

EVALUASI DEBIT LIMPASAN MENGGUNAKAN METODE RASIONAL, HASPERS, DAN SWMM PADA DAERAH PERKOTAAN

TUGAS AKHIR



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ANDALAS**

**PADANG
2026**

EVALUASI DEBIT LIMPASAN MENGGUNAKAN METODE RASIONAL, HASPERS, DAN SWMM PADA DAERAH PERKOTAAN

TUGAS AKHIR

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan pendidikan
Program Strata-1 pada Departemen Teknik Sipil,
Fakultas Teknik, Universitas Andalas

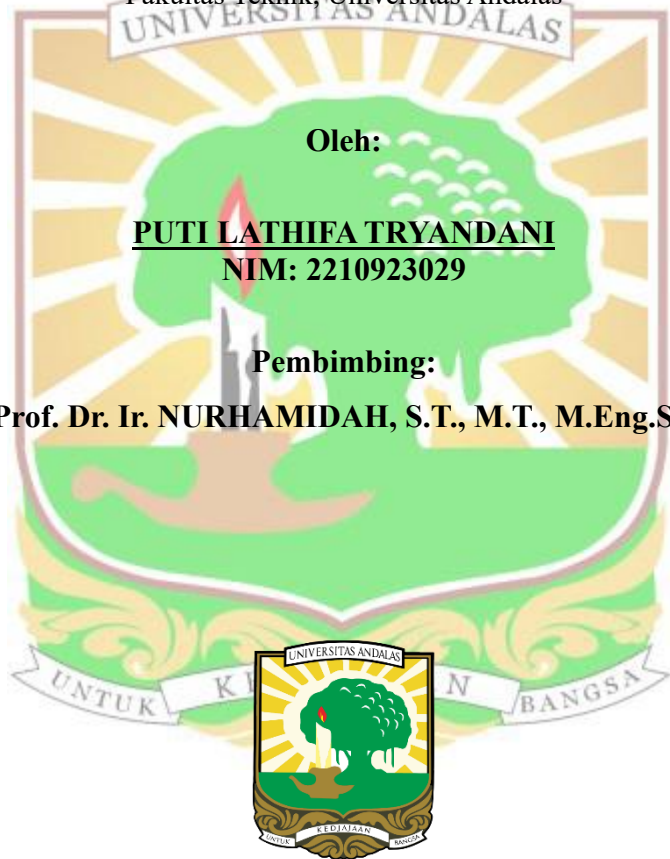
Oleh:

PUTI LATHIFA TRYANDANI

NIM: 2210923029

Pembimbing:

Prof. Dr. Ir. NURHAMIDAH, S.T., M.T., M.Eng.Sc.



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ANDALAS**

**PADANG
2026**

LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Program Studi Sarjana Teknik Sipil
Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik
Universitas Andalas

EVALUASI DEBIT LIMPASAN MENGGUNAKAN METODE
RASIONAL, HASPERS, DAN SWMM PADA DAERAH
PERKOTAAN



Oleh:

Nama : PUTI LATHIFA TRYANDANI

NIM : 2210923029

Pembimbing Utama:

Prof. Dr. Ir. Nurhamidah, S.T., M.T., M.Eng.Sc.
NIP. 197109122006042002

Diketahui,
Ketua Departemen Teknik Sipil,

Ir. Sabril Haris HG, S.T., M.T., Ph.D.
NIP. 197610012000121003

LEMBAR BERITA ACARA SIDANG TUGAS AKHIR

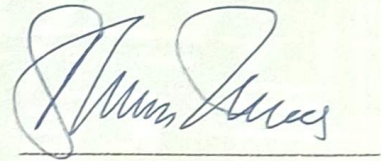
Program Studi Sarjana Teknik Sipil
Departemen Teknik Sipil - Fakultas Teknik
Universitas Andalas

Pada hari ini, Kamis 23 Juli 2026 telah dilaksanakan Sidang Tugas Akhir untuk mahasiswa:

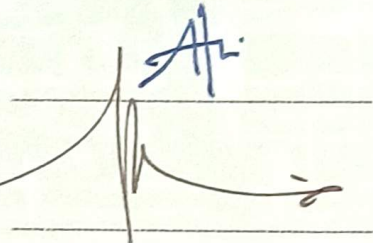
Nama : PUTI LATHIFA TRYANDANI
NIM : 2210923029
Judul : EVALUASI DEBIT LIMPASAN MENGGUNAKAN METODE
RASIONAL, HASPERS, DAN SWMM PADA DAERAH
PERKOTAAN

Tim Penguji:

Ketua : Ir. Februarman, M.T



Anggota : Muhammad Aminsyah M.T



Prof. Dr. Ir. Nurhamidah, S.T., M.T., M.Eng.Sc.

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini, saya :

Nama : **Puti Lathifa Tryandani**
Tempat, Tanggal Lahir : **Padang, 13-02-2002**
NIM : **2210923029**
Alamat : **Komplek Pelangi Indah, Kelurahan Korong
Gadang, Kecamatan Kuranji, Kota Padang**

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa SKRIPSI yang berjudul :

Evaluasi Debit Limpasan Menggunakan Metode Rasional, Haspers, dan SWMM Pada Daerah Perkotaan

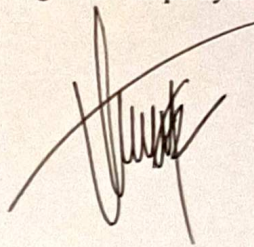
yang saya tulis adalah benar-benar hasil karya saya sendiri dan bukan merupakan plagiat atau saduran dari Skripsi orang lain.

Apabila dikemudian hari ternyata pernyataan saya tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi akademis yang berlaku (dicabutnya predikat kelulusan dan gelar kesarjanaannya).

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya, untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Padang, 23-07-2026

Yang membuat pernyataan,



Puti Lathifa Tryandani
NIM:2210923029

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi debit limpasan pada sistem drainase Komplek Pelangi Indah, Kecamatan Kuranji, Kota Padang menggunakan Metode Rasional, Metode Haspers, dan Storm Water Management Model (SWMM). Data curah hujan yang digunakan berasal dari NASA Giovanni periode 2014–2025. Analisis frekuensi dilakukan menggunakan Distribusi Log Pearson Tipe III untuk mendapatkan curah hujan rencana.

Hasil analisis menunjukkan bahwa curah hujan rencana periode ulang 2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun berturut-turut sebesar 37,35 mm, 59,27 mm, dan 67,10 mm. Curah hujan rencana tersebut digunakan untuk menghitung intensitas hujan dan debit limpasan pada lokasi penelitian. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa debit limpasan meningkat seiring bertambahnya periode ulang hujan. Metode Haspers menghasilkan debit yang lebih besar dibandingkan Metode Rasional karena mempertimbangkan parameter tambahan dalam perhitungannya. Sementara itu, hasil simulasi SWMM menunjukkan pola aliran yang lebih dinamis karena memperhitungkan karakteristik daerah tangkapan, infiltrasi, dan distribusi hujan terhadap waktu. Berdasarkan hasil evaluasi, sistem drainase pada lokasi penelitian secara umum masih mampu menampung debit limpasan yang terjadi. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam pengelolaan dan pengembangan sistem drainase di kawasan Komplek Pelangi Indah.

