



ANALISIS KAPASITAS SALURAN PADA DRAINASE JALAN IMAM BONJOL KELURAHAN PAMUSIAN DENGAN STORM WATER MANAGEMENT MODEL (SWMM)

Afara Zunifa^{*1}, Aswar Amiruddin²

^{1,2}Universitas Borneo Tarakan, Jalan Pantai Amal Lama No.1, Tarakan

³Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Borneo Tarakan, Tarakan

e-mail: *zunifaafara@gmail.com, aswaramir89@gmail.com

ABSTRACT: An effective drainage system in urban areas is essential to manage flooding caused by heavy rainfall. Inadequate drainage channels cannot accommodate excess water, leading to water stagnation and other negative impacts. Therefore, calculating the design flood discharge and designing drainage channels with sufficient capacity are crucial for stormwater management. This study aims to evaluate the capacity of existing drainage systems to handle design flood discharge and to design new drainage dimensions that can accommodate the largest discharge. The analysis shows that most existing drainage channels are unable to accommodate the design discharge (Q_t) for return periods of 10, 20, 50, and 100 years, as the channel discharge (Q_s) is smaller than the design discharge. Simulations using the Storm Water Management Model (SWMM) identified critical points at Junction 4 and Junction 10, where overflow occurs due to excess channel capacity. As a solution, new drainage dimensions were designed. A rectangular channel with a bottom width of 1.2 meters and a height of 1 meter can carry the discharge without overflow for a 100-year return period. Meanwhile, a trapezoidal channel with a bottom width of 0.25 meters, a height of 0.8 meters, and a side slope of 0.618 meters is also effective in accommodating the design discharge without overflow. This study recommends increasing the drainage capacity at critical points to reduce the risk of water stagnation

Keywords: Urban Drainage, Discharge, Storm Water Management Model (SWMM)

ABSTRAK: Sistem drainase yang efektif di perkotaan sangat penting untuk mengatasi banjir akibat curah hujan tinggi. Saluran drainase yang tidak memadai tidak dapat menyebabkan genangan air dan dampak negatif lainnya. Maka dari itu, perhitungan debit banjir rencana dan desain saluran drainase yang sesuai kapasitasnya menjadi krusial dalam pengelolaan air hujan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kapasitas saluran drainase dalam menampung debit maksimum serta merancang dimensi saluran baru yang dapat mengatasi debit tersebut. Hasil analisis menunjukkan bahwa sebagian besar saluran drainase tidak mampu menampung debit maksimum untuk periode ulang 10, 20, 50 dan 100. Simulasi dengan *Storm Water Management Model* (SWMM) mengidentifikasi titik-titik kritis *Junction* 5, *Junction* 10 dan *Junction* 11 yang mengalami luapan akibat kelebihan kapasitas saluran. Sebagai solusi, dilakukan perancangan dimensi baru saluran drainase. Saluran berbentuk persegi dengan lebar dasar 1.2 meter dan tinggi 1 meter dapat mengalirkan debit tanpa luapan pada periode ulang 100 tahun. Sementara itu, saluran trapesium dengan lebar dasar 0.3 meter, tinggi 1.2 meter, dan lebar atas 0.6 meter juga efektif menampung debit rencana tanpa luapan. Penelitian ini merekomendasikan peningkatan kapasitas saluran drainase di titik-titik kritis untuk mengurangi risiko genangan air.

Kata kunci: Drainase Perkotaan, Debit, *Storm Water Management Model* (SWMM)

1. PENDAHULUAN

Setiap tahunnya, jumlah penduduk Kota Tarakan terus meningkat pesat berdasarkan data yang tercatat pada Badan Pusat Statistik (BPS) di tahun 2023 dimana terdapat 271.693 jiwa dan hal ini dapat menggambarkan perkembangan kota yang sangat dinamis (Badan Pusat Statistik, 2023). Faktor-faktor seperti migrasi dari daerah lain hingga tingginya angka kelahiran menjadi penyebab utama melonjaknya jumlah penduduk ini. Dampaknya dapat terlihat pada meningkatnya tekanan terhadap infrastruktur kota, salah satunya adalah sistem drainase yang salah satu fungsinya adalah untuk mencegah banjir (Mashuri et al., 2023).

