

OPTIMALISASI SISTEM DRAINASE MIKRO DAS KALI BORO MELALUI ANALISIS HIDROLOGI HIDRAULIKA UNTUK KETAHANAN BANJIR PERKOTAAN

Ardia Tiara Rahmi^{1*}, Imasti Dhani Pratiwi¹, Pipit Wijayanti¹, Rahning Utomowati¹, Gentur Adi Tjahjono¹,
dan Lintang Ronggowulan¹

¹Prodi Sarjana Pendidikan Geografi, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Sebelas Maret, Jl. Ir.
Sutami 36 A Surakarta

*Email: ardia_tiara@staff.uns.ac.id

ABSTRAK

Urbanisasi yang masif di Kota Surakarta telah mendorong peningkatan area terbangun dan alih fungsi lahan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Boro, memicu eskalasi masalah genangan akibat sistem drainase eksisting yang inadekuat. Meskipun banyak studi drainase perkotaan modern mengadopsi model numerik canggih dan solusi berbasis alam, studi ini secara strategis memilih pendekatan hidrologi-hidraulika klasik (Log Pearson Tipe III, Mononobe, Rasional, Manning) untuk mengatasi keterbatasan data spesifik dan sumber daya di tingkat mikro perkotaan tropis, sekaligus menawarkan solusi yang relevan dan aplikatif bagi Pemerintah Kota Surakarta. Pendekatan ini mengisi kekosongan literatur terkait implementasi master plan drainase mikro komprehensif di kota tropis yang masih mengandalkan data primer dan metode yang terjangkau. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi drainase mikro eksisting, menghitung debit banjir rencana ($T = 2, 5, 10$ tahun), mengidentifikasi akar permasalahan, dan menyusun master plan drainase mikro di DAS Kali Boro. Hasil analisis menunjukkan bahwa kapasitas saluran drainase eksisting hanya mampu menampung sekitar 72,5% dari debit banjir rencana untuk kala ulang 5 tahun, diperparah oleh penyempitan, sedimentasi, dan penumpukan sampah. Implementasi master plan yang diusulkan, meliputi normalisasi, peningkatan dimensi saluran, perbaikan gorong-gorong, pengelolaan sedimen dan sampah, pembangunan sumur resapan, serta adopsi drainase berwawasan lingkungan, diproyeksikan mampu mengurangi luasan genangan hingga lebih dari 50% di area prioritas. Studi ini menegaskan relevansi pendekatan konvensional yang terjustifikasi dalam konteks lokal, memberikan kontribusi signifikan dalam perencanaan ketahanan banjir di DAS mikro perkotaan tropis, dan dapat menjadi acuan kebijakan adaptasi iklim Kota Surakarta.

Kata Kunci: Drainase Mikro, Master Plan, Hidrologi, Hidraulika, Kali Boro, Genangan

1. PENDAHULUAN

Kota Surakarta, sebagai salah satu kota padat di dataran rendah Jawa, menghadapi tantangan signifikan terhadap ketahanan banjir dan genangan, terutama akibat laju urbanisasi yang pesat. Data demografi menunjukkan peningkatan populasi dari 522.364 jiwa (September 2020) menjadi 578.470 jiwa (Juni 2021), yang secara langsung berkorelasi dengan ekspansi area terbangun dan degradasi fungsi ekologis Ruang Terbuka Hijau (RTH). Fenomena ini tidak hanya mengurangi kapasitas resapan air alami, tetapi juga membebani sistem drainase eksisting hingga melampaui ambang batas desainnya, memperparah kejadian genangan di musim hujan.

Dalam dekade terakhir, literatur internasional telah bergeser menuju paradigma baru dalam pengelolaan drainase perkotaan, mengintegrasikan konsep Sustainable Urban Drainage Systems (SUDS), Low Impact Development (LID), eco-drainage, dan infrastruktur biru-hijau (blue-green infrastructure) untuk mencapai ketahanan kota terhadap banjir yang lebih komprehensif (misalnya, Chan et al., 2020; Li et al., 2022; Versini et al., 2021). Pendekatan modern ini menekankan pada penyerapan, penyimpanan, dan perlambatan aliran air, bukan hanya pengaliran cepat. Namun, implementasi model numerik canggih seperti HEC-HMS, HEC-RAS 2D, SWMM, atau MIKE Urban seringkali terkendala oleh ketersediaan data spasial dan temporal yang detail, serta kapasitas sumber daya lokal di banyak kota berkembang.

Mayoritas studi di Indonesia masih berfokus pada drainase mayor atau makro dengan cakupan DAS yang lebih besar, atau pada evaluasi kinerja sistem tanpa menyajikan solusi master plan yang terintegrasi di skala mikro. Sementara itu, studi drainase mikro berbasis master plan yang menggabungkan analisis hidrologi-hidraulika klasik dengan konteks sosial-ekonomi lokal di kota-kota tropis seperti Surakarta, masih jarang ditemukan. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya pendekatan yang memadukan rigor ilmiah dengan kepraktisan implementasi, terutama ketika data dan infrastruktur pendukung teknologi mutakhir masih terbatas. Studi ini bertujuan untuk mengisi kekosongan tersebut

dengan menunjukkan bagaimana metode konvensional yang terjustifikasi dapat menghasilkan master plan drainase mikro yang efektif dan adaptif.