Kata kunci : Drainase, Curah Hujan, Log Pearson Tipe III, Metode Rasional, Haspers, SWMM



ABSTRACT

This study aims to evaluate surface runoff discharge in the drainage system of Komplek Pelangi Indah, Kuranji District, Padang City, using the Rational Method, Haspers Method, and the Storm Water Management Model (SWMM). Rainfall data used in this study were obtained from NASA Giovanni for the period of 2014–2025. Frequency analysis was conducted using the Log Pearson Type III distribution to determine the design rainfall.

The results showed that the design rainfall for the 2-year, 5-year, and 10-year return periods were 37.35 mm, 59.27 mm, and 67.10 mm, respectively. These design rainfall values were subsequently used to calculate rainfall intensity and surface runoff discharge at the study area. The analysis indicated that runoff discharge increased as the rainfall return period increased. The Haspers Method produced higher runoff discharge than the Rational Method because it considers additional parameters in its calculations. Meanwhile, the SWMM simulation generated a more dynamic flow pattern by considering catchment characteristics, infiltration, and the temporal distribution of rainfall. Based on the evaluation results, the drainage system in the study area is generally capable of accommodating the generated surface runoff discharge. The findings of this study are expected to serve as a reference for the management and future development of the drainage system in the Komplek Pelangi Indah area.

Keywords : Drainage, Rainfall, Log Pearson Type III Distribution, Rational Method, Haspers Method, SWMM



KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim,

Puji dan syukur kepada Allah Subhanahu wa Ta'ala atas berkat rahmat dan karunia-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul “Evaluasi Debit Limpasan Menggunakan Metode Rasional, Haspers, dan SWMM Pada Daerah Perkotaan” ini. Tugas Akhir ini ditulis sebagai syarat untuk menyelesaikan Program Strata-1 di Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Andalas. Salawat beserta salam tidak lupa penulis turunkan kepada junjungan umat manusia, yakni Nabi Besar Muhammad Sallallahu Alaihi Wassalam yang telah membawa secercah cahaya, sehingga umat manusia dapat keluar dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan seperti saat sekarang ini.

Ucapan terima kasih tidak lupa juga penulis turunkan kepada Ibu Prof.Dr.Ir. Nurhamidah,S.T., M.T., M.Eng.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing penulis dari awal hingga akhir pengerjaan Tugas Akhir ini. Selama pengerjaan Tugas Akhir ini juga, tidak sedikit permasalahan yang penulis hadapi, baik itu permasalahan ringan maupun permasalahan berat. Namun, hal tersebut dapat penulis atasi dengan dukungan serta motivasi dari orang terdekat penulis: Dr. Ir. Darwizal Daoed, M.Sc(Papa), Yurnani Gani (Mama); Ega Purnama Sari Restu Dani (Kakak) Raissya Ulfa Maulidani (Kakak); Fayona Noora Karim (Ponakan), teman-teman KKN Aur Malintang Utara , teman yang seperjuangan dengan penulis (Atika dan Dini). Sehingga, pada akhirnya penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan baik. Penulis berharap, Tugas Akhir yang penulis kerjakan ini nantinya dapat memberi manfaat baik bagi pembaca, maupun penulis sendiri. Penulis juga menyadari bahwa pengerjaan Tugas Akhir ini masih jauh dari kata sempurna, sehingga penulis juga mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari pembaca atas kekurangan yang mungkin ditemukan di Tugas Akhir ini.

Padang,

2026

Puti Lathifa Tryandani

DAFTAR ISI

Bab 1. Pendahuluan.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Tujuan dan Manfaat.....	4
1.3. Batasan Masalah.....	6
1.4. Sistematika Penulisan.....	6
Bab 2. Tinjauan Pustaka.....	8
2.1. Banjir Perkotaan dan Limpasan Permukaan.....	8
2.2. Karakteristik Daerah Perkotaan.....	10
2.3. Metoda Rasional.....	12
2.4. Metoda Haspers.....	27
2.5. Pemodelan SWMM (Storm Water Management Model).....	29
2.6. Hubungan Curah Hujan Dan Debit Limpasan.....	31
2.7. Studi Terdahulu.....	31
Bab 3. Metodologi Penelitian.....	33
3.1. Wilayah Penelitian.....	33
3.2. Data dan Sumber Data.....	35
3.3. Rancangan Penelitian.....	37
3.4. Curah Hujan.....	38
3.5. Perhitungan Debit Limpasan.....	39
3.6. Teknik Perbandingan.....	40
Bab 4. Hasil Dan Pembahasan.....	41
4.1. Kondisi Lokasi Penelitian.....	41
4.2. Pengambilan Data Penelitian.....	42
4.3. Analisa Hidrologi.....	46
4.4. Grafik Perbandingan dari Debit Rasional, Haspers, dan SWMM.....	70
Bab 5. Kesimpulan Dan Saran.....	77
5.1. Kesimpulan.....	77
5.2. Saran.....	78

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien Penggunaan Lahan.....	9
Tabel 2. 2 Koefisien Penutupan Lahan	9
Tabel 2. 3 Nilai Variabel Reduksi Gauss.....	14
Tabel 2. 4 Pesyratan Pemelihan Jenis Sebaran (Distribusi)	19
Tabel 2. 5 Reduced Variate	21
Tabel 2. 6 Reduced Mean, Y_n	22
Tabel 2. 7 Reduced Standard Deviation, S_n	22
Tabel 2. 8 Nilai K untuk Distribusi Log Person III.....	23
Tabel 2. 9 Uji Chi Kuadrat.....	24
Tabel 2. 10 Koefisien Nilai C dan CN.....	29
Tabel 4.3 1 Curah Hujan Rencana Maksimum	46
Tabel 4.3 2 Curah Hujan maksimum 2014-2025 bersumber SWMM Das Kuranji.....	47
Tabel 4.3 3 Parameter Statistik Analisis Frekuensi Tinggi Curah Hujan.....	47
Tabel 4.3 5 Pemilihan Distribusi.....	48
Tabel 4.3 6 Perhitungan Uji Chi-Square Pada Logperson III	49
Tabel 4.3 7 Perhitungan Uji Chi-Square Pada Gumbel	49
Tabel 4.3 8 Perhitungan Uji Smirnov Pada Logperson III.....	49
Tabel 4.3 9 Perhitungan Uji Smirnov Pada Gumbel.....	50
Tabel 4.3 10 Rekapitulasi Perhitunngan Curah Hujan Rencana Pada Periode 2,5,dan 10 Tahun metoda Log person III	50
Tabel 4.3 11 Rekapitulasi Perhitungan Curah Hujan Rencana Pada Periode 2,5,dan 10 Tahun Metoda Gumbel.....	50
Tabel 4.3 12 Contoh Perhitungan Waktu Konsentrasi di titik A.....	51
Tabel 4.3 13 Contoh Perhitungan Intensitas Hujan di titik A	51
Tabel 4.3 14 Reakpitulasi Waktu Konsentrasi semua titik.....	51
Tabel 4.3 15 Rekapitulasi Intensitas Hujan semua titik.....	52
Tabel 4.3 16 Intensitas Hujan Berdasarkan Kurva IDF	52
Tabel 4.3 17 Distribusi Hujan Jam-jaman Periode Ulang 10 Tahun.....	54