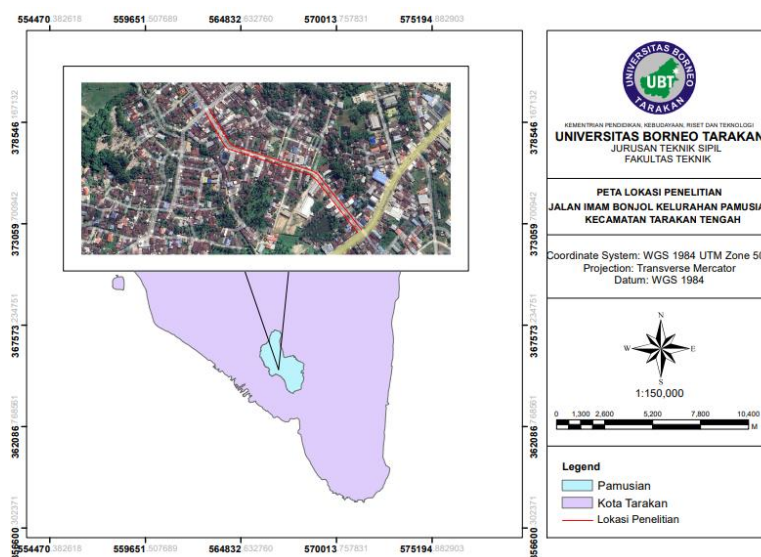
Kota Tarakan memiliki kerentanan terhadap banjir, terutama pada saluran drainase Jalan Imam Bonjol, Kelurahan Pamusian, Tarakan Tengah. Banjir pada daerah ini disebabkan oleh salah satu faktornya yakni kapasitas saluran yang tidak memadai untuk menampung debit yang besar, khususnya pada saat musim hujan. Hingga kini, Kota Tarakan masih menghadapi kesulitan dalam mengatasi banjir yang dapat mengakibatkan kerugian besar bagi masyarakat dan kerusakan pada infrastruktur (Nathanael & Sejati, 2023). Oleh karena itu, pentingnya untuk melakukan evaluasi terhadap kapasitas saluran drainase guna meningkatkan efektivitas upaya penanggulangan banjir (Sholikha et al., 2022).

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kapasitas saluran drainase eksisting dalam mengakomodasi debit banjir rencana pada berbagai periode ulang, serta merancang dimensi saluran drainase baru yang dapat mengatasi debit tersebut tanpa menyebabkan genangan. Dengan menggunakan metode perhitungan hidrologi dan *software Storm Water Management Model (SWMM)*, penelitian ini mengidentifikasi titik-titik kritis pada jaringan drainase dan memberikan rekomendasi desain saluran yang lebih efisien. Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan solusi teknis dalam meningkatkan kapasitas saluran drainase di perkotaan untuk mengurangi dampak banjir.

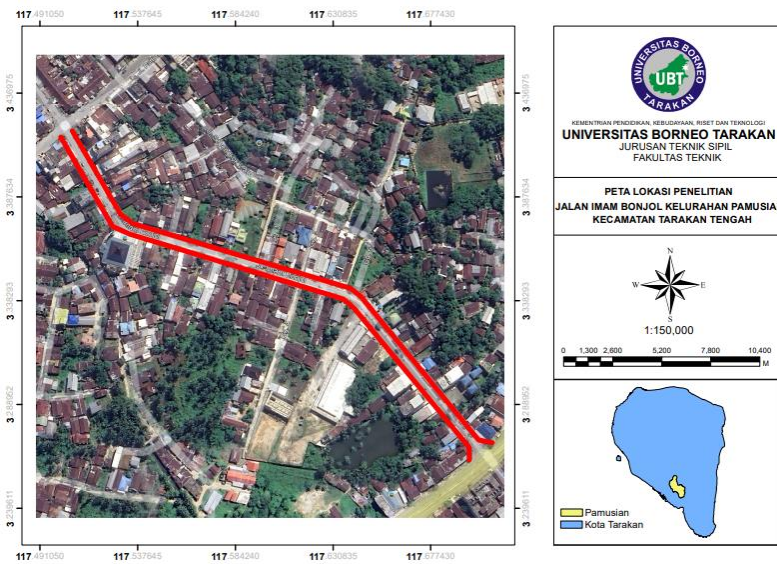
2. METODE PENELITIAN

2.1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini berfokus pada saluran drainase di sepanjang Jalan Imam Bonjol, Kelurahan Pamusian, Tarakan Tengah Kota Tarakan. Gambar 1 menunjukkan citra satelit Kota Tarakan yang memberikan gambaran umum mengenai lokasi penelitian. Sementara itu, Gambar 2 menggambarkan lokasi spesifik penelitian. Berikut ini adalah gambar yang menunjukkan lokasi penelitian ini.