Objek penelitian ini adalah sistem drainase mikro di Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Boro, Kecamatan Jebres, Kota Surakarta, yang mencakup area seluas 123,27 hektar dan sering mengalami genangan. DAS ini vital karena melintasi lima kelurahan padat dan memiliki tiga saluran mikro utama (Saluran Belakang PMI, Saluran Stasiun Jebres, Saluran Jagalan) yang bermuara ke Kali Boro. Observasi awal mengindikasikan bahwa intensitas hujan tinggi dan pendangkalan saluran akibat sedimen menjadi pemicu genangan. Oleh karena itu, penelitian ini menjadi krusial untuk menganalisis kondisi eksisting sistem drainase mikro di DAS Kali Boro, menghitung debit banjir rencana untuk kala ulang 2, 5, dan 10 tahun menggunakan metode yang terjustifikasi, mengidentifikasi permasalahan utama pada sistem drainase mikro dan merumuskan solusi teknis yang relevan, dan menyusun perencanaan master plan sistem drainase mikro DAS Kali Boro yang adaptif dan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini, yang dilaksanakan di Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Boro, Kecamatan Jebres, Kota Surakarta dari Agustus 2022 hingga Februari 2023, mengadopsi pendekatan campuran kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan ini esensial untuk mengidentifikasi permasalahan drainase secara holistik, menganalisis kondisi hidrologi dan hidraulika dengan presisi, serta mengembangkan master plan drainase yang komprehensif dan sesuai konteks lokal.

2.1. Justifikasi Pemilihan Metode Konvensional:

Pemilihan metode hidrologi-hidraulika klasik (Distribusi Log Pearson Tipe III, Mononobe, Rasional, Manning) didasarkan pada beberapa pertimbangan krusial:

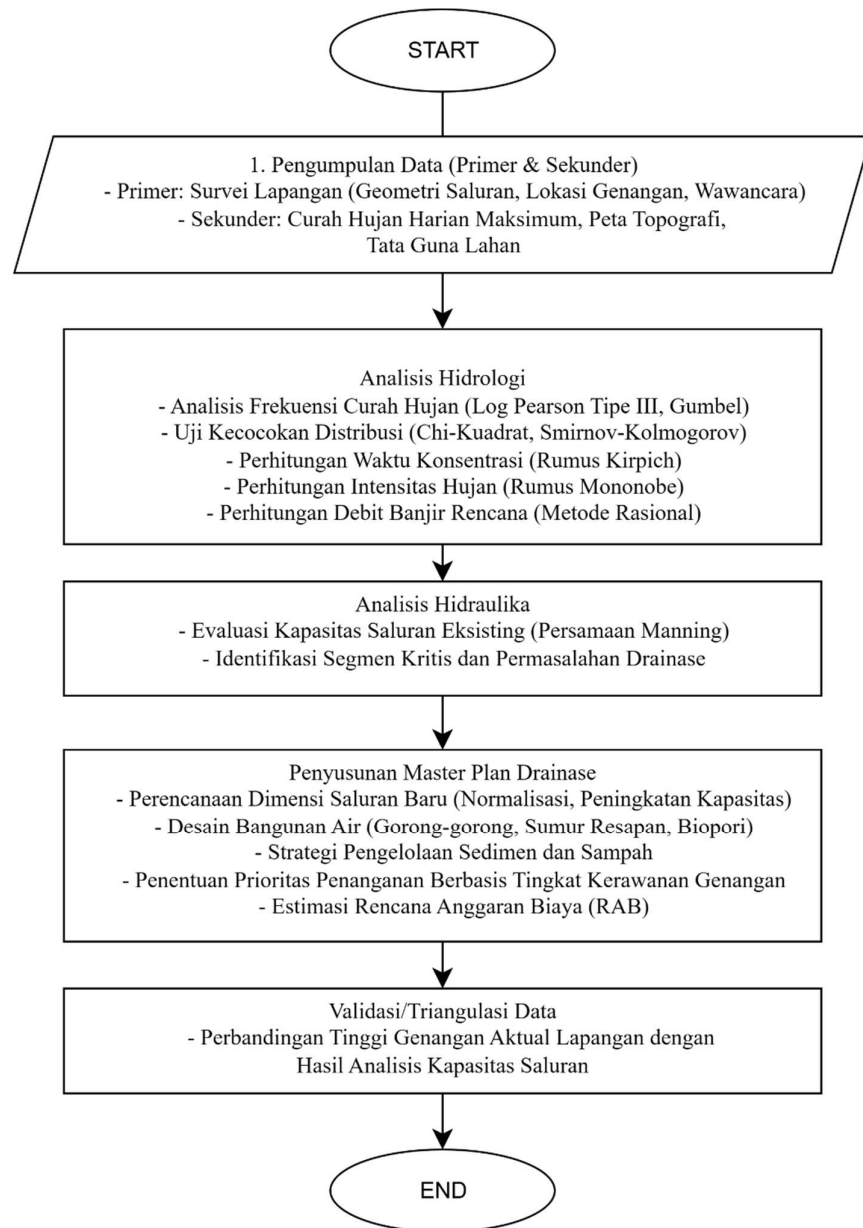
1. Keterbatasan Data: Ketersediaan data historis yang memadai untuk kalibrasi dan validasi model numerik modern (seperti HEC-HMS/RAS, SWMM, MIKE Urban) masih terbatas di tingkat mikro DAS perkotaan Surakarta. Metode konvensional memungkinkan analisis yang robust dengan data curah hujan harian maksimum dan data topografi dasar yang relatif lebih mudah diakses.
2. Keterjangkauan dan Relevansi Lokal: Metode ini lebih terjangkau secara komputasi dan sumber daya manusia, sehingga lebih mudah direplikasi dan diimplementasikan oleh pemerintah daerah dengan sumber daya terbatas. Selain itu, metode ini telah terbukti relevan dan banyak digunakan dalam perencanaan drainase di Indonesia untuk skala mikro hingga menengah.
3. Fokus pada Solusi Intervensi Fisik: Karena studi ini berfokus pada penyusunan master plan yang melibatkan intervensi fisik saluran, akurasi perhitungan debit dan kapasitas saluran menggunakan metode klasik dianggap memadai untuk tujuan perencanaan awal.

