetapi nilai rasionya lebih tinggi dibandingkan S1 dan S4. Oleh karena itu, kedua skenario tersebut dapat ditempatkan sebagai prioritas menengah, terutama apabila terjadi peningkatan intensitas hujan atau penurunan kapasitas akibat sedimentasi.



Gambar 5. Diagram Segmentasi Risiko Genangan pada Skenario Drainase Perkotaan

Gambar 5 dapat dibuat dalam bentuk diagram segmentasi S1 sampai S5 dengan kategori risiko rendah, sedang/kritis, dan tinggi. Karena penelitian ini tidak menggunakan koordinat geografis aktual, diagram tersebut berfungsi sebagai pemetaan konseptual kapasitas saluran, bukan peta lokasi lapangan. S1 dan S4 dapat ditampilkan sebagai segmen risiko rendah, S2 dan S3 sebagai risiko rendah dengan prioritas menengah, sedangkan S5 sebagai segmen sedang/kritis dengan prioritas tinggi. Diagram ini membantu memperjelas bahwa pemetaan kapasitas saluran dapat digunakan untuk mengidentifikasi skenario yang paling membutuhkan perhatian. Dengan

demikian, hasil visual tidak hanya berfungsi sebagai pelengkap, tetapi juga sebagai alat interpretasi risiko.

4.5 Ringkasan Temuan Hasil

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa risiko genangan dipengaruhi oleh interaksi antara debit limpasan dan kapasitas saluran. Skenario dengan debit limpasan tinggi belum tentu menjadi skenario paling berisiko apabila kapasitas salurannya masih memadai. Sebaliknya, skenario dengan kapasitas saluran terbatas dapat menunjukkan risiko lebih tinggi ketika debit limpasan mendekati kemampuan maksimum saluran. Hasil ini terlihat pada S5, yang memiliki debit limpasan tertinggi dan kapasitas saluran relatif terbatas, sehingga menghasilkan rasio risiko paling besar. Temuan ini memperkuat bahwa evaluasi drainase perlu dilakukan melalui perbandingan antara Q dan Q_c , bukan hanya berdasarkan debit limpasan atau dimensi saluran secara terpisah.

Temuan utama dari hasil ini adalah bahwa S5 menjadi skenario prioritas karena rasio risikonya telah mencapai 0,8420. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kapasitas saluran masih mampu menampung debit limpasan, tetapi ruang cadangan kapasitasnya relatif kecil. Jika skenario ini mengalami peningkatan intensitas hujan, sedimentasi, penyumbatan, atau penurunan efektivitas aliran, maka potensi genangan dapat meningkat. Sementara itu, S4 menunjukkan kondisi paling aman karena kapasitas salurannya jauh lebih besar dibandingkan debit limpasan. Perbedaan ini menunjukkan bahwa dimensi saluran dan kapasitas hidraulik memiliki peran penting dalam menekan risiko genangan pada skenario drainase perkotaan.

Diskusi

Hasil penelitian memperlihatkan bahwa risiko genangan pada skenario drainase perkotaan lebih tepat dipahami melalui hubungan antara debit limpasan dan kapasitas saluran, bukan melalui salah satu parameter secara terpisah. Temuan ini terlihat dari posisi S5 yang menjadi skenario paling kritis dengan nilai R_g sebesar 0,8420, meskipun debit limpasan belum melampaui kapasitas saluran. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kapasitas saluran masih mampu menampung debit rencana, tetapi margin keamanannya sudah relatif kecil. Dalam evaluasi drainase, kondisi seperti ini penting karena penurunan kapasitas akibat sedimentasi, sampah, penyumbatan, atau peningkatan intensitas hujan dapat dengan cepat menggeser saluran ke kategori risiko tinggi. Dengan demikian, hasil penelitian ini menegaskan bahwa rasio antara Q dan Q_c dapat digunakan sebagai indikator awal untuk membaca tingkat kerentanan saluran terhadap potensi genangan.