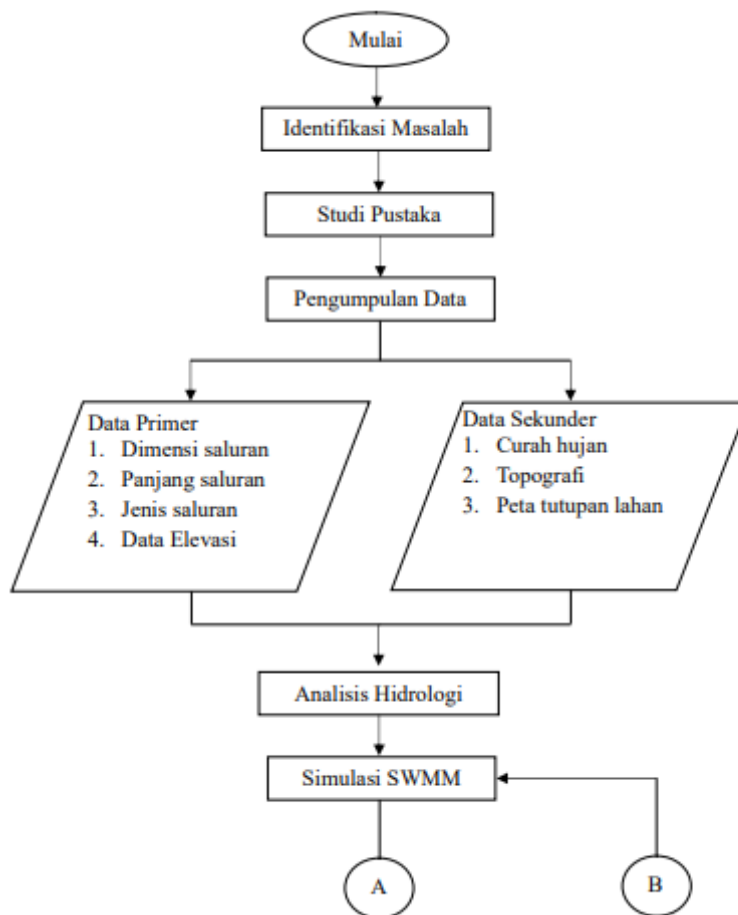


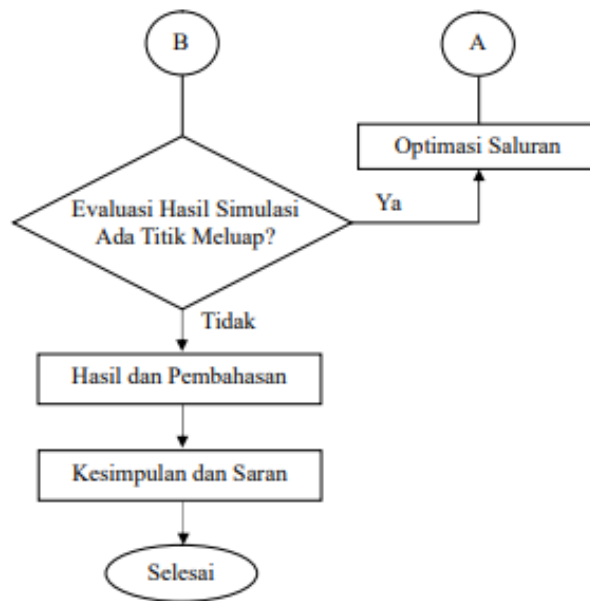
Gambar 1 Peta Lokasi Penelitian



Gambar 2 Peta Saluran Drainase

2.2. Bagan Alir Penelitian





Gambar 3 Bagan Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Curah Hujan

Data curah hujan maksimum tahunan yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari situs Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) untuk Kota Tarakan. Berdasarkan data tersebut, dihitung nilai curah hujan maksimum tahunan yang mencerminkan intensitas hujan tertinggi yang terjadi pada 10 tahun terakhir. Tabel 1 menunjukkan nilai curah hujan maksimum 10 tahun yang diperoleh dari data bulanan yang tercatat oleh BMKG.

Tabel 1 Curah Hujan Maksimum Tahunan

Tahun	Curah Hujan Maksimum (mm)
2014	117.4
2015	103.6
2016	135.8
2017	157.2
2018	115.8
2019	132.0
2020	130.4
2021	101.1
2022	75.4
2023	167.5

Tabel curah hujan maksimum tahunan menunjukkan bahwa intensitas hujan tertinggi tercatat pada tahun 2023 sebesar 167.5 mm. Data ini mencerminkan fluktuasi curah hujan tahunan yang signifikan, dan perlu dipertimbangkan dalam analisis kapasitas drainase yang berpotensi meningkatkan debit saluran drainase.

3.2 Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi curah hujan dilakukan dengan menentukan curah hujan rencana berdasarkan periode ulang yang berbeda, yaitu 10, 20, 50, dan 100 tahun. Hasil perhitungan tersebut digunakan sebagai dasar

untuk merancang kapasitas saluran drainase yang dapat mengatasi debit air hujan pada berbagai periode ulang. Tabel 2 menyajikan curah hujan rencana untuk masing-masing periode ulang berdasarkan analisis frekuensi yang dilakukan pada distribusi probabilitas.

