

Analisis Kapasitas Hidraulik Saluran Drainase Menggunakan Pemodelan Storm Water Management Model (SWMM): Studi Kasus di Kecamatan Banguntapan

Muhamad Arifin^{1*}, Cahyaning Kilang Permatasari¹

¹Universitas Cokroaminoto Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

nifira.arkana@gmail.com*

| Received: 22/12/2025 | Revised: 18/01/2026 | Accepted: 26/01/2026 |

Copyright©2026 by authors. Authors agree that this article remains permanently open access under the terms of the Creative Commons

Abstrak

Genangan merupakan problem utama yang sering terjadi baik dikawasan permukiman maupun Kawasan lain di perkotaan terutama di kota-kota besar. Banjir yang terjadi di wilayah permukiman sering kali disebabkan oleh gagalnya saluran drainase membuang kelebihan air tersebut. Di mana curah hujan yang tinggi tidak diimbangi dengan kapasitas saluran yang memadai atau bahkan tertutup oleh sampah. Tujuan dari penelitian ini adalah melakukan evaluasi kapasitas hidrolis saluran drainase menggunakan pemodelan dengan software SWMM. Metode dalam penelitian ini menggunakan metode *Mix Method* atau gabungan antara metode kuantitatif dan metode kualitatif. Identifikasi dilakukan dengan melakukan koordinasi dengan stakeholder dan melihat secara langsung kondisi eksisting di lokasi penelitian. Analisis dalam penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pemodelan hidrolis saluran memakai *software* SWMM 5.2. Hasil dari pemodelan hidrolis saluran drainase, beberapa lokasi menunjukkan kapasitas saluran sudah tidak memenuhi sehingga perlu dilakukan perbesaran kapasitas saluran, sedangkan di lokasi lokasi yang kapasitasnya masih memenuhi terdapat banyak sampah dan sedimentasi yang menyebabkan penyumbatan saluran drainase dan juga memperkecil kapasitas saluran eksisting. Untuk menjamin keberlangsungan system saluran drainase yang ada di Kapanewon banguntapan tersebut perlu dilakukan operasi dan pemeliharaan baik secara rutin maupun berkala termasuk rehabilitasi terhadap saluran yang kondisinya sudah rusak.

Kata kunci: Genangan/Banjir, Drainase, Kapasitas Saluran, SWMM

Abstract

Inundation is a major problem that frequently occurs in both residential areas and other urban zones, particularly in large cities. Flooding in residential areas is often caused by the failure of drainage channels to convey excess water. This condition commonly occurs when high rainfall intensity is not supported by adequate drainage capacity or when drainage channels are obstructed by solid waste. This study

employs a mixed-methods approach, combining quantitative and qualitative methods. Identification was conducted through coordination with relevant stakeholders and direct observation of existing conditions at the study location. The analysis was carried out using hydraulic modeling of drainage channels with the SWMM 5.2 software. The results of the hydraulic modeling indicate that, in several locations, the drainage channel capacity is no longer sufficient and therefore requires capacity enlargement. Meanwhile, in locations where the channel capacity remains adequate, significant amounts of waste and sedimentation were found, causing blockages and reducing the effective capacity of the existing drainage system. To ensure the sustainability of the drainage system in Kapanewon Banguntapan, routine and periodic operation and maintenance activities are required, including rehabilitation of drainage channels that are already in deteriorated condition.

Keywords: Inundation/Flood, Drainage, Chanel Capacity, SWMM

Pendahuluan

Perkembangan kawasan perkotaan yang pesat berdampak langsung pada perubahan alih fungsi lahan dan peningkatan luas permukaan kedap air. Kondisi tersebut menyebabkan berkurangnya daya resap tanah dan meningkatnya limpasan permukaan/ *run off* saat terjadi hujan. Akibatnya, sistem drainase yang ada sering kali tidak mampu menampung dan mengalirkan debit air secara optimal sehingga menimbulkan genangan bahkan banjir, khususnya pada kawasan permukiman dan pusat aktivitas masyarakat. Permasalahan genangan pada umumnya dipicu oleh beberapa faktor, antara lain kapasitas saluran drainase yang tidak memadai, sedimentasi dan sampah yang menghambat aliran, serta perencanaan sistem drainase yang belum mempertimbangkan perubahan pola curah hujan dan perkembangan wilayah. Evaluasi kapasitas saluran drainase menjadi langkah penting untuk mengetahui kinerja sistem eksisting dan menentukan kebutuhan perbaikan atau pengembangan jaringan drainase.

Berdasarkan berbagai temuan empiris yang telah dikaji, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas hidraulik saluran drainase di Kecamatan Banguntapan dengan memanfaatkan perangkat lunak *Storm Water Management Model (SWMM)*. Cakupan penelitian meliputi evaluasi kinerja saluran drainase serta identifikasi lokasi-lokasi kritis yang memerlukan penanganan, guna mendukung perencanaan sistem drainase perkotaan yang adaptif terhadap dinamika kondisi hidrologis dan dampak perubahan iklim di masa depan.

Urbanisasi yang pesat dan konversi lahan menjadi *impervious surface* meningkatkan volume limpasan permukaan, sehingga membebani sistem drainase dan menyebabkan genangan serta banjir di kawasan perkotaan. Banjir yang terjadi di wilayah pemukiman sering kali disebabkan oleh gagalnya saluran drainase membuang kelebihan air tersebut. Di mana curah hujan yang tinggi tidak diimbangi dengan kapasitas saluran yang memadai atau bahkan tertutup oleh sampah (Saridewi & Budiyanto, 2024). *Storm Water Management Model (SWMM)* telah terbukti menjadi alat evaluasi hidraulik yang efektif dalam mengukur kemampuan saluran drainase untuk mengelola debit limpasan hujan. Sebagai contoh, model ini digunakan untuk menguji kapasitas saluran di Kota Malang, yang menunjukkan titik-titik genangan akibat keterbatasan kapasitas saluran existing (Efendi et al., 2022).

Dalam penelitian terbaru menunjukkan bahwa ketika menggunakan *Software SWMM* dan dikombinasikan dengan analisis dari data *geographic information system* (GIS) sangat efektif untuk menilai kesiapan sistem drainase menghadapi perubahan penggunaan lahan dan pola curah hujan di daerah urban yang berkembang cepat. SWMM juga mendukung analisis berbagai skenario perencanaan dan mitigasi banjir, termasuk penerapan infrastruktur hijau dan hibrida (Adinew et al., 2024).

Meskipun berbagai studi telah menggunakan *Storm Water Management Model* (SWMM) untuk mengevaluasi performa sistem drainase di lingkungan perkotaan, mayoritas penelitian tersebut masih terkonsentrasi pada kota-kota besar dan kawasan dengan dukungan data yang lengkap, seperti Jakarta, Surabaya, atau Bandung. Sebaliknya, kawasan penyangga kota seperti Kecamatan Banguntapan di Kabupaten Bantul, yang mengalami tekanan urbanisasi tinggi dan perubahan tata guna lahan secara cepat, justru belum banyak mendapat perhatian khusus dalam penelitian berbasis pemodelan hidrologi-hidraulik.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengisi celah tersebut dengan menyusun model SWMM berbasis data lokal, dikalibrasi secara empiris, dan digunakan untuk mengevaluasi kapasitas hidraulik saluran eksisting serta menguji berbagai skenario mitigasi melalui pendekatan berbasis data GIS/ DEMNAS. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis dalam pengelolaan sistem drainase yang adaptif, berkelanjutan, dan berbasis data untuk wilayah pinggiran perkotaan yang sedang berkembang pesat termasuk menentukan alternatif penanganannya sesuai dengan hasil analisis baik dengan peningkatan kapasitas saluran maupun alternatif yang lainnya.