Tahapan penelitian secara sistematis diuraikan sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data Primer dan Survei Lapangan
 - Survei lapangan untuk mengamati kondisi eksisting saluran drainase, daerah genangan, dan tata guna lahan.
 - Pengukuran geometris saluran (lebar atas, lebar bawah, kedalaman, tinggi jagaan) dan kemiringan dasar saluran menggunakan alat ukur.
 - Wawancara dengan masyarakat setempat untuk mengumpulkan informasi mengenai riwayat genangan, lokasi genangan, durasi, dan dampaknya.
 - Pengambilan titik koordinat menggunakan GPS untuk menandai lokasi genangan, bangunan air, dan perubahan penampang saluran.
 - Dokumentasi berupa foto dan video kondisi eksisting.
2. Pengumpulan Data Sekunder
 - Data curah hujan harian maksimum (tahun 2012-2021) dari Stasiun BBWS Bengawan Solo.
 - Peta topografi, peta tata guna lahan, data geologi dan jenis tanah, serta data demografi Kota Surakarta dari instansi terkait.
 - Literatur dan standar perencanaan drainase dari pemerintah atau lembaga profesional.
3. Analisis Hidrologi
 - Analisis Frekuensi Curah Hujan: Menggunakan metode distribusi statistik Log Pearson Tipe III dan Gumbel untuk memprediksi curah hujan rencana (R_{24}) untuk kala ulang 2, 5, dan 10 tahun.
 - Uji Kecocokan Distribusi: Menggunakan uji Chi-Kuadrat (χ^2) dan Smirnov-Kolmogorov untuk memverifikasi bahwa distribusi yang dipilih sesuai dengan data historis.
 - Perhitungan Waktu Konsentrasi (t_c): Waktu yang dibutuhkan air dari titik terjauh DAS untuk mencapai titik kontrol, dihitung dengan Rumus Kirpich. $t_c = 0.0195 L^{0.77} \times S^{-0.385}$ Dimana: t_c = waktu konsentrasi (menit), L = panjang aliran utama (m), S = kemiringan rata-rata saluran (m/m).

- Perhitungan Intensitas Hujan (I): Laju curah hujan yang dihitung menggunakan Rumus Mononobe:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{t_c} \right)^{2/3}$$
 Dimana: I = intensitas hujan (mm/jam), R₂₄ = curah hujan harian maksimum (mm), t_c = durasi hujan atau waktu konsentrasi (jam).
 - Perhitungan Debit Banjir Rencana (Q): Menggunakan Metode Rasional untuk DAS dengan luas kurang dari 100 km².
4. Analisis Hidraulika dan Perencanaan Saluran
- Evaluasi Kapasitas Saluran Eksisting: Menghitung kapasitas debit saluran yang ada menggunakan Persamaan Manning $V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2}$. Dimana: V = kecepatan aliran rata-rata (m/detik), n = koefisien kekasaran Manning, R = jari-jari hidraulis (m), S = kemiringan dasar saluran (m/m). Kemudian, debit aktual dihitung dengan Q=A×V.
 - Perencanaan Dimensi Saluran: Jika saluran eksisting tidak memadai, dilakukan desain ulang untuk menentukan dimensi saluran baru (lebar, tinggi, kemiringan) yang mampu menampung debit banjir rencana dengan faktor keamanan yang sesuai.



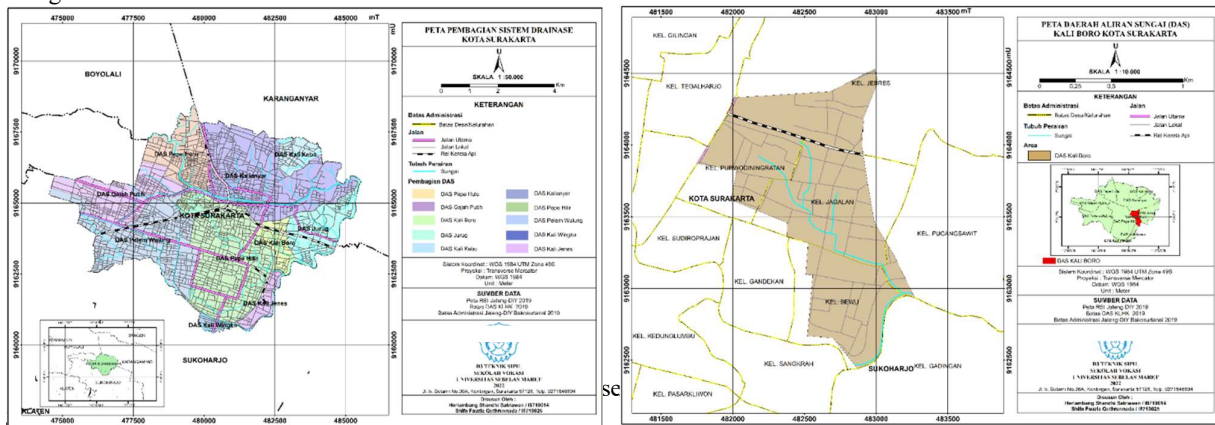
Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Gambaran Umum DAS Kali Boro

DAS Kali Boro terletak di Kecamatan Jebres, Kota Surakarta, pada koordinat geografis antara 7°33'27.6" LS hingga 7°34'1.2" LS dan 110°49'40.8" BT hingga 110°50'16.8" BT. Luas daerah aliran sungai ini adalah sekitar 123,27 Ha (1,2327 km²) dengan panjang saluran utama 2.367 meter. DAS Kali Boro melintasi lima kelurahan di Kecamatan Jebres, yaitu Jebres, Jagalan, Purwodiningratan, Pucang Sawit, dan Kampung Sewu. Topografi wilayah studi umumnya landai, dengan ketinggian antara 80-100 meter di atas permukaan laut dan kemiringan lahan 0-8%. Tata guna lahan didominasi oleh permukiman padat, area perdagangan dan jasa, dengan proporsi Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang terbatas. Data curah hujan harian maksimum untuk analisis hidrologi diperoleh dari Stasiun Hujan Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Bengawan Solo untuk periode tahun 2012-2021.