DAFTAR GAMBAR

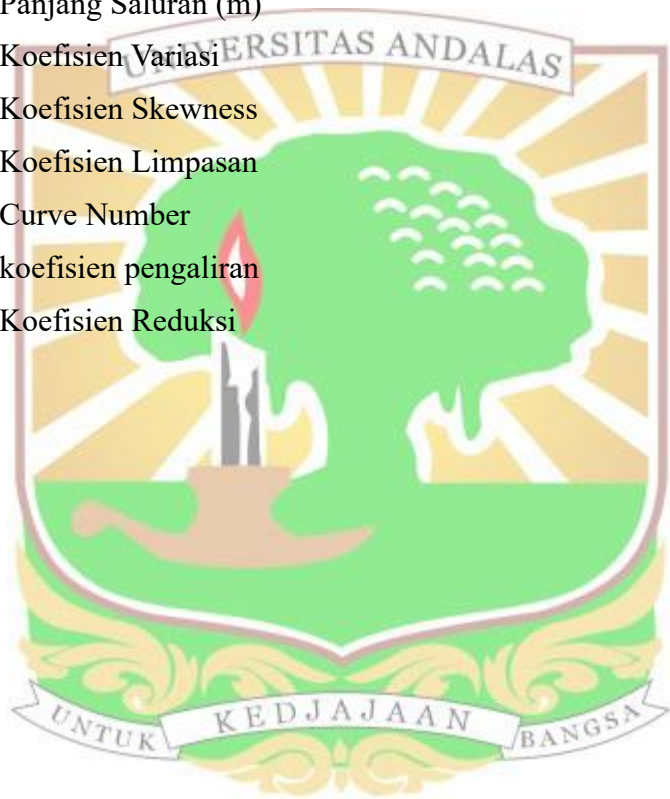
Gambar 1. 1 Peta Pola Ruang Kota Padang (sumber Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kota Padang).....	3
Gambar 1. 2 Peta Sub - Das Batang Kuranji Kota Padang (sumber jurnal Zainal.dkk.2023) ..	3
Gambar 1. 3 Lokasi Penelitian	4
Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian Komplek Pelangi Indah	33
Gambar 3. 2 Lokasi Penelitian Komplek Pelangi Indah	34
Gambar 3. 3 Lokasi Penelitian Komplek Pelangi Indah	34
Gambar 3. 4 Lokasi Penelitian Komplek Pelangi Indah	35
Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian	42
Gambar 4. 2 Pengambilan data elevasi	43
Gambar 4. 3 Lokasi pengyukuran data elevasi drainase	43
Gambar 4. 4 Catchment dan Peta Lokasi Penelitian	44
Gambar 4. 5 Pengukuran ukuran drainase	45
Gambar 4. 6 Kurva IDF	53
Gambar 4. 7 Hyetograph Hujan Rencana Periode Ulang 10 Tahun.....	54
Gambar 4. 8 Hidrograf Debit Limpasan Metode Rasional pada Titik A, J, dan M	57
Gambar 4. 9 Hidrograf Debit Limpasan Metode Haspers Periode Ulang 10 Tahun pada.....	59
Gambar 4. 10 Tampilan Awal Akses NASA Giovanni.....	60
Gambar 4. 11 Tampilan Pemilihan Parameter Curah Hujan untuk Simulasi SWMM.....	61
Gambar 4. 12 Setelah pemilihan dipilih parameter curah hujan.....	61
Gambar 4. 13 Hasil data curah hujan dari NASA Giovanni	62
Gambar 4. 14 Tampilan Awalan SWMM.....	63
Gambar 4. 15 Junction dan Conduit.....	64
Gambar 4. 16 Pembuatan Catchment.....	64
Gambar 4. 17 Penginputan Data Curah Hujan.....	65
Gambar 4. 18 Penginputan Rain Gage	65
Gambar 4. 19 Tampilan Saat memasukkan parameter data	66
Gambar 4. 20 Tampilan Saat memasukkan model drainase	66
Gambar 4. 21 Tampilan pemilihan model drainase	67
Gambar 4. 22 Pemasukkan data parameter	67
Gambar 4. 23 Hasil Running SWMM Tanggal 27 November 2025	68
Gambar 4. 24 Hasil Running SWMM Pengecekan Limpasan.....	68

Gambar 4. 25 Hasil Pengecekan Water Elvation Profile H11- B3	69
Gambar 4. 26 Hasil Summary Report Subacactment Runoff	69
Gambar 4. 27 Grafik Hidrograf Debit Rasional Pada Periode Ulang 10 Tahun	71
Gambar 4. 28 Grafik Hidrograf Debit Rasional Pada Periode Ulang 5 Tahun	71
Gambar 4. 29 Grafik Hidrograf Debit Rasional Pada Periode Ulang 2 Tahun	72
Gambar 4. 30 Grafik Hidrograf h Debit Haspers Pada Periode Ulang 10 Tahun	72
Gambar 4. 31 Grafik Hidrograf Debit Haspers Pada Periode Ulang 5 Tahun	73
Gambar 4. 32 Grafik Hidrograf Debit Haspers Pada Periode Ulang 2 Tahun	73
Gambar 4. 33 Grafik Running di SWMM pada Titik A,J, dan M.....	74
Gambar 4. 34 Grafik Debit Aliran (Link Flow) pada Saluran Menuju Outlet Titik M.....	74
Gambar 4. 35 Grafik Perbandingan Hidrograf Debit Limpasan pada Titik M Menggunakan Metode Rasional, Haspers, dan SWMM	75



DAFTAR NOTASI

Notasi	Keterangan
$\bar{X}$	Rata-rata
S	Kemiringan lahan (%)
I	Intesintas curah hujan (mm/jam)
Q	debit (m ³ /s)
A	luas daerah (km ²)
Tc	waktu konsentrasi (jam)
R24	curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)
L	Panjang Saluran (m)
CV	Koefisien Variasi
CS	Koefisien Skewness
C	Koefisien Limpasan
CN	Curve Number
α	koefisien pengaliran
β	Koefisien Reduksi



DAFTAR SINGKATAN

Singkatan	Keterangan
BNPB	Badan Nasional Penanggulangan Bencana
SWMM	Storm Water Management Model
NASA	National Aeronautics and Space Administration



BAB 1. PENDAHULUAN

1.1. LATAR BELAKANG

Perkotaan di Indonesia semakin banyak dibangun, sehingga permukaan tanah menjadi lebih rata. Hal ini menyebabkan air hujan sulit menyerap ke dalam tanah dan lebih mudah mengalir ke tempat lain. Akibatnya, saat hujan deras, terjadi genangan dan banjir di beberapa area. Jika kapasitas saluran drainase tidak cukup kapasitas, masalah ini semakin parah. Penelitian di daerah setempat menunjukkan bahwa menghitung besarnya air yang mengalir dan memodelkan aliran air adalah langkah penting dalam merancang dan mengevaluasi sistem drainase kota.(Widyasari & Meigawati, 2024)

Kota Padang adalah ibu kota provinsi Sumatera Barat dan terletak di area yang penduduknya padat. Kota ini memiliki tingkat risiko bencana banjir yang tinggi. Meskipun Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) telah membuat peta risiko banjir di seluruh Indonesia, peta tersebut bersifat umum dan belum mencerminkan kondisi fisik yang sebenarnya. (Darmawan,dkk,2023).Dalam dua dekade terakhir, perkembangan wilayah perkotaan telah menyebabkan peningkatan luas permukaan kedap air (impervious area) serta perubahan tutupan lahan dari vegetasi menjadi area terbangun, yang berdampak pada meningkatnya debit limpasan permukaan (Madhatillah & Har, 2020).