Drainase

Dalam konteks pengelolaan air, sistem drainase merupakan infrastruktur vital yang berfungsi sebagai sarana pengalihan air berlebih (*excess water*) dan air limbah (*waste water*) dari berbagai sumber, termasuk kawasan permukiman, kegiatan industri, area pertanian dan lahan terbuka, serta badan jalan dan perkerasan. Sistem ini didesain untuk mengalirkan kelebihan air hujan dan air kotor dari suatu wilayah menuju saluran pembuangan atau badan air penerima, sehingga mempertahankan kondisi ekologis dan sanitasi lingkungan. Drainase modern telah berkembang jauh melampaui pendekatan konvensional yang hanya fokus pada kuantitas air; saat ini integrasi aspek kualitas air seperti filtrasi, retensi, dan pengendalian polutan juga menjadi bagian penting dalam perencanaan desain drainase yang berkelanjutan dan adaptif terhadap perubahan iklim dan urbanisasi (Zhou, 2014).

Hujan

Proses awal terjadinya hujan dimulai ketika massa udara yang mengandung uap air dalam jumlah besar mengalami pengangkatan ke atmosfer akibat pengaruh mekanisme meteorologis, seperti konveksi (pergerakan udara akibat pemanasan permukaan bumi), pertemuan massa udara dengan karakteristik berbeda (frontal), atau pengaruh topografi seperti pegunungan (orografis). Ketika massa udara tersebut naik ke ketinggian yang lebih tinggi di atmosfer, suhu lingkungannya mengalami penurunan secara adiabatik. Akibatnya, udara mencapai kondisi jenuh, yaitu ketika kandungan uap airnya tidak lagi dapat ditampung dalam bentuk gas, sehingga terjadi proses kondensasi. Dalam tahap ini, uap air mengembun dan menempel pada partikel-partikel kecil higroskopis yang disebut inti kondensasi (*condensation nuclei*), membentuk butiran air berukuran

sangat kecil dengan diameter sekitar 1 hingga 20 mikrometer. Proses kondensasi yang berlangsung secara berkelanjutan menyebabkan butiran air ini bertambah besar, membentuk tetesan awan yang pada akhirnya dapat mencapai ukuran ratusan mikron. Pertumbuhan ini menjadi tahap awal pembentukan awan yang kemudian berkembang menjadi presipitasi jika kondisi atmosfer mendukung proses pertambahan ukuran tetesan hingga melebihi ambang batas untuk jatuh sebagai hujan (Poydenot & Andreotti, 2024).

Setelah tetesan air dalam awan mencapai ukuran ambang kritis, yaitu sekitar 100 mikrometer, proses pertumbuhan selanjutnya didominasi oleh mekanisme koalesensi. Koalesensi merupakan fenomena di mana tetesan air yang lebih besar bergerak lebih cepat dan menangkap tetesan yang lebih kecil di sekitarnya, meskipun laju jatuhnya masih diperlambat oleh hambatan udara. Proses ini sangat penting dalam perkembangan awan tipe hangat (*warm clouds*), di mana suhu udara tetap berada di atas titik beku. Dalam kondisi tersebut, turbulensi atmosfer berperan signifikan dalam meningkatkan frekuensi tumbukan antar tetesan, sehingga mempercepat proses penggabungan atau koalesensi. Akibatnya, tetesan air terus mengalami pertumbuhan hingga mencapai ukuran diameter lebih dari satu milimeter. Pada titik ini, gaya gravitasi yang bekerja pada tetesan sudah cukup besar untuk mengatasi hambatan udara, sehingga tetesan tidak lagi dapat bertahan di dalam awan dan mulai jatuh ke permukaan bumi sebagai hujan (Xue et al., 2008).

Daerah Tangkapan Air

Untuk melakukan analisis debit rencana drainase, diperlukan estimasi yang akurat terhadap luas Daerah Tangkapan Air (*catchment*) saluran drainase. Estimasi tersebut harus merepresentasikan kondisi nyata di lapangan, sehingga melibatkan penggunaan berbagai data GIS dan pemetaan, seperti peta topografi atau kontur, jaringan jalan, sungai, bangunan, area genangan, serta citra hasil foto udara. Selain itu, informasi lapangan dari hasil survei saluran dan studi terdahulu juga menjadi sumber penting untuk memastikan delineasi *catchment* yang tepat. Peta topografi memungkinkan identifikasi ketinggian dan kemiringan lahan, yang sangat menentukan arah dan kecepatan aliran permukaan. Informasi *impervious area* juga sangat berpengaruh terhadap parameter hidrologi seperti koefisien limpasan (*curve number*) dan waktu konsentrasi (*time of concentration*), yang kemudian digunakan dalam pemodelan hidrolika perencanaan drainase seperti SWMM (Li et al., 2020).

Metodologi Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode studi kasus yang difokuskan pada sistem drainase di Kecamatan Banguntapan. Pendekatan ini dipilih untuk melakukan analisis secara terukur terhadap kapasitas hidraulik saluran drainase eksisting dengan bantuan pemodelan numerik menggunakan perangkat lunak *Storm Water Management Model* (SWMM).

Metode *Storm Water Management Model* (SWMM) merupakan salah satu metode pemodelan hidrologi dan hidraulika yang banyak digunakan dalam penelitian drainase perkotaan. SWMM mampu mensimulasikan proses hujan menjadi limpasan, distribusi aliran dalam jaringan saluran, serta interaksi antara komponen hidrologi dan hidraulika secara terintegrasi. Dengan

menggunakan metode ini, peneliti dapat memperoleh gambaran kuantitatif mengenai debit aliran, tinggi muka air, serta tingkat pemanfaatan kapasitas saluran pada berbagai kondisi hujan rencana.

Penggunaan SWMM dalam penelitian kapasitas hidrolik saluran drainase memberikan keunggulan dalam hal akurasi analisis dan fleksibilitas pengujian skenario. Hasil pemodelan dapat dimanfaatkan untuk mengidentifikasi titik-titik kritis yang berpotensi mengalami limpasan berlebih, sekaligus menjadi dasar dalam merumuskan rekomendasi teknis perbaikan sistem drainase. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis dalam mendukung perencanaan dan pengelolaan drainase yang lebih efektif dan berkelanjutan.

Secara umum, tahapan penelitian ini meliputi identifikasi masalah, pengumpulan data, pengolahan data, pemodelan, simulasi, analisis hasil, serta penarikan kesimpulan dan saran.

1. Identifikasi Masalah

Pada tahap awal dilakukan pengamatan lapangan dan telaah kondisi eksisting sistem drainase di Kecamatan Banguntapan untuk mengidentifikasi adanya indikasi permasalahan kapasitas saluran, seperti sering terjadi genangan atau banjir lokal.

2. Studi Literatur

Studi literatur dilaksanakan untuk memperoleh dasar teori mengenai sistem drainase perkotaan, analisis hidrologi dan hidrolika, metode penentuan hujan rencana, perhitungan debit rencana, serta penggunaan perangkat lunak SWMM. Selain itu dikaji pula standar-standar perencanaan drainase yang berlaku sebagai acuan evaluasi.

3. Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data curah hujan harian maksimum tahunan selama 12 tahun periode data tahun 2010 sampai dengan tahun 2021 yang bersumber dari dinas PUP-ESDM Daerah Istimewa Yogyakarta untuk keperluan analisis hidrologi. Data topografi serta tata guna lahan yang dimanfaatkan dalam menentukan karakteristik daerah tangkapan air (*catchment area*), diperoleh dari data Rencana Tata Ruang Wilayah Kabupaten Bantul tahun 2019, sedangkan data geometrik saluran drainase yang mencakup dimensi penampang, panjang saluran, kemiringan, dan kondisi fisik saluran dari Dinas PUP Kabupaten Bantul dan dilakukan verifikasi lapangan. Keseluruhan data tersebut dikumpulkan guna menunjang proses perhitungan hidrologi dan hidrolika serta mendukung pemodelan sistem drainase pada wilayah studi.