Temuan tersebut berkaitan erat dengan kajian hidrologi perkotaan [21], [22], [23] yang menempatkan permukaan kedap air sebagai salah satu faktor utama pembentuk limpasan

permukaan. Pada skenario dengan koefisien limpasan tinggi, seperti S5 dan S3, sebagian besar air hujan diasumsikan berubah menjadi aliran permukaan sehingga beban terhadap sistem drainase meningkat. [24] menunjukkan bahwa peningkatan rasio permukaan kedap air dapat meningkatkan debit puncak dan volume limpasan pada kawasan perkotaan. Kecenderungan tersebut tercermin pada S5 yang merepresentasikan koridor jalan perkotaan dengan dominasi permukaan kedap air dan kapasitas saluran yang relatif terbatas. Oleh karena itu, pengendalian genangan pada kawasan seperti ini tidak cukup hanya mengandalkan pelebaran saluran, tetapi juga perlu diarahkan pada strategi pengurangan limpasan di permukaan.

Namun, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa debit limpasan yang tinggi tidak selalu menghasilkan risiko tertinggi apabila kapasitas saluran masih memadai. Hal ini terlihat pada S4, yang memiliki debit limpasan relatif besar tetapi tetap berada pada kategori risiko rendah karena kapasitas salurannya paling tinggi dibandingkan skenario lain. Temuan ini memperlihatkan bahwa evaluasi drainase perlu mempertemukan aspek hidrologis dan hidraulis secara bersamaan. Metode Rasional membantu memperkirakan debit limpasan berdasarkan koefisien limpasan, intensitas hujan, dan luas daerah tangkapan, sedangkan persamaan Manning memberikan dasar untuk menilai kemampuan saluran dalam mengalirkan debit tersebut. Dengan demikian, kombinasi kedua pendekatan ini masih relevan sebagai evaluasi awal, terutama untuk kajian berbasis skenario yang tidak menggunakan data lapangan rinci.

Perbedaan karakter antara S1 dan S4 juga menunjukkan bahwa kategori risiko rendah dapat terbentuk melalui dua mekanisme yang berbeda. S1 memiliki risiko rendah karena debit limpasan yang dihasilkan relatif kecil, sedangkan S4 memiliki risiko rendah karena kapasitas salurannya jauh lebih besar daripada debit yang harus dialirkan. Perbedaan ini penting karena rekomendasi teknis untuk kedua kondisi tersebut tidak dapat disamakan. Pada skenario dengan limpasan rendah, strategi utama dapat diarahkan pada pemeliharaan kapasitas dan perlindungan area resapan. Sebaliknya, pada skenario dengan debit cukup besar tetapi kapasitas saluran masih tinggi, perhatian lebih perlu diberikan pada upaya menjaga agar kapasitas tersebut tidak menurun akibat sedimentasi, kerusakan saluran, atau penyumbatan aliran.

Hasil pemetaan kapasitas saluran berbasis segmen memperkuat interpretasi bahwa visualisasi risiko dapat membantu menentukan prioritas penanganan secara lebih komunikatif [2], [25]. Diagram segmentasi menunjukkan bahwa S5 menjadi prioritas utama karena posisinya sudah berada pada kategori sedang atau kritis, sedangkan S2 dan S3 dapat ditempatkan sebagai prioritas menengah karena nilai rasionya lebih tinggi daripada S1 dan S4. Dalam kajian drainase perkotaan, visualisasi seperti ini penting karena hasil perhitungan teknis sering kali sulit diterjemahkan menjadi rekomendasi apabila hanya disajikan dalam bentuk angka. Meskipun pemetaan dalam

penelitian ini tidak berbasis koordinat geografis aktual, diagram segmentasi tetap dapat berfungsi sebagai pemetaan konseptual untuk memperlihatkan perbedaan tingkat risiko antar skenario. Dengan demikian, kontribusi visual dalam penelitian ini tidak hanya sebagai pelengkap hasil, tetapi sebagai alat interpretasi untuk membaca hubungan antara kapasitas saluran dan potensi genangan.