Kondisi tersebut berkontribusi terhadap kejadian banjir lokal dan meluapnya saluran drainase, terutama pada kawasan dengan kapasitas aliran yang terbatas seperti DAS Batang Arau, DAS Kuranji, dan Air Dingin (Nurhamidah,dkk,2018). Hasil penelitian menunjukkan bahwa perubahan penggunaan lahan dan peningkatan intensitas curah hujan memberikan pengaruh signifikan terhadap kenaikan debit limpasan dan frekuensi banjir di beberapa sub-DAS Kota Padang, terutama pada daerah dengan peningkatan kawasan terbangun lebih dari 30% dalam satu dekade terakhir (Ramadhan & Putro, 2023).

Komplek Pelangi Indah yang berada di Kelurahan Korong Gadang, Kecamatan Kuranji, Kota Padang, merupakan salah satu area permukiman yang berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir. Dari hasil observasi di lapangan dan informasi dari warga setempat, daerah ini belum pernah mengalami banjir besar yang menggenangi rumah. Namun, ketika hujan deras turun, sering terjadi air yang meluap dari saluran drainase. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem drainase di sana mulai terbebani karena meningkatnya jumlah air yang mengalir di

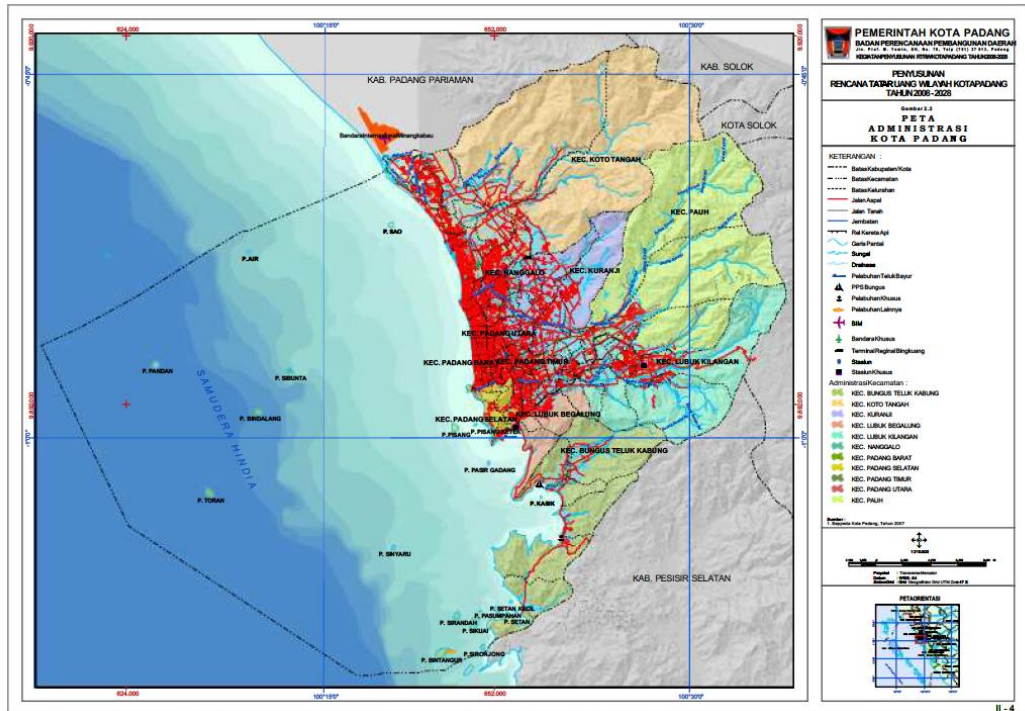
permukaan. Fenomena ini menandakan bahwa area tersebut berpotensi mengalami masalah terkait air yang perlu dianalisis lebih lanjut agar tidak berkembang menjadi banjir yang lebih parah.

Kondisi tersebut menunjukkan bahwa meskipun belum ada banjir besar, adanya air yang melimpah di saluran drainase bisa mengganggu kegiatan warga dan berpotensi membuat kondisi infrastruktur memburuk lebih cepat. Kejadian ini menunjukkan bahwa perlu dilakukan peninjauan kembali terhadap cara menghitung debit limpasan yang digunakan dalam merencanakan sistem drainase di area tersebut. Memilih metode perhitungan debit limpasan yang tepat merupakan langkah penting dalam perencanaan dan mitigasi banjir di kawasan perkotaan. Banyak studi yang dilakukan untuk membandingkan metode sederhana seperti Metode Rasional, metode hidrologi regional seperti Haspers untuk menghitung debit rencana, serta pemodelan numerik dinamis seperti *EPA-SWMM*. Tujuannya adalah menilai tingkat akurasi dan kecukupan setiap pendekatan dalam konteks lokal. (Widyasari & Meigawati, 2024)

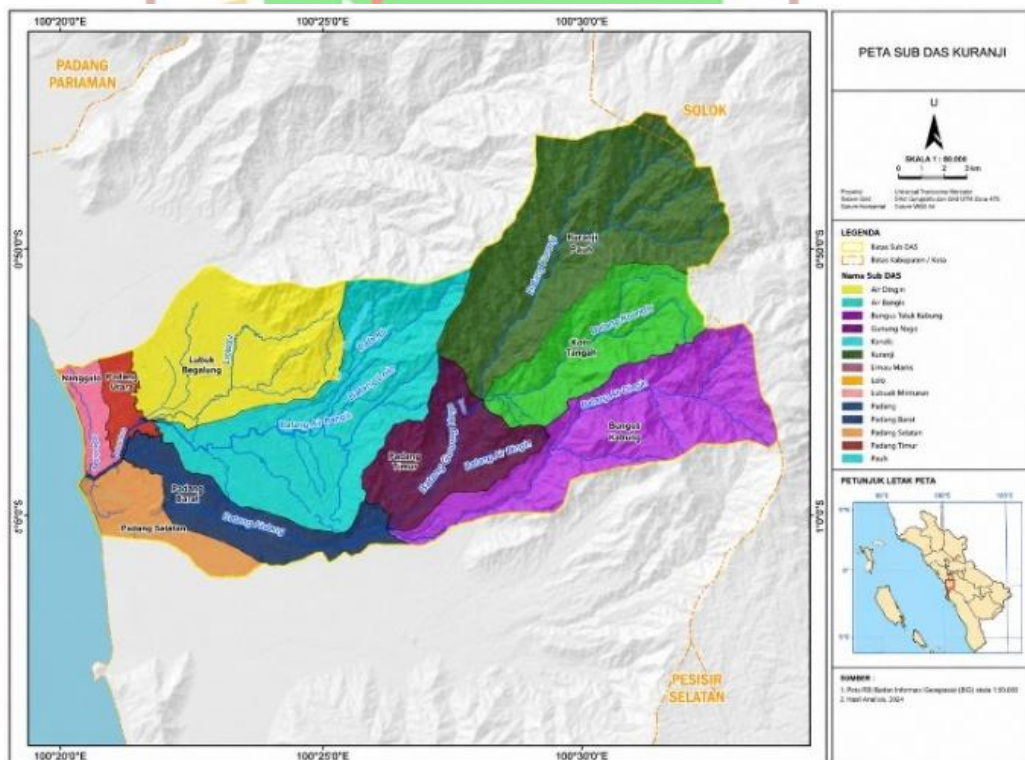
Untuk memperkirakan debit limpasan puncak dan volume limpasan di daerah studi, diperlukan pemahaman mengenai karakteristik hidrologi dan kondisi daerah aliran sungai (DAS). Sungai merupakan aliran terbuka dengan dimensi geometris, termasuk penampang, profil memanjang, dan kemiringan lembah, yang bervariasi dari waktu ke waktu tergantung pada laju aliran, material dasar, dan lereng curam (Bugis,dkk.2024).