4. Pengolahan Data

Dilakukan analisis statistik curah hujan untuk menentukan hujan rancangan dengan periode ulang tertentu menggunakan distribusi probabilitas yang sesuai. Dilanjutkan dengan perhitungan debit rencana menggunakan Metode Rasional yang sesuai dengan kondisi daerah studi dan luasan daerah tangkapan air.

5. Pemodelan Dengan SWMM

Metode yang digunakan dalam analisis kapasitas hidrolik pada penelitian ini adalah pemodelan menggunakan perangkat lunak SWMM. Melalui metode tersebut, sistem drainase di Kecamatan Banguntapan direpresentasikan dalam bentuk model dengan memasukkan parameter

hidrologi dan hidraulika yang telah diperoleh dari hasil pengumpulan dan pengolahan data. Pemodelan *subcatchment* serta jaringan saluran dilakukan dengan mengacu pada kondisi eksisting, sehingga model yang dibangun dapat merepresentasikan karakteristik sistem drainase secara lebih realistis.

6. Analisis Hidraulik Kapasitas Saluran

Hasil simulasi digunakan untuk mengevaluasi kemampuan saluran dalam menampung debit rencana. Identifikasi dilakukan terhadap titik-titik saluran yang berpotensi tidak mencukupi kapasitasnya sehingga dapat menyebabkan genangan.

7. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, ditarik kesimpulan mengenai kondisi kapasitas saluran drainase eksisting. Selanjutnya diberikan saran perbaikan, baik dalam bentuk peningkatan dimensi saluran, normalisasi, maupun alternatif manajemen drainase lainnya.

Intensitas Hujan

Dalam penelitian ini, intensitas hujan (mm/jam) dihitung secara empiris berdasarkan data curah hujan harian (mm) menggunakan metode *Mononobe*. Metode ini memungkinkan konversi data harian menjadi intensitas hujan jangka pendek, yang penting untuk desain sistem drainase dan analisis hidrologi (Faradiba, 2021). Faradiba (2021) menerapkan Metode *Mononobe* pada data curah hujan tahunan di Pulau Jawa, menghasilkan perhitungan intensitas hujan untuk durasi pendek (1–8 jam) dan menunjukkan bahwa intensitas menurun seiring dengan meningkatnya durasi. Selain itu menggunakan metode *Mononobe* untuk menyusun kurva intensitas–durasi–frekuensi (IDF) di Kota Pontianak, menunjukkan bahwa metode ini cocok digunakan saat hanya tersedia data harian (Hidayati et al., 2023).

$$R_T = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T} \right)^{2/3}$$

dengan:

R_T = intensitas hujan pada durasi T jam (mm/ jam)

R_{24} = curah hujan harian maksimum (mm)

T = durasi hujan (jam)

Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi (T_c) merupakan durasi yang dibutuhkan air hujan untuk mengalir dari titik terjauh wilayah tangkapan ke titik kontrol atau *outlet*. Dalam model hidrologi lumped, diasumsikan bahwa ketika durasi curah hujan sama dengan waktu konsentrasi, seluruh area tangkapan secara serempak telah memberikan kontribusi aliran ke titik kontrol. Salah satu metode empiris yang sering digunakan untuk memperkirakan T_c pada daerah aliran relatif kecil adalah persamaan Kirpich (1940), yang menyatakan bahwa T_c berbanding lurus dengan panjang jalur aliran dan berbanding terbalik dengan kemiringan wilayah. Formula ini secara luas diterapkan

dalam perencanaan drainase dan teknik hidrologi untuk menentukan intensitas hujan dan debit puncak (Salimi et al., 2017).

$$t_c = \left(\frac{0.87 \cdot L^2}{1000 \cdot S} \right)^{0.385}$$

dengan:

- t_c = waktu konsentrasi (jam)
- L = panjang saluran dari hulu sampai titik kontrol (km)
- S = kemiringan rata-rata saluran

Debit Rencana

Analisis debit banjir rencana di lakukan dengan menggunakan Metode Rasional dengan pertimbangan daerah tangkapan air (*catchment area*) yang cukup kecil. Secara konseptual, metode ini mengasumsikan bahwa debit puncak terjadi ketika seluruh daerah tangkapan telah berkontribusi terhadap aliran di titik tinjauan. Dengan demikian, ketepatan analisis sangat dipengaruhi oleh penentuan parameter utama, seperti intensitas hujan rencana yang sesuai dengan periode ulang tertentu, nilai koefisien limpasan yang mencerminkan kondisi tata guna lahan, serta luas daerah tangkapan yang dianalisis.

Debit rencana dalam sistem drainase ditentukan melalui hubungan antara curah hujan dan aliran limpasan, di mana volumenya dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti intensitas hujan, luas Daerah Tangkapan Air (*catchment*), durasi hujan, serta karakteristik fisik wilayah tersebut (misalnya kemiringan dan jenis tutupan lahan). Salah satu metode empiris yang umum digunakan untuk estimasi debit puncak adalah Metode Rasional, sebagaimana dikemukakan oleh Sri Harto (2000), yang sangat sesuai untuk aplikasi pada catchment berukuran relatif kecil—sekitar 40 sampai 80 ha. Dalam metode ini, debit puncak (Q_p) dihitung menggunakan rumus sederhana yang mempertimbangkan koefisien limpasan (C), intensitas hujan setara waktu konsentrasi, serta luas catchment menunjukkan kesesuaian metode untuk area terbatas (Hua et al., 2003).

$$Q_T = 0.00278 C I_{c,T} A$$

dimana:

- Q_T = debit puncak (m³/det) untuk kala ulang T tahun,
- C = koefisien run-off, yang dipengaruhi kondisi tata guna lahan pada daerah tangkapan air.
- $I_{c,T}$ = intensitas hujan rata-rata (mm/ jam) untuk waktu konsentrasi (t_c) dan kala ulang T tahun,
- A = luas daerah tangkapan air (ha).

Hidraulika Saluran

Analisis hidraulika bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan saluran drainase dalam menyalurkan debit rencana, dengan mempertimbangkan geometri dan karakteristik saluran tersebut. Saluran drainase terbuka dapat memiliki berbagai bentuk penampang—seperti trapesium, persegi panjang, setengah lingkaran, atau kombinasi dari bentuk-bentuk tersebut—di mana aliran air terjadi pada permukaan bebas yang terbuka terhadap tekanan atmosfer. Untuk menganalisis aliran di saluran-saluran ini, sering digunakan persamaan empiris *Manning*, yang mengaitkan kecepatan rata-rata aliran dengan jari-jari hidraulik, kemiringan saluran, dan koefisien kekasaran (Arfaah et al., 2024).