Tabel 2 Curah Hujan Rencana

Periode Ulang	Hujan Rencana Harian Maksimum			
	Metode Distribusi			
	Normal	Log Normal	Gumbel	Log Pearson III
10	153.38	173.84	162.48	161.76
20	168.16	192.72	176.1	182.14
50	179.30	221.09	194.22	189.50
100	186.91	241.07	207.23	199.83

Selanjutnya, untuk memastikan kecocokan distribusi terhadap data curah hujan maksimum tahunan yang diperoleh, dilakukan uji kecocokan distribusi berdasarkan nilai koefisien kemiringan (C_k) dan koefisien kurtosis (C_k). Tabel 2 menyajikan hasil dari nilai koefisien kemiringan (C_s) dan koefisien kurtosis (C_k) untuk masing-masing distribusi :

Tabel 3 Uji Kecocokan Distribusi

Jenis Distribusi	Syarat	Hasil	Keterangan
Normal	$C_s = 0$	$C_s = -0.05$	Tidak memenuhi
	$C_k = 3$		Tidak memenuhi
Gumbel	$C_s \leq 1.14$	$C_k = 3.94$	Memenuhi
	$C_k \leq 5.40$		Memenuhi
Log Normal	$C_s = 0.67$	$C_s = -0.65$	Tidak Memenuhi
	$C_k = 3.81$		Tidak memenuhi
Log Pearson III	$C_s \neq 0$	$C_k = 4.63$	Memenuhi
	$C_k \neq 0$		Memenuhi

Berdasarkan Tabel 2 dimana Distribusi Gumbel dan Distribusi Log Pearson III memiliki nilai koefisien kemiringan (C_s) dan koefisien kurtosis (C_k) memenuhi syarat kesesuaian. Sementara untuk distribusi lainnya, perbandingan nilai C_s dan C_k menunjukkan tingkat kesesuaian yang bervariasi.

3.3 Uji Kesesuaian Distribusi

Untuk memastikan kesesuaian distribusi terhadap data curah hujan maksimum tahunan yang diperoleh, dilakukan uji kesesuaian distribusi menggunakan dua metode utama yaitu Chi Kuadrat dan uji Smirnov-Kolmogorov.

3.3.1 Uji Chi Kuadrat

Uji Chi-kuadrat digunakan untuk menguji apakah distribusi yang dipilih sesuai dengan distribusi empiris yang diamati dengan membandingkan frekuensi yang diharapkan dan frekuensi yang diamati dalam interval curah hujan yang telah ditentukan. Tabel 4 menyajikan hasil uji Chi-kuadrat untuk distribusi Gumbel dan Log Pearson III.

Tabel 4 Hasil Uji Chi-kuadrat

Distribusi	Xh^2	X^2	Keterangan
Gumbel	1.33	5.911	OK!
Log Pearson III	1.33	5.911	OK!

Hasil uji kesesuaian distribusi menggunakan uji Chi-kuadrat menunjukkan bahwa distribusi yang diuji dapat diterima karena nilai uji Chi-kuadrat yang dihitung lebih kecil dari nilai kritis pada derajat kepercayaan 5% yaitu 5.911. Hal ini mengindikasikan bahwa distribusi yang dipilih sesuai dengan data yang diamati, sehingga dapat digunakan sebagai model yang valid untuk perhitungan hujan rencana.

3.3.2 Uji Smirnov-Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov digunakan untuk mengukur deviasi maksimum antara fungsi distribusi empiris dan distribusi teoritis yang diuji. Tabel 5 menyajikan hasil uji Smirnov-Kolmogorov pada distribusi Gumbel dan Log Pearson III.

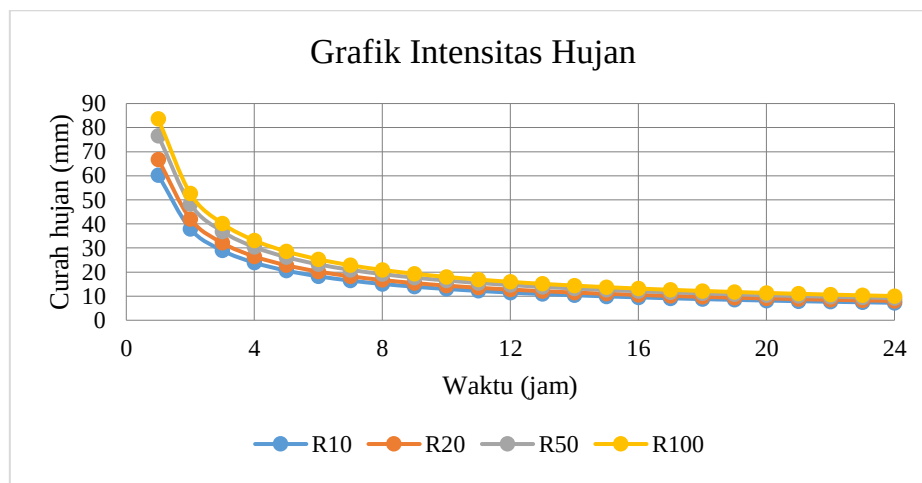
Tabel 5 Hasil Uji Smirnov-Kolmogorov

Distribusi	ΔD_{max}	Do	Keterangan
Gumbel	0.0853	0.41	OK!
Log Pearson III	0.8881	0.41	NOT OK!