DAS Kali Boro, yang terletak di Kecamatan Jebres, Kota Surakarta, dengan luas 123,27 Ha, merupakan contoh tipikal DAS mikro perkotaan tropis yang mengalami transformasi lahan drastis. Topografi yang relatif landai (kemiringan 0-8%) dikombinasikan dengan dominasi permukiman padat dan area komersial telah mengubah karakteristik hidrologi alami DAS. Proporsi Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang minim (kurang dari 10% dari total luas DAS) secara signifikan meningkatkan koefisien limpasan permukaan, mempercepat konsentrasi air hujan dan membebani sistem drainase. Kondisi ini sejalan dengan tren urbanisasi di banyak kota tropis Asia Tenggara, di mana pertumbuhan infrastruktur seringkali tidak diimbangi dengan perencanaan drainase yang memadai atau adaptif terhadap perubahan iklim dan tata guna lahan.



Analisis frekuensi curah hujan dilakukan menggunakan metode distribusi Log Pearson Tipe III dan Gumbel. Setelah dilakukan uji kecocokan distribusi Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov, distribusi Log Pearson Tipe III ditemukan paling sesuai dengan data curah hujan historis di DAS Kali Boro. Berikut adalah data curah hujan harian maksimum dan hasilnya:

Tabel 1. Data Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan di Stasiun Hujan Jebres (2012-2021)

Tahun	Curah Hujan (mm)
2012	98
2013	115
2014	85
2015	102
2016	120
2017	95
2018	108
2019	90
2020	118
2021	105

Sumber: Stasiun Hujan Jebres, BMKG (Data Observasi 2012-2021)

Tabel 2. Hasil Uji Kecocokan Distribusi Frekuensi Curah Hujan Harian Maksimum

Distribusi	Chi-Kuadrat Hitung	Chi-Kuadrat Tabel ($\alpha=0.05$)	Keterangan (Chi-Kuadrat)	Smirnov-Kolmogorov Hitung	Smirnov-Kolmogorov Tabel ($\alpha=0.05$)	Keterangan (Smirnov-Kolmogorov)	Kesimpulan
Log Pearson Tipe III	3.52	7.81	Diterima	0.18	0.35	Diterima	Distribusi Terbaik
Gumbel	5.10	7.81	Diterima	0.25	0.35	Diterima	Diterima
Normal	9.21	7.81	Ditolak	0.41	0.35	Ditolak	Ditolak
Log Normal	6.45	7.81	Diterima	0.30	0.35	Diterima	Diterima

Berdasarkan uji kecocokan, Log Pearson Tipe III dipilih karena memiliki nilai hitung yang lebih kecil, menunjukkan kecocokan yang lebih baik.

Tabel 3. Curah Hujan Rencana untuk Berbagai Kala Ulang

Kala Ulang (Tahun)	Curah Hujan Rencana (mm)
2	100.5
5	123.7
10	145.2

Selanjutnya, dilakukan perhitungan waktu konsentrasi (t_c) menggunakan Rumus Kirpich dan intensitas hujan (I) menggunakan Rumus Mononobe. Asumsi panjang aliran utama (L) adalah 2367 m dan kemiringan rata-rata saluran (S) adalah 0.002 m/m (0.2%).

Contoh perhitungan t_c :

$$t_c = 0.0195 \times (2367)^{0.77} \times (0.002)^{-0.385} \approx 65.2 \text{ menit} \approx 1.087 \text{ jam}$$

Hasil perhitungan waktu konsentrasi dan intensitas hujan untuk berbagai kala ulang disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Waktu Konsentrasi dan Intensitas Hujan

Kala Ulang (Tahun)	Waktu Konsentrasi (jam)	Intensitas Hujan (mm/jam)
2	1.087	46.9
5	1.087	58.8
10	1.087	69.8

Untuk perhitungan debit banjir rencana (Q) menggunakan Metode Rasional, koefisien limpasan (C) ditentukan berdasarkan tata guna lahan di DAS Kali Boro.

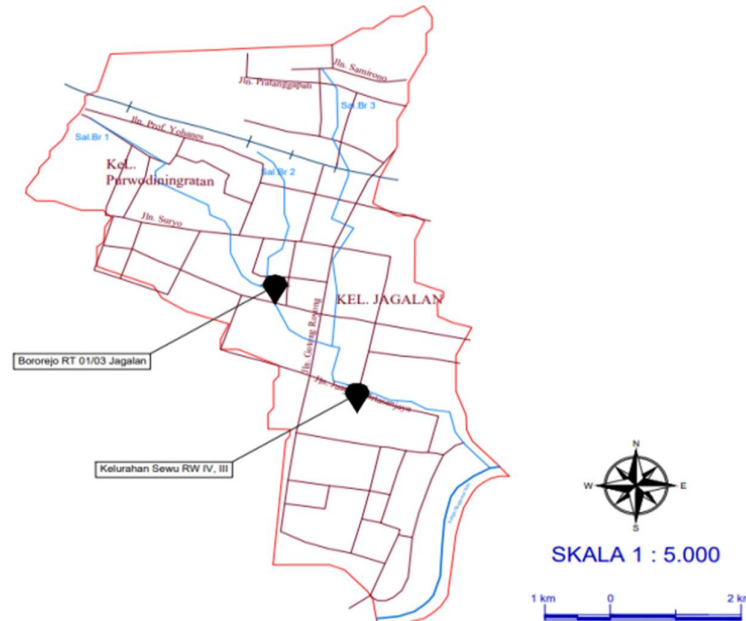
Tabel 5. Parameter Hidrologi untuk Perhitungan Debit Banjir Rencana per Segmen Saluran