$$Q_{maks} = A \times V$$

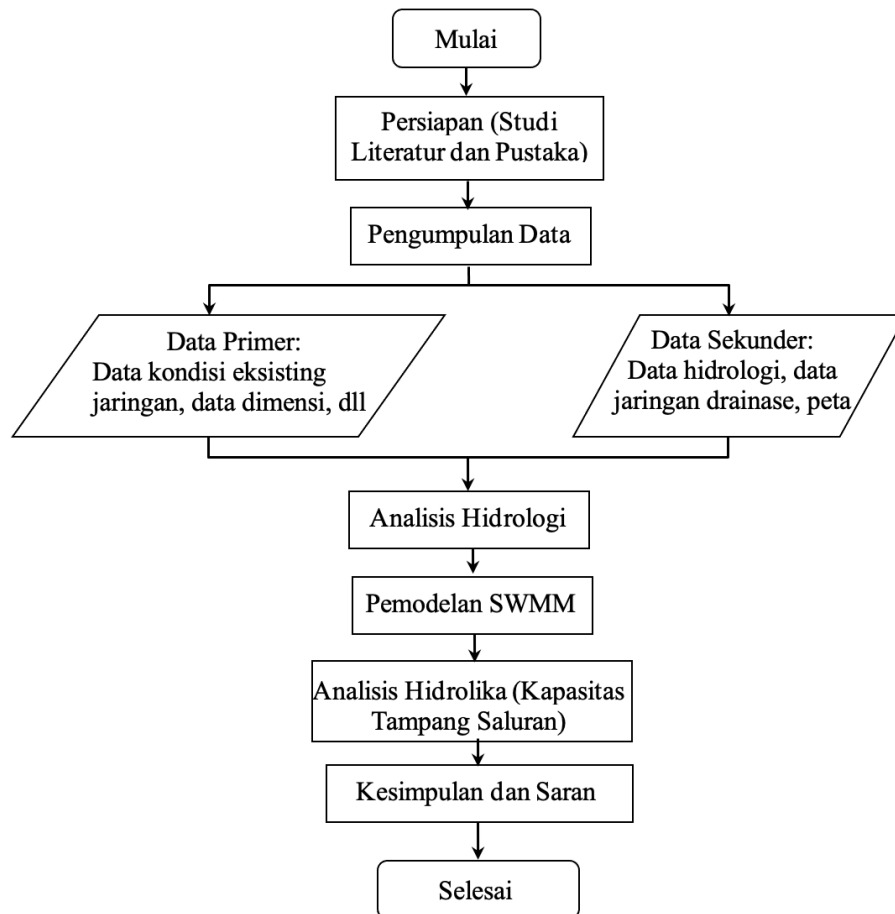
$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} I^{1/2}$$

dimana,

- Q = debit banjir rencana (m³/ dt)
- V = kecepatan aliran (m/ dt)
- A = luas penampang basah (m²)
- R = radius hidrolis (m) = A/ P
- P = keliling basah (m)
- N = koefisien Manning, yang nilainya tergantung dari material saluran (lihat Tabel 3.3)
- I = kemiringan dasar saluran.

Storm Water Managemant Model (SWMM)

Analisis sistem drainase dilakukan menggunakan aplikasi EPA SWMM versi 5.1 sebagai alat pemodelan hidrologi dan hidraulika. SWMM (*Storm Water Management Model*) adalah model kompleks yang dikembangkan oleh U.S. Environmental Protection Agency untuk mensimulasikan dinamika hubungan antara curah hujan dan limpasan. Pemodelan ini mempertimbangkan proses-proses hidrologi seperti variasi temporal curah hujan, evaporasi di permukaan, pengumpulan air (*storage*), infiltrasi ke zona tanah tak jenuh, serta mekanisme limpasan dan sistem drainase yang ada, sehingga mampu menghasilkan gambaran yang komprehensif mengenai aliran dan kapasitas sistem drainase kota (Saridewi & Budiyanto, 2024).



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Identifikasi Genangan

Identifikasi data genangan dengan melakukan koordinasi dengan pemerintah desa di masing-masing lokasi untuk mendapatkan informasi wilayah-wilayah yang rawan terjadi genangan ketika musim hujan. Hasil identifikasi area genangan di Kecamatan Banguntapan terdapat 43 titik genangan yang sering terjadi di musim penghujan dan secara rinci disajikan dalam tabel berikut ini.

Tabel 1. Hasil identifikasi titik genangan di Kecamatan Banguntapan

No.	Kalurahan	Lokasi (Dusun/Jalan)	Koordinat	Parameter Genangan		
				Luas	Tinggi	Lama
1	Baturetno	Pelem, Jl Mojosari Raya	Y : -7,811426 X :110,418032	< 1 Ha	0,1 - < 0,2 m	1 – 2 jam
2	Baturetno	Pelem, jln.cendrawasih	Y : -7,809077 X : 110,417721	< 1 Ha	0,2 - < 0,3 m	1 - 2 jam
3	Baturetno	Pelem, jl. amat wakhid	Y : -7,809175	< 1 Ha	0,2 - < 0,3 m	2 - < 4 jam

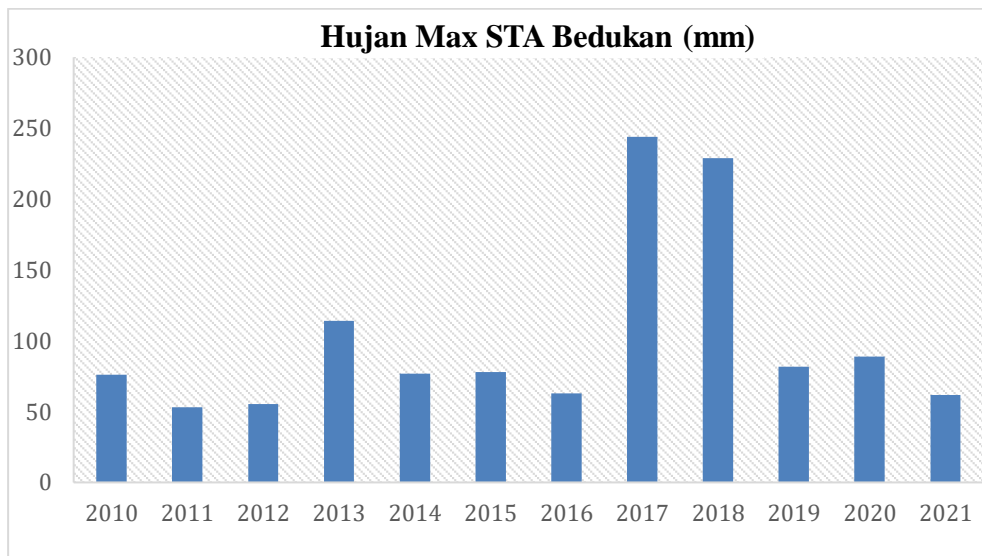
No.	Kalurahan	Lokasi (Dusun/Jalan)	Koordinat	Parameter Genangan		
				Luas	Tinggi	Lama
			X : 110,418339			
4	Baturetno	Pelem, Jalan raya Berbah	Y : -7,802738 X : 110,419547	< 1 Ha	0,1 - < 0,2 m	1 - 2 jam
5	Baturetno	Manggisan, jl. Karangturi	Y : -7,828748 X : 110,410339	< 1 Ha	0,1 - < 0,2 m	1 - 2 jam
6	Baturetno	Manggisan, Jl daruneba	Y : -7,829082 X : 110,409507	< 1 Ha	0,1 - < 0,2 m	1 - 2 jam
7	Singosaren	Singosaren 3	Y : -7,84049 X : 110,397196	< 1 Ha	0,3 - 0,5 m	2 - < 4 jam
8	Singosaren	Singosaren III	Y : -7,840274 X : 110,396599	< 1 Ha	> 0,5 m	4 - 8 jam
9	Singosaren	Singosaren III, g.durian	Y : -7,840822 X : 110,39917	< 1 Ha	0,2 - < 0,3 m	4 - 8 jam
10	Singosaren	sarirejo 2, rt 5	Y : -7,833941 X : 110,400124	2- < 4 Ha	0,3 - 0,5 m	4 - 8 jam
11	Singosaren	Singosaren 2, jln.singosaren	Y : -7,834463 X : 110,39749	2- < 4 Ha	0,2 - < 0,3 m	2 - < 4 jam
12	Singosaren	Singosaren 2, g.rinten4 semoyan	Y : -7,833076 X : 110,397481	< 1 Ha	0,1 - < 0,2 m	2 - < 4 jam
13	Singosaren	Singosaren 2, sarirejo2 rt 7-6	Y : -7,835611 X : 110,399796	< 1 Ha	0,3 - 0,5 m	2 - < 4 jam
14	Singosaren	Singosaren 2, pasar burung utara ringrood selatan	Y : -7,837115 X : 110,399347	2- < 4 Ha	0,2 - < 0,3 m	2 - < 4 jam
15	Wirokerten	botokenceng, jl. masjid At ta'abud	Y : -7,852256 X : 110,393326	< 1 Ha	0,1 - < 0,2 m	1 - 2 jam
16	Wirokerten	Grojogan, jl. rt 04	Y : -7,845426 X : 110,393356	< 1 Ha	0,1 - < 0,2 m	1 - 2 jam
17	Wirokerten	Grojogan, jl. rt 05	Y : -7,844257 X : 110,392934	< 1 Ha	0,1 - < 0,2 m	1 - 2 jam
18	Wirokerten	Grojogan, RT 05	Y : -7,834142	< 1 Ha	0,1 - < 0,2 m	1 - 2 jam