Tabel 5 menyajikan hasil kesesuaian distribusi menggunakan uji Smirnov-Kolmogorov pada tingkat kepercayaan 5%, yang menunjukkan bahwa nilai deviasi maksimum antara distribusi yang diuji dengan distribusi teoritis adalah 0.41. Karena nilai pada distribusi Gumbel lebih kecil dari nilai 0.41, maka distribusi ini dapat diterima untuk mewakili data curah hujan maksimum tahunan. Sementara itu, nilai pada distribusi Log Pearson III lebih besar dari nilai 0.41, maka distribusi ini tidak dapat diterima.

3.4 Intensitas Curah Hujan

Berdasarkan hasil perhitungan curah hujan rencana pada periode ulang 10, 20, 50 dan 100 tahun, intensitas curah hujan pada periode masing-masing periode tersebut dihitung dan disajikan dalam bentuk grafik. Grafik yang ditampilkan menggambarkan hubungan antara curah hujan dengan waktu, serta menunjukkan perubahan intensitas hujan berdasarkan periode ulang yang berbeda.



Gambar 4 Kurva IDF Intensitas Curah Hujan

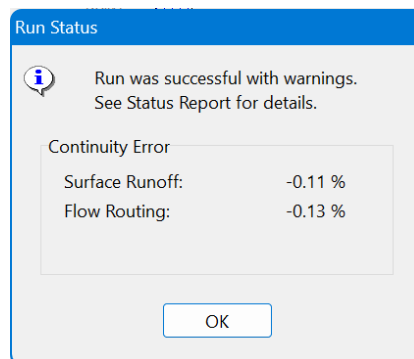
3.5 Simulasi SWMM

Hasil pengamatan saluran eksisting drainase didapatkan panjang saluran drainase yang dianalisis adalah 550 meter yang terbagi merata antara sisi kanan dan kiri. Dalam simulasi ini, wilayah penelitian dibagi menjadi 12 subcatchments berdasarkan perbedaan tutupan lahan dan elevasi, untuk mengidentifikasi kontribusi limpasan masing-masing area terhadap saluran drainase. Setiap *subcatchment* terhubung dengan 12 *junction* yang mengalirkan air ke titik pertemuan dalam jaringan drainase. Simulasi ini juga melibatkan 12 saluran drainase (*conduit*) dan 2 *outfall* yang mengalirkan air ke saluran eksternal. Gambar 4 menunjukkan pemodelan komponen utama dalam simulasi SWMM.



Gambar 5 Pemodelan Sistem Drainase

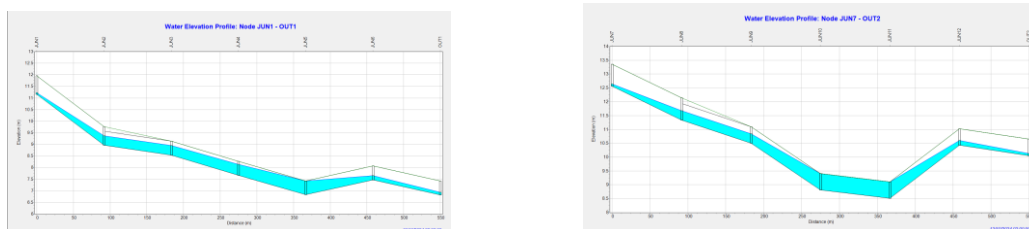
Pada hasil simulasi menunjukkan bahwa *surface runoff* memiliki *continuity error* sebesar -0.11%, sementara *flow routing* sebesar -0.13% pada periode ulang 10 tahun. Nilai-nilai dalam batas toleransi yang disarankan pada *continuity error* untuk *runoff continuity error* harus kurang dari 5%, sementara untuk *flow routing continuity error* adalah kurang dari 1% (M. Baitullah Al-Amin, 2020).