Secara praktis, temuan penelitian ini menunjukkan bahwa strategi pengendalian genangan perlu dibedakan berdasarkan sumber risikonya. Pada skenario dengan koefisien limpasan tinggi, intervensi dapat diarahkan pada pengurangan limpasan permukaan melalui peningkatan area resapan, penggunaan perkerasan berpori, sumur resapan, atau penerapan prinsip drainase berkelanjutan. Pada skenario dengan kapasitas saluran terbatas, rekomendasi dapat diarahkan pada peningkatan dimensi saluran, perbaikan kemiringan, normalisasi saluran, dan pengendalian sedimentasi. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pengelolaan drainase perkotaan yang tidak hanya menekankan pengaliran air, tetapi juga pengendalian limpasan sejak dari sumbernya. Oleh karena itu, hasil penelitian dapat menjadi dasar awal untuk memahami jenis intervensi yang lebih sesuai pada setiap konfigurasi drainase.

Meskipun demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam membaca hasil. Data yang digunakan merupakan data skenario, sehingga hasilnya tidak dapat digeneralisasi sebagai kondisi aktual suatu kawasan perkotaan tertentu. Intensitas hujan juga ditetapkan seragam sebesar 100 mm/jam, sehingga penelitian belum membandingkan variasi hujan rencana atau periode ulang yang berbeda. Selain itu, kapasitas saluran dihitung dengan asumsi bentuk saluran, koefisien kekasaran Manning, dan kondisi aliran yang disederhanakan. Faktor operasional seperti sedimentasi, sampah, penyumbatan inlet, perubahan elevasi, dan konektivitas jaringan saluran belum dimasukkan dalam model. Oleh karena itu, penelitian lanjutan perlu menggunakan data lapangan aktual, variasi intensitas hujan, dan pemodelan hidrologi-hidraulik yang lebih detail agar hasil evaluasi dapat digunakan untuk kebutuhan perencanaan teknis pada lokasi tertentu.

V. KESIMPULAN DA REKOMENDASI

Penelitian ini menunjukkan bahwa evaluasi risiko genangan pada skenario drainase perkotaan dapat dilakukan secara terukur melalui perbandingan antara debit limpasan rencana dan kapasitas saluran. Hasil analisis memperlihatkan bahwa S5 merupakan skenario dengan risiko tertinggi karena memiliki nilai rasio risiko genangan sebesar 0,8420, sehingga masuk dalam kategori sedang atau kritis meskipun debit limpasan belum melampaui kapasitas saluran. Sebaliknya, S4 menunjukkan kondisi paling aman karena memiliki kapasitas saluran terbesar, yaitu 0,4624 m³/detik, dengan rasio risiko sebesar 0,2735. Temuan ini menegaskan bahwa risiko genangan