No.	Kalurahan	Lokasi (Dusun/Jalan)	Koordinat	Parameter Genangan		
				Luas	Tinggi	Lama
			X : 110,40551			
19	Tamanan	Kemutug, Jalan gang sadewa RT 02	Y : -7,834865 X : 110,382187	< 1 Ha	0,1 - < 0,2 m	< 1 jam
20	Tamanan	Tamanan, jl. ringroad selatan	Y : -7,834175 X : 110,386100	< 1 Ha	0,2 - < 0,3 m	2 - < 4 jam
21	Tamanan	Kauman, Gg. Rt 03, bopongan	Y : -7,845174 X : 110,381945	< 1 Ha	0,3 - 0,5 m	4 - 8 jam
22	Jagalan	Bodon, jln.desa bodon	Y : -7,828131 X : 110,39411	< 1 Ha	0,2 - < 0,3 m	4 - 8 jam
23	Jagalan	Bodon, Gang Bodon Depan SD Muhammadiyah bodon	Y : -7,828082 X : 110,394811	< 1 Ha	< 0,1 m	1 - 2 jam
24	Baturetno	Ngipik, Jl. Pleret	Y : -7,83327 X : 110,412445	< 1 Ha	0,1 - < 0,2 m	1 - 2 jam
25	Baturetno	Ngipik, Jl. Pleret	Y : -7,830326 X : 110,412905	< 1 Ha	0,1 - < 0,2 m	1 - 2 jam
26	Baturetno	Ngipik, Jalan Ngipik	Y : -7,829215 X : 110,412928	< 1 Ha	0,1 - < 0,2 m	1 - 2 jam
27	Baturetno	Ngipik, Jl. Ngipik	Y : -7,829125 X : 110,412324	< 1 Ha	0,2 - < 0,3 m	1 - 2 jam
28	Potorono	Mertosanan kulon, jln.pleret	Y : -7,841019 X : 110,411386	< 1 Ha	0,1 - < 0,2 m	4 - 8 jam
29	Potorono	Mertosanan kulon, jln.pleret	Y : -7,837705 X : 110,411748	< 1 Ha	0,1 - < 0,2 m	4 - 8 jam
30	Banguntapan	Tegaltandan, jln.garuda simpang 5 taman ketandan pringgolayan	Y : -7,812207 X : 110,40905	< 1 Ha	0,1 - < 0,2 m	4 - 8 jam
31	Banguntapan	Tegaltandan, Gg. Mawar Timur- Jl.Kenanga	Y : -7,802782 X : 110,407485	< 1 Ha	0,2 - < 0,3 m	2 - < 4 jam
32	Banguntapan	Wonocatur, Jl. Wonocatur Rt 12 & 13	Y : -7,802752 X : 110,413783	< 1 Ha	0,2 - < 0,3 m	2 - < 4 jam

No.	Kalurahan	Lokasi (Dusun/Jalan)	Koordinat	Parameter Genangan		
				Luas	Tinggi	Lama
33	Banguntapan	Wonocatur, Jl. Sawo (RT 10, 01, 08, 07)	Y : -7,799076 X : 110,410788	< 1 Ha	0,2 - < 0,3 m	2 - < 4 jam
34	Banguntapan	Tegaltandan, Jl. Janti (Halaman depan JEC)	Y : -7,798598 X : 110,404177	2- < 4 Ha	0,3 - 0,5 m	2 - < 4 jam
35	Banguntapan	Jaranan, g.beo pelem mulung	Y : -7,815174 X : 110,407299	2- < 4 Ha	0,1 - < 0,2 m	4 - 8 jam
36	Banguntapan	Jaranan, g.semar rt13	Y : -7,814093 X : 110,405643	< 1 Ha	0,2 - < 0,3 m	4 - 8 jam
37	Banguntapan	Jaranan, selatan g.cendana	Y : -7,814111 X : 110,403404	2- < 4 Ha	0,2 - < 0,3 m	4 - 8 jam
38	Banguntapan	Plumbon, jln.sidomakmur belakang grand rohan	Y : -7,796689 X : 110,404749	2- < 4 Ha	0,2 - < 0,3 m	1 - 2 jam
40	Banguntapan	Dsn. Sorowajan (Jl. Sorowajan)	Y : -7.793237 X : 110.403318	0,1 - < 0,2 m	< 1 Ha	1 - 2 jam
41	Banguntapan	Dsn. Sorowajan (Jl. Tempuyung)	Y : -7.792185 X : 110.404132	0,1 - < 0,2 m	< 1 Ha	2 - < 4 jam
42	Banguntapan	Dsn. Sorowajan (Jl. Pura)	Y : -7.794021 X : 110.40145	0,1 - < 0,2 m	< 1 Ha	1 - 2 jam
43	Potorono	Dsn. Banjar Dadap	Y : -7.847832 X : 110.409444	0,1 - < 0,2 m	< 1 Ha	4 - 8 jam

Analisis Hidrologi

Data hujan yang digunakan merupakan data hujan harian maksimum tahunan di Stasiun Hujan Bedukan selama 12 tahun dari tahun 2010 sampai dengan 2021 yang bersumber dari Bidang Sumberdaya Air Dinas PUP-ESDM DI. Yogyakarta.



Gambar 2. Grafik Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan Stasiun Bedukan

Analisis frekuensi merupakan analisis mengenai pengulangan suatu data kejadian untuk menentukan periode ulang beserta probabilitasnya. Untuk menentukan kecocokan distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi peluang yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi frekuensi tersebut diperlukan pengujian beberapa metode sebagai parameter. Analisis frekuensi digunakan untuk menentukan besarnya hujan rancangan. Berdasarkan data curah hujan yang ada dapat dihitung curah hujan maksimum diperoleh statistik CH maksimum seperti berikut ini.

Tabel 2. Hasil identifikasi titik genangan di Kecamatan Banguntapan

m	m/(N+1)	Tahun	Hujan (mm)	Ln [Hujan (mm)]
1	0.077	2017	244.000	5.497
2	0.154	2018	229.000	5.434
3	0.231	2010	125.315	4.831
4	0.308	2013	114.200	4.738
5	0.385	2012	91.183	4.513
6	0.462	2020	88.700	4.485
7	0.538	2011	87.391	4.470
8	0.615	2019	81.600	4.402
9	0.692	2015	77.900	4.355
10	0.769	2014	76.900	4.343
11	0.846	2016	62.800	4.140
12	0.923	2021	61.700	4.122
Jumlah Data =			12	12

m	m/(N+1)	Tahun	Hujan (mm)	Ln [Hujan (mm)]
Rerata =			111.724	4.611
Simpangan Baku =			61.160	0.449
Koef.Skewness =			1.690	1.201
Kurtosis =			1.730	0.622

Sumber hasil analisis 2025

Uji distribusi terhadap sebaran data stasiun hujan dilakukan dengan menggunakan Metode *Smirnov-Kolmogorov* dan Metode *Chi-Square*. Pengujian ini dilakukan untuk melihat tingkat ketelitian hasil analisis statistik dasar data hujan Stasiun Hujan Bedukan. Adapun hasil pengujian metode *Smirnov-Kolmogorov* diperoleh bahwa distribusi yang paling mendekati adalah distribusi Log-Pearson III dengan delta maksimumnya yang paling kecil. Hasil uji distribusi dengan Metode *Smirnov-Kolmogorov* dapat disajikan pada tabel 3 berikut ini.