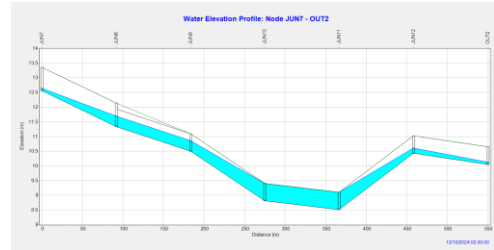
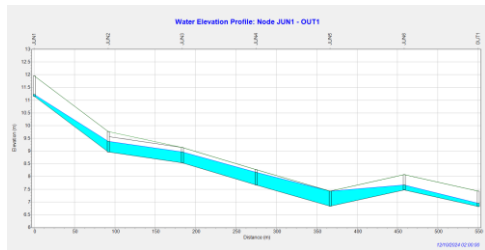
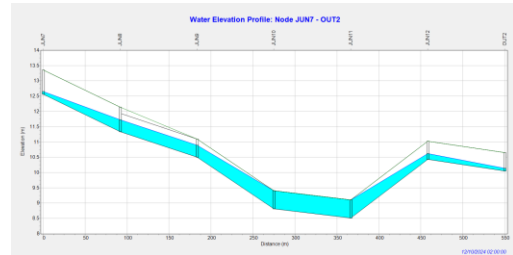
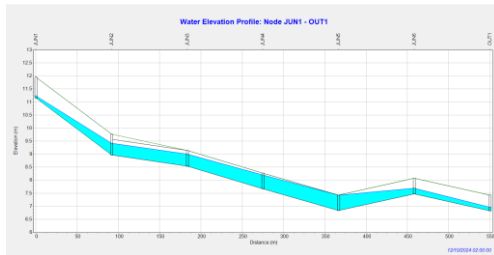
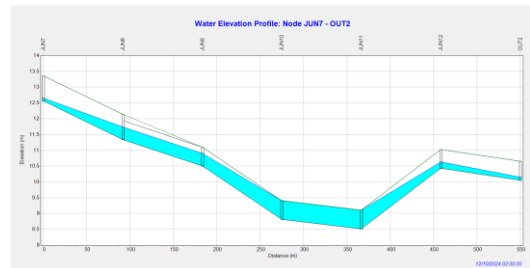
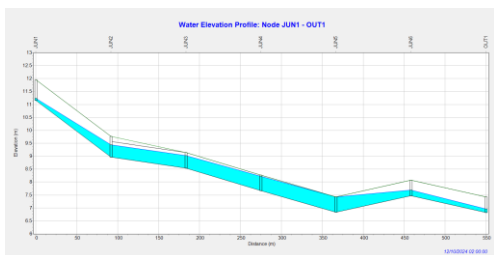
Gambar 6 Continuity Error

Hasil simulasi SWMM menunjukkan bahwa nilai *cotinuity error* berada dalam batas toleransi yang ditetapkan oleh Al Amin (2020). Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa kualitas simulasi tersebut memenuhi standar yang diperlukan dan hasil yang diperoleh dapat dianggap valid.

Simulasi yang dilakukan dengan menggunakan curah hujan pada periode ulang 10, 20, 50, dan 100 tahun menghasilkan profil elevasi muka air yang menunjukkan kondisi luapan pada titik-titik tertentu dalam sistem drainase. Hasil analisis ini memperlihatkan bagaimana tinggi muka air di saluran dapat melebihi kapasitas saluran pada periode hujan yang lebih ekstrem, mengindikasikan terjadinya luapan. Berikut ini adalah hasil-hasil analisis yang menggambarkan luapan air pada titik kritis dalam sistem drainase tersebut



Gambar 7 Profil Elevasi Periode Ulang 10 Tahun

**Gambar 8 Profil Elevasi Periode Ulang 20 Tahun****Gambar 9 Profil Elevasi Periode Ulang 50 Tahun****Gambar 10 Profil Elevasi Periode Ulang 100 Tahun**

Gambar di atas menunjukkan profil elevasi muka air pada saat puncak inflow untuk setiap periode ulang, mulai dari segmen JUN1 hingga OUT1, serta segmen JUN7 hingga OUT2. Dalam kondisi ini, permukaan air di sepanjang sistem saluran melebihi kapasitas maksimum saluran yang dirancang. Terutama pada titik-titik JUN4 dan JUN10, terlihat adanya indikasi luapan, yang mengindikasikan bahwa saluran di segmen-segmen tersebut tidak dapat mengakomodasi aliran air dengan baik, sehingga berpotensi menyebabkan genangan atau banjir.

Rekapitulasi titik luapan pada periode ulang 10, 20, 50 dan 100 tahun menunjukkan adanya titik-titik kritis di mana kapasitas saluran drainase tidak dapat mengakomodasi debit air yang tinggi, sehingga terjadi luapan. Tabel 6 menyajikan hasil rekapitulasi titik-titik luapas pada setiap periode ulang, yang mengidentifikasi lokasi-lokasi yang mengalami genangan dan luapan.