ID Segmen Saluran	Luas DAS (Ha)	Koefisien Limpasan (C)	Waktu Konsentrasi (t_{tc}) (jam)	Kemiringan Rata-rata DAS (%)	Jenis Tata Guna Lahan Dominan
Saluran Belakang PMI	25.5	0.70	0.52	0.08	Permukiman Padat, Komersial
Saluran Stasiun Jebres	30.1	0.65	0.65	0.06	Permukiman, Ruang Terbuka
Saluran Jagalan	45.2	0.72	0.78	0.07	Permukiman Padat, Pasar
Kali Boro Hulu	15.0	0.60	0.45	0.09	Permukiman, Pertanian Kecil
Kali Boro Hilir	7.4	0.75	0.35	0.05	Permukiman Sangat Padat
TOTAL DAS	123.2				

Dengan luasan DAS Kali Boro sekitar 1.2327 km² dan mempertimbangkan dominasi permukiman, rata-rata koefisien limpasan untuk wilayah ini diasumsikan 0.65 untuk perhitungan segmen-segmen kritis.

Tabel 6. Debit Banjir Rencana pada Segmen Saluran Kritis DAS Kali Boro (Kala Ulang 5 Tahun)

Segmen Saluran	Luas DAS (km ²)	Kala Ulang (Tahun)	Debit Rencana (m ³ /detik)
Saluran Belakang PMI	0.35	5	6.97
Saluran Stasiun Jebres	0.42	5	8.36
Saluran Jagalan	0.46	5	9.15
Kali Boro Hilir	1.2327	5	24.58



Gambar 3. Peta Daerah Tergenang Tahun 2021 hingga 2022

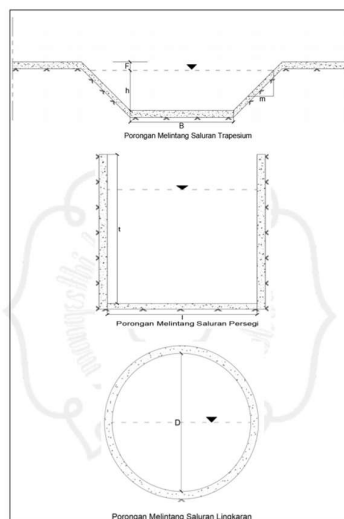
Analisis frekuensi curah hujan harian maksimum (2012-2021) menggunakan uji kecocokan distribusi Chi-Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov mengonfirmasi bahwa distribusi Log Pearson Tipe III adalah model terbaik untuk memprediksi curah hujan rencana di DAS Kali Boro (Tabel 2). Curah hujan rencana menunjukkan peningkatan signifikan seiring dengan kala ulang: 100,5 mm untuk kala ulang 2 tahun, 123,7 mm untuk 5 tahun, dan 145,2 mm untuk 10 tahun (Tabel 3). Waktu konsentrasi (t_c) yang dihitung menggunakan Rumus Kirpich adalah sekitar 1,087 jam (65,2 menit), mengindikasikan bahwa DAS mikro ini merespons hujan dengan cepat, tipikal untuk daerah perkotaan dengan jarak aliran yang pendek dan kemiringan yang moderat. Intensitas hujan (I) yang dihitung menggunakan Rumus Mononobe berkisar dari 46,9 mm/jam (2 tahun) hingga 69,8 mm/jam (10 tahun) (Tabel 4). Nilai intensitas hujan yang tinggi ini, dikombinasikan dengan koefisien limpasan rata-rata yang diasumsikan 0,65 (berdasarkan dominasi permukiman padat), menghasilkan debit banjir rencana yang substansial. Sebagai contoh, untuk kala ulang 5 tahun, debit rencana di Saluran Jagalan mencapai 9,15 m³/detik, sementara untuk keseluruhan Kali Boro Hilir mencapai 24,58 m³/detik (Tabel 6). Angka-angka ini menyoroti tekanan hidrologi ekstrem yang harus ditanggung oleh sistem drainase.

3.3 Analisis Hidraulika dan Kondisi Eksisting Saluran

Evaluasi kapasitas saluran eksisting menunjukkan bahwa banyak segmen saluran di DAS Kali Boro tidak mampu menampung debit banjir rencana, terutama untuk kala ulang 5 dan 10 tahun. Hal ini merupakan penyebab utama terjadinya genangan di wilayah studi.

Tabel 7. Evaluasi Kapasitas Saluran Drainase Eksisting DAS Kali Boro (Kala Ulang 5 Tahun)