Namun, seiring dengan pertumbuhan penduduk dan perkembangan wilayah perkotaan, fungsi sungai sering mengalami penurunan akibat adanya perubahan tata guna lahan, sedimentasi, penyempitan penampang sungai, serta berkurangnya daerah resapan air ((Madhatillah & Har, 2020); (Mahmood,dkk.2022)). Kondisi tersebut menyebabkan berkurangnya kapasitas sungai dalam mengalirkan debit banjir, sehingga meningkatkan potensi terjadinya genangan atau banjir di sekitar daerah aliran sungai (DAS), seperti yang terjadi di beberapa kawasan perkotaan di Kota Padang (Nurhamidah,dkk.2018)

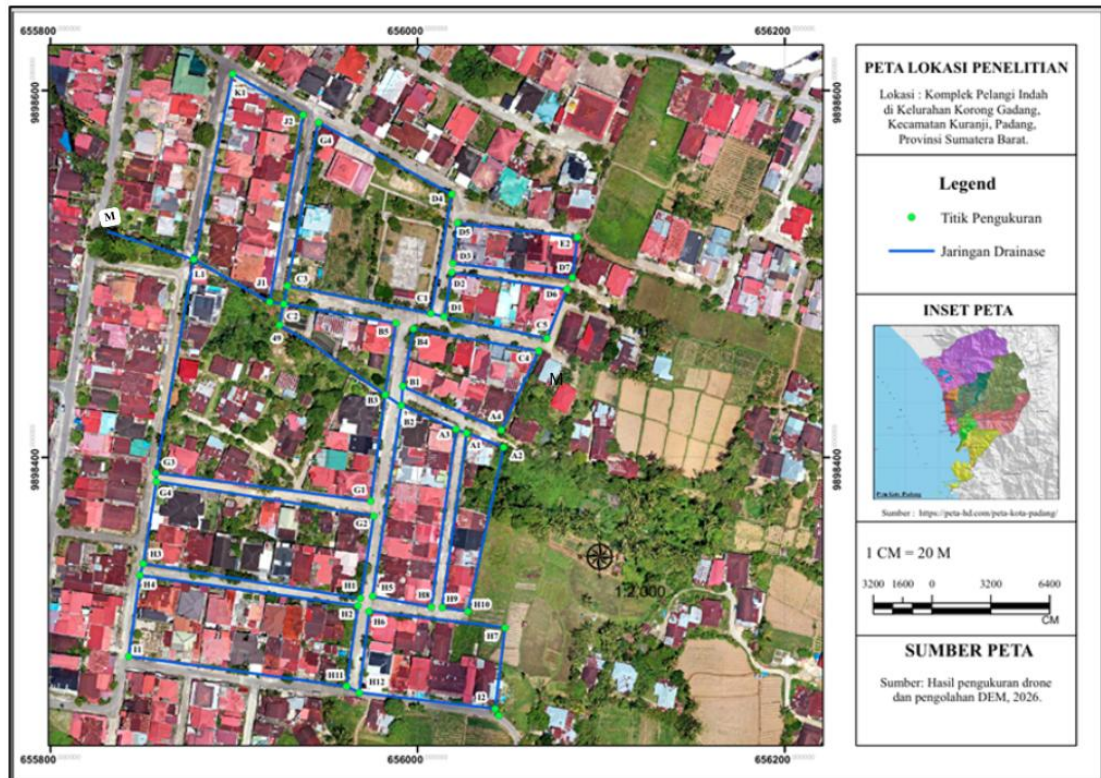
Berdasarkan penjelasan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis dan mengevaluasi jumlah air yang melimpah di Kompleks Pelangi Indah, Kelurahan Korong Gadang, Kecamatan Kuranji, Kota Padang, dengan menggunakan tiga cara, yaitu Metode Rasional, Metode Haspers, dan Pemodelan SWMM. Harapan dari penelitian ini adalah bisa memberikan saran metode yang paling tepat untuk digunakan dalam merancang dan meningkatkan sistem saluran air perkotaan, agar bisa mengatasi masalah air yang melimpah dengan lebih baik di masa depan.



Gambar 1.1 Peta Pola Ruang Kota Padang (sumber: Badan Perencanaan Pembangunan Daerah Kota Padang).



Gambar 1. 2 Peta Sub - Das Batang Kuranji Kota Padang (sumber jurnal Zainal.dkk.2023)



Gambar 1. 3 Lokasi Penelitian

1.2. TUJUAN DAN MANFAAT

1.2.1. Tujuan

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menghitung curah hujan rencana periode ulang 2, 5, dan 10 tahun menggunakan data satelit NASA Giovanni dengan metode distribusi frekuensi yang sesuai sebagai dasar penentuan hujan rancangan
2. Menyusun hyetograph hujan rancangan berdasarkan curah hujan rencana sebagai input dalam analisis hidrologi dan pemodelan.
3. Menganalisis debit limpasan permukaan pada sistem drainase di kawasan permukiman Komplek Pelangi Indah menggunakan Metode Rasional dan Metode Haspers sebagai pendekatan perhitungan manual
4. Melakukan simulasi hidrologi–hidraulika menggunakan perangkat lunak Storm Water Management Model (SWMM) dengan input hyetograph untuk memperoleh pola aliran, debit limpasan, dan kondisi jaringan drainase.
5. Mengevaluasi kapasitas saluran drainase eksisting berdasarkan hubungan antara debit limpasan dan kapasitas saluran.

6. Membandingkan hasil perhitungan debit dari metode Rasional, Haspers, dan simulasi SWMM untuk menilai kesesuaian hasil terhadap kondisi kapasitas saluran drainase.

1.2.2. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini antara lain:

a. Manfaat Umum

- (1) Pengembangan Ilmu Hidrologi: Memberikan kontribusi bagi pengembangan ilmu hidrologi, khususnya dalam kajian perbandingan akurasi antara metode perhitungan debit manual (Rasional dan Haspers) dengan model simulasi numerik dinamis (SWMM).
- (2) Referensi Metodologi: Menjadi acuan bagi peneliti lain atau instansi teknis dalam menentukan metode perhitungan yang paling sesuai untuk wilayah perkotaan dengan karakteristik hidrologi yang serupa.
- (3) Pedoman Perencanaan: Membantu dalam penerapan konsep ekodrainase dan drainase berkelanjutan di area perkotaan untuk melindungi air tanah serta mengurangi risiko banjir secara luas.
- (4) Optimalisasi Tools: Menunjukkan efektivitas penggunaan perangkat lunak SWMM dalam mengenali titik-titik saluran yang kurang efektif secara lebih detail dan realistis dibandingkan metode empiris tradisional.

b. Manfaat Khusus bagi wilayah yang ditinjau

1. Mitigasi Banjir Lokal: Memberikan data teknis yang akurat mengenai kapasitas saluran di Komplek Pelangi Indah untuk memitigasi luapan air yang sering terjadi saat hujan deras.
2. Identifikasi Titik Kritis: Membantu pengelola lingkungan atau pemerintah setempat dalam mengidentifikasi titik rawan (seperti Titik A) yang memerlukan perbaikan dimensi saluran karena kapasitas outflow yang tidak memadai.
3. Informasi Elevasi dan Topografi: Menyediakan gambaran jelas mengenai bentuk saluran drainase secara utuh berdasarkan pengukuran elevasi aktual menggunakan alat waterpass di lapangan.
4. Dasar Pemeliharaan Infrastruktur: Menjadi dasar rekomendasi untuk melakukan pemeliharaan rutin atau peningkatan kapasitas saluran guna mencegah degradasi infrastruktur akibat beban debit yang berlebih.