tidak dapat dinilai hanya dari besarnya debit limpasan atau dimensi saluran secara terpisah, tetapi harus dilihat dari keseimbangan antara beban limpasan dan kemampuan saluran dalam mengalirkannya. Dengan demikian, kombinasi Metode Rasional, persamaan Manning, dan pemetaan kapasitas saluran dapat digunakan sebagai model evaluasi awal yang sederhana, kuantitatif, dan mudah direplikasi untuk mengidentifikasi skenario drainase yang aman, kritis, dan memerlukan prioritas penanganan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. D. Adinew, A. A. Awass, K. M. Bushira, T. Y. Ukumo, and M. L. Edamo, "Evaluation of hydraulic adequacy of runoff disposal in urban watersheds of rapidly expanding towns," *H2Open Journal*, vol. 7, no. 3, pp. 243–271, Jan. 2024, doi: 10.2166/H2OJ.2024.095.
- [2] S. Ahmad *et al.*, "A Novel GIS-SWMM-ABM Approach for Flood Risk Assessment in Data-Scarce Urban Drainage Systems," *Water (Switzerland)*, vol. 16, no. 11, p. 1464, Jun. 2024, doi: 10.3390/W16111464/S1.
- [3] A. D. Ortega Sandoval, J. Sörensen, J. P. Rodríguez, and L. Bharati, "Hydrologic–hydraulic assessment of SUDS control capacity using different modeling approaches: a case study in Bogotá, Colombia," *Water Science and Technology*, vol. 87, no. 12, pp. 3124–3145, Jun. 2023, doi: 10.2166/WST.2023.173.
- [4] B. T. Hassan, M. Yassine, and D. Amin, "Comparison of Urbanization, Climate Change, and Drainage Design Impacts on Urban Flashfloods in an Arid Region: Case Study, New Cairo, Egypt," *Water 2022, Vol. 14, Page 2430*, vol. 14, no. 15, p. 2430, Aug. 2022, doi: 10.3390/W14152430.
- [5] A. Dobai *et al.*, "GIS and soil property-based development of runoff modelling to assess the capacity of urban drainage systems for flash floods," *Hungarian Geographical Bulletin*, vol. 73, no. 4, pp. 379–394, Dec. 2024, doi: 10.15201/HUNGEOBULL.73.4.3.
- [6] B. Feng, Y. Zhang, and R. Bourke, "Urbanization impacts on flood risks based on urban growth data and coupled flood models," *Natural Hazards 2021 106:1*, vol. 106, no. 1, pp. 613–627, Jan. 2021, doi: 10.1007/S11069-020-04480-0.
- [7] S. Shrestha, S. Cui, L. Xu, L. Wang, B. Manandhar, and S. Ding, "Impact of Land Use Change Due to Urbanisation on Surface Runoff Using GIS-Based SCS–CN Method: A Case Study of Xiamen City, China," *Land 2021, Vol. 10, Page 839*, vol. 10, no. 8, p. 839, Aug. 2021, doi: 10.3390/LAND10080839.
- [8] L. Cea and P. Costabile, "Flood Risk in Urban Areas: Modelling, Management and Adaptation to Climate Change. A Review," *Hydrology 2022, Vol. 9, Page 50*, vol. 9, no. 3, p. 50, Mar. 2022, doi: 10.3390/HYDROLOGY9030050.
- [9] D. Lopez-Carr *et al.*, "Spatiotemporal Land Use and Land Cover Changes and Associated Runoff Impact in Itaperuna, Brazil," *Sustainability 2024, Vol. 16, Page 325*, vol. 16, no. 1, p. 325, Dec. 2023, doi: 10.3390/SU16010325.
- [10] A. Cotugno, V. Smith, T. Baker, and R. Srinivasan, "A framework for calculating peak discharge and flood inundation in ungauged urban watersheds using remotely sensed