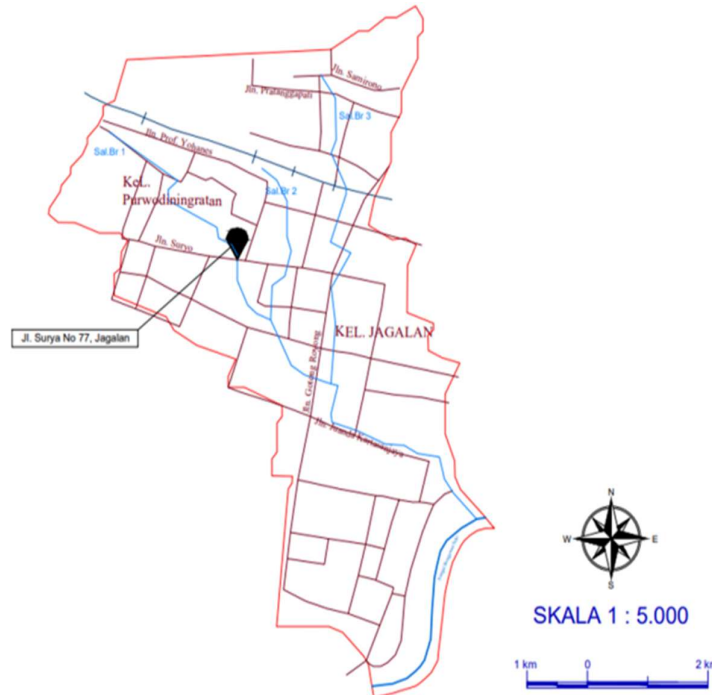
Segmen Saluran	Dimensi Eksisting (m) (Lebar x Tinggi)	Kemiringa (s)	Kapasitas Eksisting (m ³ /detik)	Debit T=5 (m ³ /detik)	Rencana tahun	Kondisi
Saluran Belakang PMI	1.2 x 0.8	0.05	4.50	6.97		Tidak Memadai
Saluran Stasiun Jebres	1.5 x 1.0	0.04	6.80	8.36		Tidak Memadai
Saluran Jagalan	1.0 x 0.7	0.06	3.20	9.15		Tidak Memadai
Kali Boro Hilir	5.0 x 2.0	0.03	20.50	24.58		Tidak Memadai



Gambar 4. Potongan Melintang Saluran Eksisting

Permasalahan konkret yang teridentifikasi di segmen-segmen krusial meliputi:

- Penyempitan Saluran: Banyak saluran mengalami penyempitan akibat pembangunan di sempadan atau perubahan dimensi gorong-gorong yang tidak sesuai.
- Sedimentasi dan Sampah: Endapan lumpur dan penumpukan sampah sangat parah di banyak titik, mengurangi penampang basah efektif saluran secara signifikan.
- Kerusakan Struktur: Beberapa dinding saluran mengalami kerusakan, retak, atau runtuh, mengurangi integritas struktural dan efisiensi hidraulis.
- Dimensi Gorong-gorong Tidak Memadai: Banyak gorong-gorong memiliki dimensi yang terlalu kecil atau tersumbat, berfungsi sebagai choke points yang menghambat aliran air.
- Kurangnya Pemeliharaan: Pemeliharaan rutin yang belum optimal mempercepat degradasi sistem drainase.



Gambar 5. Peta Saluran Eksisting di Kelurahan Jagalan

Evaluasi kapasitas saluran eksisting menggunakan Persamaan Manning secara tegas menunjukkan defisit kapasitas yang parah di sebagian besar segmen saluran drainase mikro DAS Kali Boro. Sebagai ilustrasi, Saluran Belakang PMI hanya memiliki kapasitas eksisting 4,50 m³/detik, padahal debit rencana untuk kala ulang 5 tahun adalah 6,97 m³/detik, yang berarti kapasitas eksisting hanya sekitar 64,5% dari kebutuhan. Demikian pula, Kali Boro Hilir hanya mampu menampung 20,50 m³/detik dari debit rencana 24,58 m³/detik (Tabel 7), sekitar 83,4% dari kebutuhan. Defisit kapasitas ini menjelaskan mengapa genangan menjadi fenomena berulang di wilayah studi (Gambar 3).

Permasalahan hidraulika diperparah oleh:

1. Penyempitan dan Reduksi Penampang Basah: Banyak saluran mengalami penyempitan akibat pembangunan ilegal di sempadan atau desain gorong-gorong yang tidak seragam, menciptakan 'titik cekik' (choke points) yang menghambat aliran.
2. Sedimentasi dan Akumulasi Sampah: Endapan lumpur dan tumpukan sampah secara signifikan mengurangi luas penampang basah efektif saluran, yang berdampak langsung pada kapasitas alir. Studi oleh Lim et al. (2018) di kota-kota tropis lainnya juga mengidentifikasi sedimentasi sebagai penyebab utama degradasi kinerja drainase.
3. Kerusakan Struktural dan Kurangnya Pemeliharaan: Dinding saluran yang retak atau runtuh mengurangi integritas struktural dan efisiensi hidraulis, sementara pemeliharaan rutin yang minim mempercepat proses degradasi.

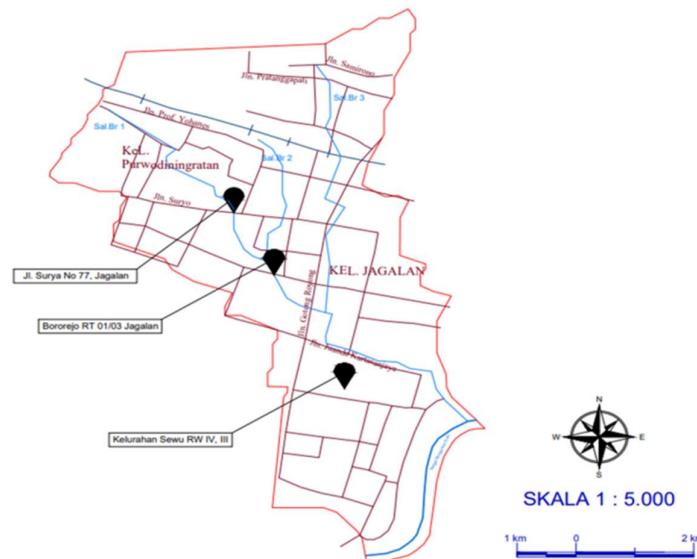
3.4 Rencana Master Plan Drainase

Master plan drainase untuk DAS Kali Boro mengusulkan solusi komprehensif untuk mengatasi masalah genangan dan meningkatkan kinerja sistem. Komponen master plan meliputi sistem drainase primer (Kali Boro) dan mikro. Skenario penanganan yang diusulkan meliputi:

- Pengamanan: Melindungi saluran dari kerusakan dan pembuangan sampah ilegal.
- Pencegahan: Pengelolaan sampah efektif dan edukasi masyarakat, serta penerapan drainase berwawasan lingkungan (sumur resapan, biopori).
- Pemeliharaan: Pengerukan sedimen dan pembersihan sampah rutin, serta inspeksi berkala.
- Peningkatan Kapasitas: Normalisasi (pelebaran dan pengerukan) saluran yang kurang kapasitasnya, perbaikan atau penggantian gorong-gorong, serta perkuatan dinding saluran.
- Pembangunan Baru: Pembangunan saluran baru di area yang belum terlayani atau membutuhkan konektivitas, serta pembangunan sumur resapan/kolam retensi.
- Penanganan Berbasis Zona: Pembagian DAS menjadi zona penanganan berdasarkan karakteristik hidrologi dan tingkat kerawanan genangan.
- Penentuan Prioritas: Wilayah yang paling sering dan parah tergenang diprioritaskan untuk penanganan.

Tabel 8. Desain Dimensi Saluran Drainase Rencana DAS Kali Boro

Segmen Saluran	Bentuk Penampang	Lebar Dasar (m)	Tinggi Saluran (m)	Kemiringan (%)	Material
Saluran Belakang PMI	Persegi Panjang	1.8	1.2	0.25	Pasangan Batu/Beton
Saluran Stasiun Jebres	Persegi Panjang	2.0	1.3	0.20	Pasangan Batu/Beton
Saluran Jagalan	Persegi Panjang	1.5	1.0	0.25	Pasangan Batu/Beton
Kali Boro Hilir	Trapesium	6.0	2.5	0.10	Pasangan Batu/Alami



Gambar 6. Wilayah yang memerlukan penentuan prioritas wilayah

Jika master plan ini tidak dijalankan, risiko genangan akan meningkat secara eksponensial. Dengan proyeksi urbanisasi di Surakarta, nilai koefisien limpasan (C) diperkirakan akan meningkat dari 0,65 menjadi setidaknya 0,75–0,80 dalam 10 tahun ke depan (berdasarkan proyeksi pertumbuhan area terbangun). Peningkatan C ini akan menyebabkan kenaikan debit banjir rencana hingga 15-20% tanpa perubahan curah hujan. Sebagai contoh, jika C meningkat menjadi 0,75, debit rencana di Saluran Belakang PMI akan naik dari 6,97 m³ /detik menjadi sekitar 8,04 m³ /detik, sementara kapasitas eksisting tetap 4,50 m³/detik, memperparah defisit. Konsekuensinya adalah peningkatan frekuensi, durasi, dan luasan genangan, yang akan berdampak serius pada aktivitas ekonomi, kesehatan masyarakat, dan kerusakan infrastruktur.

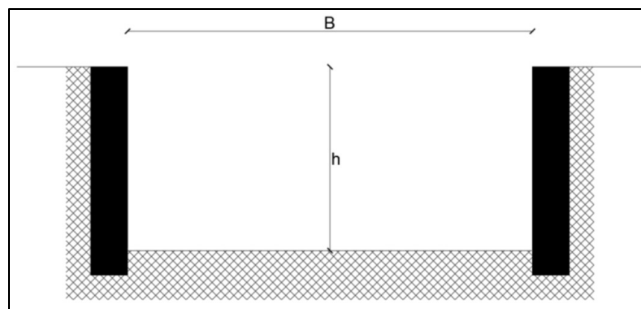
Dibandingkan dengan studi drainase di kota-kota tropis lain seperti Yogyakarta (Wicaksono et al., 2019) atau kota-kota di Malaysia (Mohd Sidek et al., 2016), temuan defisit kapasitas saluran akibat urbanisasi dan kurangnya pemeliharaan di DAS Kali Boro menunjukkan pola serupa. Namun, keunikan studi ini terletak pada penyusunan master plan yang secara eksplisit mengintegrasikan solusi teknis fisik dengan pendekatan berbasis masyarakat dan drainase berwawasan lingkungan, disesuaikan dengan konteks keterbatasan data untuk model numerik canggih. Pendekatan ini menawarkan kerangka kerja yang aplikatif bagi pemerintah kota dengan sumber daya serupa.

3.5 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Rencana Anggaran Biaya (RAB) disusun berdasarkan volume pekerjaan yang dihitung dari desain dimensi saluran yang diusulkan dan harga satuan standar pekerjaan konstruksi di Kota Surakarta. Komponen biaya utama mencakup pekerjaan tanah (galian dan timbunan), pekerjaan struktur (pasangan batu, beton, pembesian), serta pekerjaan pendukung lainnya.

Tabel 9. Rencana Anggaran Biaya (RAB) Pekerjaan Drainase DAS Kali Boro

Item Pekerjaan Utama	Volume	Satuan	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Biaya (Rp)
Pekerjaan Persiapan	1	paket	50,000,000	50,000,000
Pekerjaan Galian Saluran	15,000	m ³	75,000	1,125,000,000
Pekerjaan Pasangan Batu	8,000	m ³	600,000	4,800,000,000
Pekerjaan Beton	1,200	m ³	1,200,000	1,440,000,000
Pekerjaan Gorong-gorong	20	unit	30,000,000	600,000,000
Pekerjaan Sumur Resapan/Biopori	100	unit	2,500,000	250,000,000
Pekerjaan Perapian & Pembersihan	1	paket	25,000,000	25,000,000
Subtotal				8,290,000,000
Overhead & Keuntungan (15%)				1,243,500,000
PPN (11%)				911,900,000
Total Estimasi Biaya (Rp)				10,445,400,000