5. Evaluasi Dampak Urbanisasi: Memberikan gambaran dampak peningkatan area kedap air (imperviousness) terhadap beban drainase di Kecamatan Kuranji seiring dengan pertumbuhan permukiman dan perdagangan.

1.3. BATASAN MASALAH

Agar penelitian lebih terarah, maka batasan masalah ditetapkan sebagai berikut:

1. Lokasi Penelitian: Studi kasus difokuskan pada sistem drainase di kawasan permukiman tertentu, yaitu Komplek Pelangi Indah, Kelurahan Korong Gadang, Kecamatan Kuranji, Kota Padang.
2. Ruang Lingkup Metode: Analisis perbandingan hanya dilakukan pada tiga metode, yaitu Metode Rasional, Metode Haspers, dan pemodelan numerik SWMM (Storm Water Management Model).
3. Data Curah Hujan: Perhitungan menggunakan data curah hujan sekunder yang bersumber dari satelit NASA Giovanni periode 2014-2025.
4. Periode Ulang (Return Period): Analisis hidrologi dibatasi pada perhitungan hujan rencana dengan periode ulang 2, 5, dan 10 tahun.
5. Distribusi hujan dilakukan menjadi hujan jam-jaman selama 24 jam untuk penyusunan hyetograph dan hidrograf debit limpasan.
6. Parameter Saluran: Evaluasi kapasitas saluran didasarkan pada kondisi geometri eksisting (hasil pengukuran lapangan) dan tidak membahas desain konstruksi atau kekuatan struktur bangunan drainase.
7. Karakteristik Aliran: Penelitian ini difokuskan pada debit limpasan permukaan (surface runoff) dan tidak meninjau aliran air tanah secara mendalam atau kualitas air limpasan tersebut.
8. Pemodelan SWMM: Simulasi pada perangkat lunak SWMM menggunakan metode infiltrasi SCS Curve Number (SCS-CN).

1.4. SISTEMATIKA PENULISAN

Adapun sistematika penulisan skripsi ini adalah sebagai berikut:

- **BAB I PENDAHULUAN**

Berisi latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan, manfaat, dan sistematika penulisan terkait perbandingan metode Rasional, Haspers, dan SWMM pada kasus banjir Komplek Pelangi Indah. ‘

- **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

Berisi teori hidrologi, konsep debit limpasan, penjelasan metode Rasional dan Haspers, pemodelan SWMM, serta penelitian sebelumnya terkait perhitungan debit limpasan di kawasan perkotaan.

- **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Memuat lokasi penelitian, data yang digunakan, langkah perhitungan debit menggunakan metode Rasional dan Haspers, proses pemodelan SWMM, serta tahapan analisis perbandingan.

- **BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN**

Menyajikan hasil analisis hidrologi, hyetograph hujan rancangan, hidrograf debit limpasan metode Rasional dan Haspers, hasil simulasi SWMM, serta perbandingan hasil ketiga metode pada kawasan Komplek Pelangi Indah.

- **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi kesimpulan penelitian serta saran dan rekomendasi metode yang paling sesuai untuk perencanaan drainase kawasan perkotaan.



BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. BANJIR PERKOTAAN DAN LIMPASAN PERMUKAAN

2.1.1. Banjir

Banjir adalah proses alam yang biasa terjadi, tetapi bisa menjadi bencana jika mengenai manusia dan menyebabkan kerugian berupa nyawa atau harta benda. Dalam sistem alam, banjir terjadi di tempatnya sendiri. Banjir akan mengenai manusia jika mereka tinggal di daerah yang secara alamiah rentan banjir (Setiawan et al.2020)

Banjir di perkotaan biasanya terjadi karena tidak seimbangnya jumlah air yang mengalir masuk ke saluran drainase dengan kemampuan saluran itu sendiri. Peningkatan area yang sudah dibangun membuat daerah penyerapan air berkurang, sehingga volume air yang mengalir di permukaan meningkat dan bisa menyebabkan genangan atau banjir lokal (Kodoatie & Sjarief, 2021).

2.1.2. Konsep Limpasan

Limpasan permukaan terjadi ketika hujan turun dengan intensitas yang terlalu tinggi, sehingga tanah tidak bisa menyerap air dengan baik. Akibatnya, air mengalir di permukaan dan bergerak ke saluran, sungai, atau sistem drainase. Untuk memperkirakan jumlah air yang mengalir, orang menggunakan metode empiris atau model hidrologi. Hasil perhitungan tersebut digunakan sebagai dasar dalam merancang sistem drainase dan mengurangi risiko banjir. Limpasan permukaan menjadi komponen utama yang dianalisis dalam penelitian ini karena nilai debit limpasan digunakan sebagai dasar untuk mengevaluasi kapasitas saluran drainase di Komplek Pelangi Indah.

2.1.3. Pengaruh Ubrbanisasi

Pertumbuhan kota dan perubahan penggunaan lahan dari lahan tumbuh-tumbuhan atau lahan yang bisa menyerap air menjadi lahan berupa bangunan atau permukaan keras secara nyata meningkatkan aliran air permukaan dan mengurangi kemampuan lahan menyerap air. Ini meningkatkan kemungkinan terbentuknya genangan dan banjir di area perkotaan. Misalnya, dalam penelitian di kawasan kampus yang semula berupa area penyerapan air, setelah dibangun gedung dan infrastruktur, terjadi peningkatan jumlah air permukaan yang mengalir dibandingkan saat kondisi lahan masih alami.

2.1.4. Koefisien Limpasan

Koefisien limpasan, sering dilambangkan sebagai C , menggambarkan perbandingan antara volume limpasan permukaan dengan volume curah hujan — nilai ini sangat tergantung pada jenis permukaan (aspal, beton, tanah, vegetasi), kemiringan, intensitas hujan, dan kondisi penggunaan lahan. Nilai koefisien aliran permukaan yang besar berarti sebagian besar air hujan mengalir di permukaan tanah, sedangkan nilai yang kecil menunjukkan tanah mampu menyerap lebih banyak air.