Tabel 6 Rekapitulasi Titik Luapan

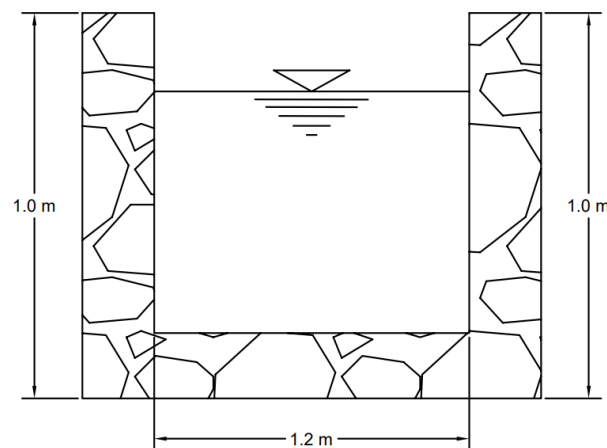
Kala Ulang (Tahun)	Node	Hours Flooded	Max. Rate (CMS)	Day of Maximum Flooding	Total Flood Volume (10 ⁶ liter)	Max. Poned Depth (Meters)
10	JUN5	4.86	0.335	0	3.325	0
	JUN11	4.86	0.346	0	3.440	0
20	JUN5	4.87	0.368	0	3.684	0
	JUN10	0.81	0.019	0	0.039	0

Kala Ulang (Tahun)	Node	Hours Flooded	Max. Rate (CMS)	Day of Maximum Flooding	Total Flood Volume (10 ⁶ liter)	Max. Poned Depth (Meters)
50	JUN11	4.87	0.362	0	3.774	0
	JUN5	4.88	0.428	0	4.258	0
	JUN10	0.87	0.062	0	0.166	0
	JUN11	4.88	0.381	0	4.243	0
100	JUN5	4.88	0.467	0	4.563	0
	JUN10	0.93	0.090	0	0.257	0
	JUN11	4.88	0.393	0	4.562	0

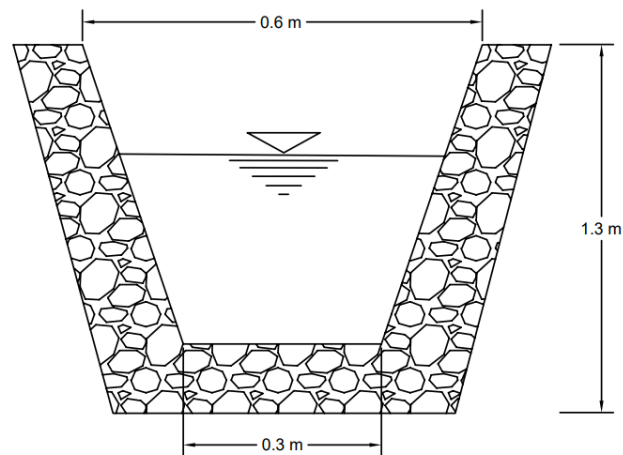
Berdasarkan tabel, durasi luapan, debit maksimum dan volume luapan meningkat dengan bertambahnya periode kala ulang. Node *Junction* 5 menunjukkan risiko luapan yang lebih besar dibandingkan *Junction* 10 dan *Junction* 11, dengan nilai durasi, debit maksimum dan volume luapan yang lebih tinggi pada setiap skenario kala ulang. Pada kala ulang 100 tahun, *Junction* 5 memiliki durasi luapan 4.88 jam, debit maksimum 0.467 CMS, dan volume luapan 4.563 juta liter, tertinggi di antara kala ulang lainnya. Sementara itu, *Junction* 10 mengalami luapan selama 0.93 jam dengan volume luapan 0.090 juta liter pada kala ulang yang sama. Hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas drainase tidak mencukupi untuk menangani *inflow* pada kala ulang tinggi terutama di node kritis seperti *Junction* 10.

3.6 Perencanaan Dimensi Baru

Untuk meningkatkan kapasitas saluran drainase yang ada, dilakukan optimasi saluran dengan dimensi baru berdasarkan hasil analisis kapasitas saluran eksisting dan debit rencana pada periode ulang 10, 20, 50, dan 100 tahun. Dimensi baru ini bertujuan untuk memastikan saluran dapat menampung debit rencana tanpa terjadi luapan hingga periode ulang 100 tahun. Gambar 6 dan Gambar 7 akan menyajikan hasil perancangan dimensi baru saluran drainase.