Tabel 3. Hasil Uji Smirnov-Kolmogorov Sta Bedukan

Hujan (mm)	m/(N+1)		1. Normal		2. Log Normal		3. Gumbel		4. Log Pearson III	
			P (x>=X)	Delta P	P (x>=X)	Delta P	P (x>=X)	Delta P	P (x>=X)	Delta P
244.00	1	0.077	0.015	0.062	0.024	0.053	0.034	0.042	0.046	0.031
229.00	2	0.154	0.028	0.126	0.033	0.121	0.047	0.107	0.054	0.099
125.31	3	0.231	0.412	0.181	0.312	0.081	0.344	0.114	0.258	0.027
114.20	4	0.308	0.484	0.176	0.388	0.081	0.413	0.106	0.320	0.012
91.18	5	0.385	0.632	0.247	0.586	0.202	0.578	0.194	0.511	0.127
88.70	6	0.462	0.647	0.185	0.610	0.149	0.597	0.136	0.539	0.077
87.39	7	0.538	0.655	0.116	0.623	0.084	0.608	0.069	0.554	0.015
81.60	8	0.615	0.689	0.073	0.679	0.064	0.652	0.037	0.625	0.009
77.90	9	0.692	0.710	0.018	0.715	0.023	0.681	0.012	0.674	0.019
76.90	10	0.769	0.715	0.054	0.725	0.044	0.688	0.081	0.688	0.082
62.80	11	0.846	0.788	0.058	0.853	0.007	0.791	0.055	0.887	0.041
61.70	12	0.923	0.793	0.130	0.862	0.061	0.799	0.124	0.901	0.022
Hitungan kelayakan			Delta Max =	0.247	Delta Max =	0.202	Delta Max =	0.194	Delta Max =	0.127
Delta Kritik =			0.382		diterima		diterima		diterima	

Sumber : Hasil Analisis tahun 2025

Hasil uji distribusi dengan menggunakan Metode *Chi-Square* juga menunjukkan bahwa distribusi yang paling cocok untuk Stasiun Hujan Bedukan merupakan distribusi Log

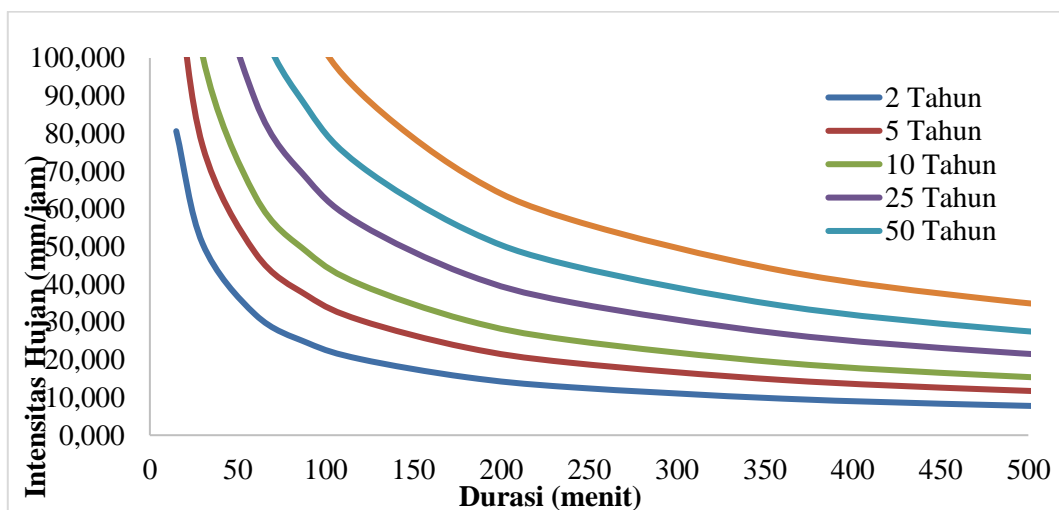
Pearson III. Hasil analisis uji distribusi Stasiun Hujan Bedukan dengan Metode *Chi-Square* dapat dilihat dalam tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Hasil Uji Chi-Square Stasiun Hujan Bedukan

DISTRIBUSI LOG PEARSON III							
Kelas	P(x>=X)		E _f	Hujan (mm)	O _f	E _f -O _f	(E _f -O _f) ² /E _f
1	0,200	0,00 <P<= 0,20	2,400	139,380	2	0,400	0,067
2	0,400	0,20 <P<= 0,40	2,400	103,030	2	0,400	0,067
3	0,600	0,40 <P<= 0,60	2,400	83,545	3	-0,600	0,150
4	0,800	0,60 <P<= 0,80	2,400	69,013	3	-0,600	0,150
5	1,000	0,80 <P<= 1,00	2,400	61,700	2	0,400	0,067
Jumlah E _f =			12,000	Jumlah O _f =	12	Chi ² =	0,500
Derajat Kebebasan =			1,000	Chi Kritis =	3,841	diterima	

Sumber : Hasil Analisis tahun 2025

Intensitas curah hujan rancangan daerah kajian diperoleh dengan perhitungan menggunakan rumus *Mononobe* dengan kala ulang 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun dan 25 tahun. Dalam konsep kala ulang, tidak terdapat pengertian bahwa kejadian hujan akan berulang secara teratur setiap kala ulang tersebut. Grafik kurva intensitas durasi dan frekuensi hujan berbagai kala ulang Stasiun Bedukan dapat dilihat dalam gambar 3 berikut ini.



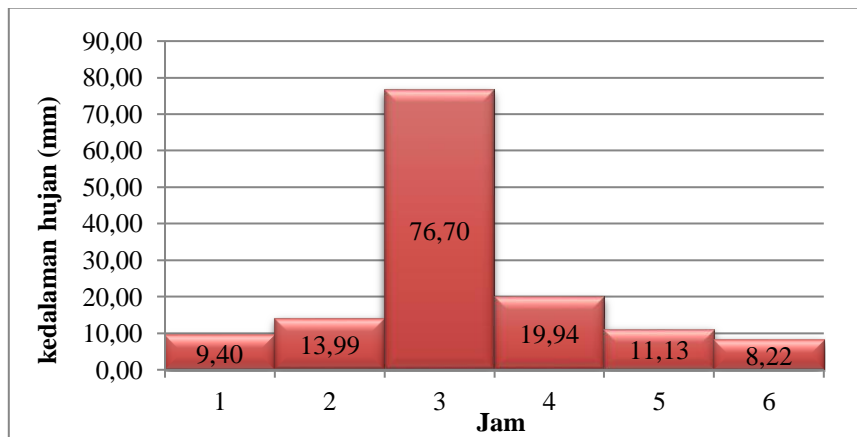
Gambar 3. Kurva IDF Hujan Kala Ulang Stasiun Bedukan

Alternating Block Method adalah cara sederhana untuk membuat hyetograph rencana dari kurva IDF. Hyetograph rencana yang dihasilkan oleh metode ini adalah hujan yang terjadi dalam n rangkaian interval waktu yang berurutan dengan durasi $\Delta t = 1$ jam selama waktu $T_d = n \times \Delta t$, dalam hal ini durasi hujan = 6 jam.