Tabel 2. 1 Koefisien Penggunaan Lahan

Pengelolaan Lahan	C	Pengelolaan Lahan	C
Perkantoran		Tanah Lempung	
Daerah Pusat Kota	0,70 - 0,95	Berpasir, datar 2%	0,05 - 0,10
Daerah Sekitar Kota	0,50 - 0,70	Berpasir, agak rata 2-7%	0,10 - 0,15
Perumahan		Berpasir, miring 7%	0,15 - 0,20
Rumah tinggal	0,30 - 0,50	Tanah berat, datar 2%	0,13 - 0,17
Rumah susun terpisah	0,40 - 0,60	Tanah Berat, agak rata 2-7%	0,18 - 0,22
Rumah susun bersambung	0,60 - 0,75	Tanah Berat, miring 7%	0,25 - 0,35
Pinggiran kota	0,25 - 0,40	Tanah pertanian 0-30% tanah kosong	
Daerah Industri		rata	0,30 - 0,60
Kurang Padat Industri	0,50 - 0,80	kasar	0,20 - 0,50
Padat industri	0,60 - 0,90	ladang gerapan	
Tempat Kuburan	0,10 - 0,25	tanah berat tanpa vegetasi	0,30 - 0,60
Tempat bermain	0,20 - 0,35	tanah berat dengan vegetasi	0,20 - 0,50
Daerah stasiun KA	0,20 - 0,40	berpasir tanpa vegetasi	0,20 - 0,25
Jalan Raya		padang rumput	
beraspal	0,70 - 0,95	tanah berat	0,15 - 0,45
berbeton	0,80 - 0,95	berpasir tanpa vegetasi	0,05 - 0,25
berbatu	0,70 - 0,85	hutan/vegetasi tanah tidak produktif	0,05 - 0,15
trottoar	0,75 - 0,85	>30%	
Daerah beratap	0,75 - 0,95	rata, kedap air	0,70 - 0,90
		kasar	0,50 - 0,70

Tabel 2. 2 Koefisien Penutupan Lahan

Penutupan Lahan	C
Hutan Lahan Kering Sekunder	0,03
Blukar	0,07
Hutan Primer	0,02
Hutan Tanaman Industri	0,05
hutan rawa sekunder	0,15
perkebunan	0,4
pertanian lahan kering	0,1
pertanian lahan kering campur semak	0,1
permukiman	0,6
sawah	0,15
tambak	0,05
terbuka	0,2
perairan	0,05

2.2. KARAKTERISTIK DAERAH PERKOTAAN

2.2.1. Drainase

Drainase adalah cara untuk mengeluarkan air berlebih yang tidak diinginkan di suatu area, serta metode yang digunakan untuk mengatasi dampak negatif yang disebabkan oleh air berlebih tersebut.(Almahera et al.2020). Sistem drainase merupakan bagian penting dalam mengelola dan mengendalikan air di permukaan wilayah tertentu. Sistem drainase dikatakan efektif jika mampu menampung banyak air, sehingga ketika volume air melebihi kapasitas normal, sistem masih bisa menampungnya dan mencegah terjadinya banjir. Untuk itu, diperlukan penerapan konsep ekodrainase agar air tidak mengalir terlalu cepat, sehingga dapat terserap oleh tanah. Konsep ini juga dapat mengurangi volume air yang mengalir, melindungi air tanah, serta mengurangi risiko banjir (Nabila,dkk,2025).

Drainase adalah salah satu bagian dari prasarana umum yang dibutuhkan oleh masyarakat kota dalam usaha menciptakan kehidupan kota yang aman, nyaman, bersih, dan sehat. Fungsi drainase adalah untuk mengalirkan air permukaan ke badan air, seperti sumber air permukaan atau air bawah tanah, serta bangunan resapan(Almahera,dkk,2020) .Drainase perkotaan memiliki beberapa fungsi penting, yaitu:

1. Drainase berarti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalirkan air. Secara umum, drainase adalah cara teknis untuk mengurangi air berlebih, baik dari hujan, rembesan tanah, atau air irigasi yang berlebihan di suatu area atau lahan, agar fungsi area atau lahan tersebut tidak terganggu.
2. Mengalirkan air berlebih dari permukaan ke badan air terdekat secepat mungkin, agar tidak menyebabkan banjir atau genangan yang merusak barang-barang milik warga serta infrastruktur kota.
3. Mengendalikan sebagian air hujan yang mengalir di permukaan, sehingga bisa digunakan sebagai cadangan air.
4. Menyerap air permukaan agar tetap terjaga ketersediaan air tanah. (PRATIWI ET AL., 2020)

Dalam merencanakan sistem drainase di kota, saluran harus mampu menampung jumlah air yang direncanakan. Jumlah tersebut dihitung berdasarkan karakteristik air dan kondisi daerah yang menjadi sumber air.

2.2.2. Bentuk jaringan drainase

1. Pola Grid (Kotak-kotak)

Pola grid banyak digunakan pada kawasan perkotaan yang terencana dengan sistem jalan berbentuk persegi atau blok. Aliran air mengalir melalui saluran-saluran sejajar yang saling terhubung tegak lurus (Kurniawan & Pratama, 2020).

2. Pola Radial

Pola radial digunakan pada kawasan dengan pusat kota sebagai titik konsentrasi aliran. Sistem ini biasanya ditemukan pada kota yang berkembang dari satu pusat aktivitas utama (Hidayat & Nugroho, 2021).

3. Pola Alamiah (Natural Drainage Pattern)

Pola ini mengikuti kontur alami permukaan tanah dan biasanya ditemukan pada daerah dengan topografi bergelombang atau berbukit (Rahman & Sari, 2023).

Pemilihan bentuk jaringan drainase harus mempertimbangkan efisiensi pengaliran serta kapasitas saluran dalam menampung debit rencana (Sutanto,dkk, 2025).

2.2.3. Land Use (Pengguna Lahan)

Penggunaan lahan (land use) di perkotaan mencakup permukiman, perkantoran, jalan, trotoar, ruang terbuka hijau, dan lain sebagainya. Perubahan dari lahan resapan atau vegetatif ke lahan terbangun mengubah karakteristik hidrologi permukaan. Perubahan ini berdampak pada volume limpasan dan laju aliran yang lebih cepat, sehingga memerlukan sistem drainase yang memadai agar genangan dan banjir dapat dikendalikan.(Azizah,dkk, 2023)

2.2.4. Imperviousness

Ketahanan terhadap air atau persentase area permukaan yang tidak menyerap air seperti aspal, beton, atau atap adalah parameter penting dalam penelitian aliran air di kota. Semakin besar persentase area ini, semakin rendah kemampuan tanah menyerap air, sehingga semakin banyak air yang mengalir permukaan. Dalam pemodelan saluran drainase atau aliran air, data ketahanan terhadap air biasanya digabungkan dengan peta penggunaan lahan dan peta bentuk tanah untuk menentukan bagaimana air mengalir dan lokasi saluran drainase yang tepat. (Hamzah et.al.,2025). Persentase area yang tidak menyerap air adalah parameter penting dalam SWMM karena memengaruhi jumlah air yang mengalir. Semakin tinggi nilai imperviousness, semakin rendah infiltrasi yang terjadi, dan semakin besar debit air yang mengalir.

2.3. METODA RASIONAL

Metode rasional digunakan untuk memperkirakan debit air yang terjadi pada daerah aliran kecil. Metode ini mempertimbangkan hubungan antara koefisien limpasan, intensitas hujan, dan luas daerah yang terkena hujan. Dasar dari metode ini adalah asumsi bahwa debit maksimum terjadi ketika intensitas hujan selama waktu hujan sama dengan waktu konsentrasi daerah tersebut. Karena itu, menentukan nilai intensitas hujan dan koefisien limpasan sangat penting agar hasil perhitungan debit limpasan dapat merepresentasikan kondisi sebenarnya di daerah tersebut. (Azizah, dkk., 2024). Dalam penelitian ini, metode Rasional digunakan untuk menghitung debit limpasan berdasarkan distribusi hujan jam-jamannya sehingga diperoleh hidrograf debit limpasan terhadap waktu.