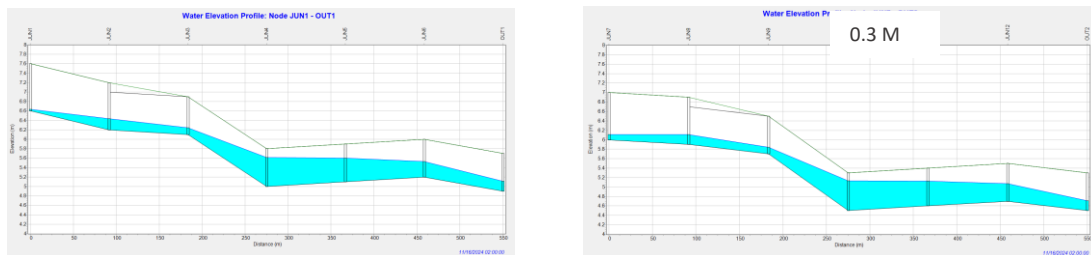


Gambar 11 Dimensi Baru Penampang *Rectangel Open*



Gambar 12 Dimensi Baru Penampang Trapezoidal

Berdasarkan gambar tersebut saluran berbentuk *rectangel open* dirancang dengan tinggi 1 meter dan lebar 1.2 meter, sementara saluran berbentuk *trapezoidal* memiliki tinggi 1.3 meter, lebar dasar 0.3 meter dan lebar atas 0.6 meter. Dimensi ini cukup untuk menampung debit maksimum hingga pada periode terbesar 100 tahun.



Gambar 13 Profil Elevasi Air Kala Ulang 100 Tahun

Berdasarkan simulasi dengan dimensi saluran baru, pada periode ulang 100 tahun, tidak terjadi luapan. Hal ini terlihat dari grafik elevasi air yang tetap berada di bawah ambang batas saluran pada Node JUN1-OUT1 dan JUN7-OUT2. Simulasi menggunakan kekasaran Manning 0.020, yang mewakili saluran halus seperti beton, dan umumnya digunakan dalam perencanaan drainase dengan asumsi saluran dalam kondisi baik tanpa hambatan signifikan.

4. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari hasil analisis dan simulasi sistem drainase pada lokasi studi berdasarkan perhitungan kapasitas saluran eksisting, evaluasi debit rencana untuk periode ulang 10, 20, 50 dan 100 tahun sebagai berikut :

1. Hasil simulasi menunjukkan debit maksimum selalu terjadi di Junction 5 pada semua periode kala ulang (10, 20, 50, dan 100 tahun), dengan debit tertinggi sebesar $0.467 \text{ m}^3/\text{s}$ pada kala ulang 100 tahun. Hal ini menjadikan *Junction 5* sebagai titik kritis yang membutuhkan perhatian dalam perencanaan kapasitas saluran.
2. Dimensi saluran yang dirancang untuk mengalirkan debit maksimum meliputi desain berbentuk persegi (tinggi 1 meter, lebar bawah 1.2 meter) dan trapesium (tinggi 1.3 meter, lebar dasar 0.3 meter, lebar atas 0.6 meter), keduanya mampu mengalirkan debit maksimum pada kala ulang 100 tahun tanpa menyebabkan genangan.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society of Civil Engineering (ASCE). (1982). *Gravity Sanitary Sewer Design and Construction* (60th ed.). ASCEManualOfPractice.
- American Society of Civil Engineering (ASCE). (1992). *Design & Construction of Urban Stormwater Management System*.
- Badan Pusat Statistik. (2023). *Kota Tarakan dalam Angka 2023*.
- Bambang Triatmodjo. (2008). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset.
- M. Baitullah Al-Amin. (2020). *Pemodelan Sistem Drainase Perkotaan Menggunakan SWMM*. Deepublish.
- Mashuri, M. Gilang Indra Mardika, & M. Juang Renaldi Fiqri. (2023). Studi Persebaran Banjir Menggunakan Software HEC-RAS 2D V6.2 Hulu DAS Way Sekampung (Studi Kasus: Sungai Way Mincang). *Paduraksa: Jurnal Teknik Sipil Universitas Warmadewa*, 12(1), 97–105. <https://doi.org/10.22225/pd.12.1.6105.97-105>
- Nathanael, E., & Sejati, W. (2023). Effective Government Management of Flood Discharge in Drainage Channels using HEC-RAS 6.3.1 Application. *APTISI Transactions on Management (ATM)*, 7(3), 210–220. <https://doi.org/10.33050>
- Richard H Mccuen, P A Johnson, & R M Ragan. (1996). *Hydrology*.
- Sholikha, D. E. Z., Sutoyo, S., & Rau, M. I. (2022). Pemodelan Sebaran Genangan Banjir Menggunakan HEC-RAS di Sub DAS Cisadane Hilir. *Jurnal Teknik Sipil Dan Lingkungan*, 7(2), 147–160. <https://doi.org/10.29244/jsil.7.2.147-160>
- Soewarno. (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik Untuk Analisa Data*. Nova.
- Suripin. (2004). *Sistem Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*. Andi.