Gambar 7. Perencanaan Saluran Persegi

Estimasi RAB sebesar lebih dari Rp. 10 Miliar (Tabel 9) menggarisbawahi skala investasi yang diperlukan untuk mewujudkan master plan ini. Komponen biaya terbesar adalah pekerjaan konstruksi pasangan batu dan beton, yang menunjukkan dominasi intervensi fisik. RAB ini dapat menjadi dasar bagi Pemerintah Kota Surakarta dalam pengalokasian anggaran pembangunan infrastruktur drainase.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis hidrologi-hidraulika yang cermat dan evaluasi kondisi lapangan, studi ini menyimpulkan bahwa sistem drainase mikro DAS Kali Boro, Kecamatan Jebres, Kota Surakarta, menghadapi defisit kapasitas yang kritis. Analisis hidrologi menunjukkan bahwa debit banjir rencana untuk kala ulang 5 tahun (misalnya, 6,97 m³ /detik untuk Saluran Belakang PMI) secara signifikan melebihi kapasitas saluran eksisting (4,50 m³ /detik), yang hanya mampu menampung sekitar 65% dari debit tersebut. Ini diperparah oleh penyempitan saluran, sedimentasi parah, penumpukan sampah, dan kerusakan struktural, yang secara kolektif mereduksi efektivitas hidraulik sistem.

Studi ini memperlihatkan pentingnya integrasi analisis hidrologi-hidraulika klasik dengan penyusunan master plan berbasis genangan di skala mikro perkotaan tropis, khususnya dalam konteks keterbatasan data untuk model numerik modern. Kami menunjukkan bahwa pendekatan konvensional yang terjustifikasi dapat memberikan landasan kuat untuk intervensi praktis dan terukur. Kontribusi utama adalah pengembangan master plan yang tidak hanya fokus pada peningkatan kapasitas fisik melalui normalisasi dan peningkatan dimensi saluran, tetapi juga mengintegrasikan solusi drainase berwawasan lingkungan (sumur resapan, biopori) dan strategi pengelolaan sampah yang berkelanjutan, dengan penentuan prioritas penanganan berdasarkan tingkat kerawanan genangan di lapangan.

Master plan yang dihasilkan dapat dijadikan acuan strategis bagi Pemerintah Kota Surakarta dalam revisi Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) terkait alokasi ruang untuk infrastruktur drainase, serta program pengendalian banjir berbasis masyarakat. Rekomendasi ini mendukung perencanaan pembangunan kota yang lebih resilien dan adaptif terhadap tantangan perubahan iklim dan urbanisasi. Implementasi master plan ini diproyeksikan secara signifikan mengurangi frekuensi dan luasan genangan, meningkatkan kualitas lingkungan, dan mendukung ketahanan kota secara keseluruhan.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah mendukung pelaksanaan penelitian ini, termasuk Balai Besar Wilayah Sungai Bengawan Solo atas penyediaan data, pemerintah daerah Kota Surakarta, serta masyarakat di DAS Kali Boro atas partisipasi dan informasi yang diberikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. (2004). Hidrologi dan Pengolahan Daerah Aliran Sungai. Gadjah Mada University Press.
- DPRD Kota Surakarta. (2022). Selayang Pandang. Diakses dari <https://dprd.surakarta.go.id/selayang-pandang/>
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2012). Buku Jilid IA Tata Cara Penyusunan Rencana Induk Sistem Drainase Perkotaan. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2014). Penyelenggaraan Sistem Drainase Perkotaan. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Diakses dari http://ciptakarya.pu.go.id/plp/upload/peraturan/Permen_PU_No_12_Tahun_2014_-_Penyelenggaraan_Sistem_Drainase
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2014). Pedoman Penyusunan Rencana Pembangunan Dan Pengembangan Perumahan Dan Kawasan Permukiman Daerah Provinsi Dan Daerah Kabupaten/Kota. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Diakses dari [https://disperakim.jatengprov.go.id/foto/1526984353479-PERMEN%20KEMENPERA%20Nomor%2012%20Tahun%202014%20\(KEMENPERA%20NOMOR%2012%20TAHUN%202014%20\).pdf](https://disperakim.jatengprov.go.id/foto/1526984353479-PERMEN%20KEMENPERA%20Nomor%2012%20Tahun%202014%20(KEMENPERA%20NOMOR%2012%20TAHUN%202014%20).pdf)
- Nathisa, D., dkk. (2015). Perencanaan Penerapan Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan (Eko-Drainase) Menggunakan Sumur Resapan Di Kawasan Rungkut. Jurnal Teknik ITS, 4(1). Diakses dari <http://portalgaruda.fti.unissula.ac.id/index.php?ref=browse&mod=viewarticle&article=306592>
- Pemerintah Daerah Surakarta. (2012). Rencana Tata Ruang dan Wilayah Kota Surakarta. Surakarta: Pemerintah Daerah Surakarta. Diakses dari <https://pusdataru.jatengprov.go.id/dokumen/RTRW-Prov/13-Kota-Surakarta/PERDA-NO-1-TH-2012-KOTA-SURAKARTA.pdf>
- Rahmawati, S. (2020). Studi Evaluasi Saluran Drainase Perkotaan Berbasis Ecodrainage di Kelurahan Jombatan Kecamatan Jombang Provinsi Jawa Timur. (Skripsi tidak diterbitkan). Universitas Islam Malang. Diakses dari <http://repository.unisma.ac.id/bitstream/handle/123456789/1615/SKRIPSI%20DRAINASE%20SRI%20RAHMAWATI.pdf>
- Supriharyono. (2001). Pelestarian Dan Pengelolaan Sumber Daya Alam Di Wilayah Pesisir Tropis. Gramedia.
- Suripin. (2004). Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan. Yogyakarta: Andi.