Tabel 5. Agihan Hujan Stasiun Bedukan

t (jam)	I (mm/jam)	ΣP (mm)	P (mm)	Dist ABM (mm)	%	Dist ABM P_s
1	48.3	48.3	48.3	5.92	6.7	9.40
2	30.4	60.9	12.6	8.81	10.0	13.99
3	23.2	69.7	8.8	48.32	55.0	76.70
4	19.2	76.7	7.0	12.56	14.3	19.94
5	16.5	82.6	5.9	7.01	8.0	11.13
6	14.6	87.8	5.2	5.18	5.9	8.22
				87.8	100.0	139.38

Sumber: Hasil analisis 2025



Gambar 4. Pola Distribusi Hujan 6 Jam Stasiun Bedukan

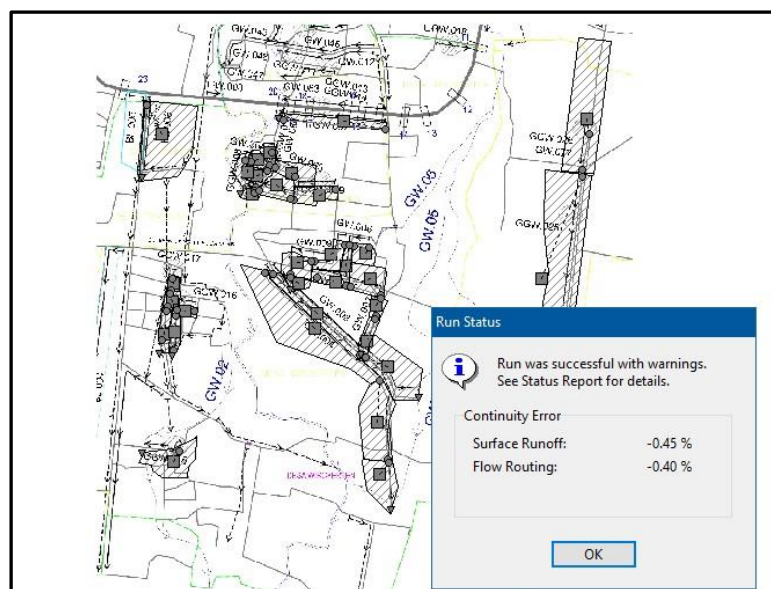
Analisis Hidrolika (Pemodelan Hidrolika Saluran)

Analisis hidrolika pemodelan saluran drainase dilakukan dengan menggunakan software EPA SWMM 5.2 yang di keluarkan oleh *US. Environmental Protection Agency*. Input data hujan yang di gunakan dalam simulasi ini adalah data hujan rancangan kala ulang 5 tahunan.

Date (M/D/Y)	Time (H:M)	Value
	0	0
	1	9.40
	2	13.99
	3	76.70
	4	19.94
	5	11.13
	6	8.22

Gambar 5. Input Data Hujan dalam Pemodelan SWMM

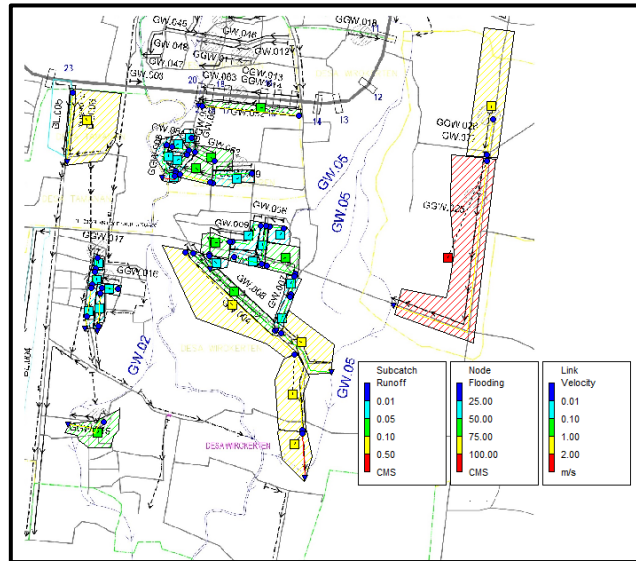
Tahapan selanjutnya adalah running model pada aplikasi SWMM. Setelah program running simulasi akan memunjukkan apakah simulasi berhasil atau tidak. Dan terdapat persentase kesalahan kontinuitas pada limpasan permukaan dan penelusuran aliran seperti gambar 6 dibawah ini.



Gambar 6. Run Status Pada Software SWMM 5.2

Pemodelan pada sistem drainase ini didapat dari menu *map* dan *themes*, kemudian terdapat tabel untuk memilih *subcatchments* dan pilih debit *runoff*, *depth* pada *Nodes*, dan *velocity* pada *links* (Saluran). Kemudian, *time of day* berdurasi dari 0 – 6 jam dimana simulasi akan

menampilkan hasil keseluruhan dari pengaplikasian SWMM. Selain itu, hasil simulasi secara keseluruhan dapat dilihat pada tampilan peta kawasan seperti pada gambar 7 berikut ini.



Gambar 7. Tampilan peta pemodelan SWMM pada Parameter Debit (*Runoff*), Kedalaman(*depth*), dan Kecepatan(*Velocity*)

Tabel 6. Hasil Analisis Hidrolika Saluran Pemodelan dengan Software SWMM 5.2

No	Sistem Saluran	Q (m ³ /s)	Depth (m)	Velocity (m/s)	B (m)	H (m)	Keterangan
1	Pelem, Jl Mojosari Raya	0.21	0.30	1.17	0.40	0.60	Cukup
2	Pelem, Jl. Cendrawasih	0.60	0.68	1.34	0.70	0.70	Cukup
3	Pelem, Jl. Amat Wakhid	0.38	0.38	2.51	0.40	0.60	Cukup
4	Pelem, Jl. Raya Berbah	0.29	0.49	2.51	0.50	0.50	Cukup
5	Manggisan, Jl. Karangturi	0.15	0.26	1.14	0.50	0.50	Cukup
6	Manggisan, Jl. Daruneba	0.4	0.4	2.73	0.40	0.60	Cukup
7	Singosaren III	0.25	0.37	1.71	0.40	0.40	Cukup
8	Singosaren III	0.28	0.37	2.08	0.40	0.40	Cukup
9	Singosaren III, Gg. Durian	0.25	0.39	2.16	0.40	0.40	Cukup
10	Sarirejo 2, RT. 5	0.30	0.40	1.93	0.40	0.40	Tidak Cukup
11	Singosaren 2, Jl. Singosaren	1.87	0.85	2.19	1.00	1.00	Cukup
12	Singosaren 2, Gg. Rinten 4 Semoyan	0.37	0.50	1.57	0.50	0.50	Tidak Cukup
13	Singosaren 2, Sarirejo 2 RT 7 - 6	0.37	0.50	1.80	0.50	0.50	Tidak Cukup