- precipitation data: A case study in freetown, sierra leone,” *Remote Sens. (Basel)*., vol. 13, no. 19, p. 3806, Oct. 2021, doi: 10.3390/RS13193806/S1.
- [11] M. Kencanawati, D. Iranata, and M. A. Maulana, “Hydrologic Modeling System HEC-HMS Application for Direct Runoff Determination,” *Journal of Human, Earth, and Future*, vol. 4, no. 2, pp. 153–165, Jun. 2023, doi: 10.28991/HEF-2023-04-02-02.
 - [12] S. Ertan and R. N. Çelik, “The Assessment of Urbanization Effect and Sustainable Drainage Solutions on Flood Hazard by GIS,” *Sustainability 2021, Vol. 13, Page 2293*, vol. 13, no. 4, p. 2293, Feb. 2021, doi: 10.3390/SU13042293.
 - [13] M. T. Iqbal, A. Suharyanto, M. R. Anwar, and Y. P. Devia, “Selecting the accurate hydrological method for estimating peak discharge in the Lesti River Catchment Area, Malang Regency, East Java Province, Indonesia,” *Journal of Applied and Natural Science*, vol. 15, no. 4, pp. 1595–1607, Dec. 2023, doi: 10.31018/JANS.V15I4.5087.
 - [14] Z. Yin, G. Liu, Z. Zheng, and X. Li, “Sustainable Stormwater Management: Runoff Impact of Urban Land Layout with Multi-Level Impervious Surface Coverage,” *Sustainability 2025, Vol. 17, Page 3511*, vol. 17, no. 8, p. 3511, Apr. 2025, doi: 10.3390/SU17083511.
 - [15] M. A. Bragg, A. Poudel, and J. G. Vasconcelos, “Comparing SWMM and HEC-RAS Hydrological Modeling Performance in Semi-Urbanized Watershed,” *Water 2025, Vol. 17, Page 1331*, vol. 17, no. 9, p. 1331, Apr. 2025, doi: 10.3390/W17091331.
 - [16] A. Farina, A. Di Nardo, R. Gargano, J. A. van der Werf, and R. Greco, “A simplified approach for the hydrological simulation of urban drainage systems with SWMM,” *J. Hydrol. (Amst)*., vol. 623, p. 129757, Aug. 2023, doi: 10.1016/J.JHYDROL.2023.129757.
 - [17] Z. Zhu, Z. Chen, X. Chen, and P. He, “Approach for evaluating inundation risks in urban drainage systems,” *Science of The Total Environment*, vol. 553, pp. 1–12, May 2016, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2016.02.025.
 - [18] H. Hosseiny, M. Crimmins, V. B. Smith, and P. Kremer, “A Generalized Automated Framework for Urban Runoff Modeling and Its Application at a Citywide Landscape,” *Water 2020, Vol. 12, Page 357*, vol. 12, no. 2, p. 357, Jan. 2020, doi: 10.3390/W12020357.
 - [19] D. A. Lapides, A. Sytsma, and S. Thompson, “Implications of Distinct Methodological Interpretations and Runoff Coefficient Usage for Rational Method Predictions,” *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, vol. 57, no. 6, pp. 859–874, Dec. 2021, doi: 10.1111/1752-1688.12949.
 - [20] X. Zhang, A. Kang, X. Lei, and H. Wang, “Urban drainage efficiency evaluation and flood simulation using integrated SWMM and terrain structural analysis,” *Science of The Total Environment*, vol. 957, p. 177442, Dec. 2024, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2024.177442.
 - [21] Z. Yin, G. Liu, Z. Zheng, and X. Li, “Sustainable Stormwater Management: Runoff Impact of Urban Land Layout with Multi-Level Impervious Surface Coverage,” *Sustainability 2025, Vol. 17, Page 3511*, vol. 17, no. 8, p. 3511, Apr. 2025, doi: 10.3390/SU17083511.
 - [22] F. L. Ogden, N. Raj Pradhan, C. W. Downer, and J. A. Zahner, “Relative importance of impervious area, drainage density, width function, and subsurface storm drainage on flood runoff from an urbanized catchment,” *Water Resour. Res.*, vol. 47, no. 12, p. 12503, Dec. 2011, doi: 10.1029/2011WR010550.

- [23] R. N. Ibrahim and N. A. Ahmad, "Stormwater Drainage Design (Case Study: UTHM Campus)," *Journal of Advancement in Environmental Solution and Resource Recovery*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, Aug. 2022, doi: 10.30880/jaesrr.2022.02.01.001.
- [24] T. S. Bibi, D. Reddythta, and A. S. Kebebew, "Assessment of the drainage systems performance in response to future scenarios and flood mitigation measures using stormwater management model," *City and Environment Interactions*, vol. 19, p. 100111, Aug. 2023, doi: 10.1016/J.CACINT.2023.100111.
- [25] Z. Zhu, Z. Chen, X. Chen, and P. He, "Approach for evaluating inundation risks in urban drainage systems," *Science of The Total Environment*, vol. 553, pp. 1–12, May 2016, doi: 10.1016/J.SCITOTENV.2016.02.025.