No	Sistem Saluran	Q (m ³ /s)	Depth (m)	Velocity (m/s)	B (m)	H (m)	Keterangan
14	Singosaren 2, pasar burung utara Ringroad Selatan	0.42	0.50	1.91	0.50	0.50	Tidak Cukup
15	Botokenceng, Jl. Masjid At Ta'abud	0.42	0.50	1.91	0.50	0.50	Tidak Cukup
16	Grojogan, RT 04	0.63	0.61	1.38	0.75	0.80	Cukup
17	Grojogan, RT 05	0.54	0.60	1.76	0.60	0.60	Tidak Cukup
18	Grojogan, RT 05	0.54	0.60	1.76	0.60	0.60	Tidak Cukup
19	Kemutug, Gg. Sadewa RT 02	0.41	0.37	2.22	0.50	0.50	Cukup
20	Tamanan, Jl. Ringroad Selatan	0.19	0.24	1.60	0.50	0.50	Cukup
21	Kauman, RT 03, Bopongan	0.52	0.51	2.94	0.80	0.70	Cukup
22	Bodon, Jl. Desa Bodon	1.36	0.40	3.39	1.00	1.00	Cukup
23	Bodon, Depan SD Muhammadiyah Bodon	0.24	0.40	1.55	0.40	0.40	Tidak Cukup
24	Ngipik, Jl. Pleret	0.17	0.15	1.80	0.60	0.60	Cukup
25	Ngipik, Jl. Pleret	0.23	0.28	4.20	0.40	0.40	Cukup
26	Ngipik, Jalan Ngipik	0.22	0.60	0.60	0.60	0.60	Tidak Cukup
27	Ngipik, Jl. Ngipik	0.44	0.61	1.02	0.90	0.90	Cukup
28	Mertosanan Kulon, Jl. Pleret	0.51	0.39	1.66	0.80	0.80	Cukup
29	Mertosanan Kulon, Jl. Pleret	0.15	0.36	1.08	0.40	0.40	Cukup
30	Tegaltandan, Jl. Garuda Simpang 5 Taman Ketandan Pringgolayan	0.55	0.70	1.65	0.60	0.70	Tidak Cukup
31	Tegaltandan, Gg. Mawar Timur-Jl. Kenanga	0.14	0.31	1.15	0.40	0.40	Cukup
32	Wonocatur, Jl. Wonocatur RT 12 & 13	0.19	0.39	1.51	0.40	0.40	Cukup
33	Wonocatur, Jl. Sawo (RT 10, 01, 08, 07)	0.30	0.50	1.49	0.40	0.50	Tidak Cukup
34	Tegaltandan, Jl. Janti (Halaman depan JEC)	0.30	0.36	2.07	0.40	0.40	Cukup

No	Sistem Saluran	Q (m ³ /s)	Depth (m)	Velocity (m/s)	B (m)	H (m)	Keterangan
35	Jaranan, Gg. Beo Pelem Mulung	0.30	0.38	1.56	0.50	0.60	Cukup
36	Jaranan, Gg. Semar RT 13	0.52	0.75	1.47	0.60	0.75	Tidak Cukup
37	Jaranan, Selatan Gg. Cendana	0.19	0.25	2.27	0.40	0.40	Cukup
38	Plumbon, Jl. Sidomakmur belakang Grand Rohan	0.26	0.40	1.30	0.50	0.40	Tidak Cukup
39	Dsn. Sorowajan (Jl. Sorowajan)	0.53	0.44	3.18	0.40	0.60	Cukup
40	Dsn. Sorowajan (Jl. Tempuyung)	0.15	0.25	1.49	0.4	0.4	Cukup
41	Dsn. Sorowajan (Jl. Pura)	0.09	0.17	1.30	0.4	0.4	Cukup
42	Dsn. Banjar Dadap	0.94	0.81	1.46	0.8	1	Cukup
43	Ngipik, Jl. Pleret	1.87	0.85	2.19	1.00	1.00	Cukup

Sumber: Hasil Analisis 2025

Hasil analisis kapasitas saluran berdasarkan metode pemodelan menggunakan perangkat lunak SWMM menunjukkan bahwa beberapa segmen saluran tidak lagi memenuhi kapasitas hidrolis yang disyaratkan, sehingga diperlukan perencanaan ulang (*re-design*) pada lokasi-lokasi tersebut. Sementara itu, pada segmen saluran yang secara perhitungan masih memenuhi kapasitas, hasil observasi kondisi eksisting di lapangan memperlihatkan adanya sedimentasi serta penumpukan sampah yang cukup signifikan. Kondisi tersebut menyebabkan terjadinya penyempitan penampang efektif saluran dan penurunan kapasitas tampung, sehingga kinerja hidrolis saluran tidak optimal. Akibatnya, pada saat terjadi hujan dengan intensitas relatif tinggi, lokasi-lokasi tersebut tetap berpotensi mengalami genangan atau banjir meskipun secara teoritis kapasitas salurannya masih mencukupi.

Kesimpulan

Hasil analisis dengan metode pemodelan hidrolis saluran diketahui beberapa saluran kapasitasnya memang sudah tidak memenuhi dan diperlukan untuk dilakukan perbesaran kapasitas saluran dengan melakukan identifikasi lebih detail di masing-masing lokasi untuk dilakukan perencanaan ulang. Sedangkan untuk saluran yang kapasitasnya masih memenuhi perlu dilakukan pemeliharaan secara rutin dikarenakan kondisi saluran sudah dipenuhi oleh sedimentasi sehingga menghambat aliran dan mempersempit kapasitas saluran. Untuk menjamin keberlangsungan dari sistem drainase di wilayah Kapanewon Banguntapan, perlu dilakukan operasi dan pemeliharaan baik secara rutin maupun berkala termasuk rehabilitasi terhadap saluran yang kondisinya sudah rusak.

Daftar Pustaka

- Adinew, C. D., Awass, A. A., Bushira, K. M., Ukumo, T. Y., & Edamo, M. L. (2024). Evaluation of hydraulic adequacy of runoff disposal in urban watersheds of rapidly expanding towns. *H2Open Journal*, 7(3), 243–271. <https://doi.org/10.2166/h2oj.2024.095>
- Arfaah, S., Hidayat, R., & Cahyono, I. (2024). Analisa Angka Koefisien Kekasaran Manning Pada Saluran Terbuka Akibat Vegetasi. *Nucleus Journal*, 3(V), 47–56.
- Efendi, M., Harifa, A. C., & Sutikno, S. (2022). Capacity and Performace Evaluation of Drainage Channel (Case Study on Letjen Sutoyo Street Malang City). *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 7(1), 41–62. <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v7i1.2807>
- Faradiba. (2021). Analysis of Intensity, Duration, and Frequency Rain Daily of Java Island Using Mononobe Method. *Journal of Physics: Conference Series*, 1783(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1783/1/012107>
- Hidayati, N., Soeryamassoeka, S., & Herawati, H. (2023). Rainfall Analysis for Creating Intensity-Duration-Frequency (Idf) Curve of Pontianak City. *Jurnal Teknik Sipil*, 23(4), 10. <https://doi.org/10.26418/jts.v23i4.66810>
- Hua, J., Liang, Z., & Yu, Z. (2003). A modified rational formula for flood design in small basins. *Journal of the American Water Resources Association*, 39(5), 1017–1025. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.2003.tb03689.x>
- Li, C., Fan, Z., Wu, Z., Dai, Z., Liu, L., & Zhang, C. (2020). Methodology of sub-catchment division considering land uses and flow directions. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 9(11). <https://doi.org/10.3390/ijgi9110634>
- Poydenot, F., & Andreotti, B. (2024). Pathways from nucleation to raindrops. *Physical Review Fluids*, 9(12). <https://doi.org/10.1103/PhysRevFluids.9.123602>
- Salimi, E. T., Nohegar, A., Malekian, A., Hoseini, M., & Holisaz, A. (2017). Estimating time of concentration in large watersheds. *Paddy and Water Environment*, 15(1), 123–132. <https://doi.org/10.1007/s10333-016-0534-2>
- Saridewi, R. N., & Budiyanto, M. A. (2024). Pemodelan Sistem Drainase Perkotaan Menggunakan Epa Swmm 5.1 Di Kabupaten Tapin Provinsi Kalimantan Selatan. *CivETech*, 6(1), 36–53. <https://doi.org/10.47200/civetech.v6i1.2246>
- Xue, Y., Wang, L. P., & Grabowski, W. W. (2008). Growth of cloud droplets by turbulent collision-coalescence. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 65(2), 331–356. <https://doi.org/10.1175/2007JAS2406.1>
- Zhou, Q. (2014). A review of sustainable urban drainage systems considering the climate change and urbanization impacts. *Water (Switzerland)*, 6(4), 976–992. <https://doi.org/10.3390/w6040976>