2.3.1. Hidrologi

Air adalah unsur yang sangat penting dan dibutuhkan oleh semua makhluk hidup. Untuk memahami bagaimana air itu berperilaku, ada sebuah ilmu khusus yang disebut Hidrologi. Hidrologi adalah ilmu yang mempelajari air dalam semua bentuknya, termasuk karakteristiknya, sifat-sifatnya, bagaimana air itu tersebar, serta siklusnya. (Salsabila & Nugraheni, 2020)

2.3.2. Siklus Hidrologi

Secara umum, siklus hidrologi adalah proses di mana semua air yang ada di permukaan bumi mengalami penguapan. Semua air yang menguap ke atmosfer atau ke langit akan berubah menjadi awan. Setelah itu, air yang sudah berubah menjadi awan akan mengalami perubahan kembali dalam bentuk yang berbeda, yaitu bentuk tetes air. (Ismail, dkk., 2023)

2.3.3. Analisa Hidrologi

Dalam membuat perencanaan bangunan air, analisis hidrologi digunakan untuk memahami karakteristik air serta mendapatkan nilai debit rancangan yang digunakan dalam perhitungan struktur. Untuk melakukan analisis hidrologi, dibutuhkan beberapa data seperti curah hujan, debit air, panjang sungai, luas daerah tangkapan air, kecepatan aliran, dan data iklim (Yustiana, 2023).

2.3.4. Analisa Curah hujan

Analisis distribusi curah hujan yang tepat di wilayah ini sangat penting untuk memahami pola cuaca, yang pada gilirannya bisa digunakan dalam perencanaan pengelolaan sumber daya

alam, pertanian, irigasi, serta mitigasi bencana yang terkait dengan curah hujan seperti banjir dan kekeringan. (Suryadi,dkk,2025)

2.3.5. Analisa Curah Hujan Rencana

Curah hujan rencana merupakan jumlah hujan tahunan tertinggi yang mungkin terjadi di suatu wilayah dalam periode tertentu dengan tingkat kemungkinan tertentu. Untuk menentukan curah hujan rencana, diperlukan memenuhi syarat koefisien skewness dan koefisien kurtosis agar dapat memilih metode distribusi yang tepat. Untuk mendapatkan frekuensi hujan yang sesuai dengan data yang dimiliki, digunakan perhitungan curah hujan rencana (Khairul,dkk,2023).

Kemudian, dalam proses menentukan curah hujan, data yang diperoleh hanya berupa curah hujan di satu titik tertentu. Jika ada dua stasiun, maka digunakan metode rata-rata aritmatik. Untuk mendapatkan nilai curah hujan areal (lebih dari dua stasiun), dapat dihitung dengan metode aritmatik atau metode isoyet. Curah hujan rencana adalah jumlah hujan yang diprediksi akan terjadi dalam periode ulang tertentu, seperti 2 tahun, 5 tahun, atau 10 tahun. Nilai ini didapat dari menganalisis frekuensi berdasarkan data curah hujan tertinggi setiap tahunnya.

a. Metoda Artimatik

Metode ini merupakan cara paling mudah untuk menghitung curah hujan rata-rata di suatu daerah. Metode rata-rata aljabar memberikan hasil yang cukup baik jika :

- Stasiun pengukur hujan terdapat secara merata di seluruh wilayah DAS.
- Pola distribusi curah hujan cukup merata di seluruh area DAS.

Curah hujan rata-rata di seluruh DAS dalam bentuk berikut:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n Rn}{n}$$

dimana:

R = Tinggi curah hujan rata-rata harian pada suatu DPS atau DPSAL
(mm/hari)

Rn = Tinggi curah hujan harian pada masing-masing stasiun hujan (mm/hari)

n = Jumlah stasiun hujan

b. Metode Isohyet

Metode ini menggunakan pembagian DAS dengan garis-garis yang menghubungkan tempat – tempat dengan curah hujan yang sama besar.

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n \left(\frac{dn+dn+1}{2} \right)}{A} \cdot An$$

dimana:

d = Tinggi curah hujan rata-rata areal

dn = Tinggi curah hujan pada isohyet

An = Luas areal yang dibatasi isohyet

A = Luas areal

Tabel 2. 3 Nilai Variabel Reduksi Gauss

No	Periode Ulang T (tahun)	Peluang	KT
1	1,001	0,990	-3,05
2	1,005	0,995	-2,58
3	1,01	0,990	-2,33
4	1,05	0,950	-1,64
5	1,11	0,900	-1,28
6	1,25	0,800	-0,84
7	1,33	0,750	-0,67
8	1,43	0,700	-0,52
9	1,67	0,600	-0,25
10	2,00	0,500	0
11	2,50	0,400	0,25
12	3,33	0,300	0,52
13	4,00	0,250	0,67
14	5,00	0,200	0,84
15	10,00	0,100	1,28
16	20,00	0,050	1,64
17	50,00	0,020	2,05
18	100,00	0,010	2,33
19	200,00	0,005	2,58
20	500,00	0,002	2,88
21	1000,00	0,001	3,09

2.3.6. Uji Konsistensi data

Uji konsistensi data digunakan untuk mengetahui sejauh mana data dalam suatu seri data tersebut konsisten. Uji ini bisa dilakukan pada Daerah Aliran Sungai (DAS) yang memiliki banyak stasiun pengamatan hujan serta beberapa data yang tidak konsisten. Beberapa hal yang menyebabkan data tidak konsisten antara lain.:(Raynaldi Hasbi Rahman, 2021)

- Alat ukur berpindah tempat, meskipun nama dan manajemen stasiun tetap tidak berubah.
- Alat ukur tidak dipindahkan atau rusak, tetapi lingkungan sekitarnya berubah.
- Kesalahan dalam cara pengukuran sering kali menyebabkan perubahan pada hasil pengukuran curah hujan.

Pendekatan untuk menghitung konsistensi data hujan adalah menggunakan analisis Kurva Massa Ganda (Double Mass Curve Analysis). Metode ini bertujuan menguji konsistensi hasil pengukuran di suatu stasiun dan membandingkannya dengan akumulasi hujan tahunan serta nilai rata-rata akumulasi hujan dari sekelompok stasiun sekitarnya.

Prosedur yang digunakan oleh U.S. Environmental Data Service dalam melakukan uji konsistensi data dengan metode kurva massa ganda adalah sebagai berikut:

1. Menghitung hujan tahunan untuk masing-masing stasiun.
2. Menghitung rata-rata hujan tahunan untuk stasiun pembanding.
3. Menghitung akumulasi hujan tahunan untuk stasiun yang akan diuji.
4. Menghitung akumulasi hujan tahunan untuk stasiun pembanding.
5. Menggambar diagram pencar (scatter diagram) dengan stasiun yang akan diuji pada sumbu y dan stasiun pembanding pada sumbu x.
6. Buat garis lurus pada diagram tersebut, lalu analisis apakah ada perubahan kemiringan dari garis tersebut. Jika terjadi perubahan kemiringan, maka data setelah perubahan kemiringan perlu diperbaiki dengan mengalikan nilai data hujan menggunakan koefisien (K) yang dihitung berdasarkan perbandingan antara kemiringan setelah perubahan (S_2) dan kemiringan sebelum perubahan (S_1), yaitu $K = S_2/S_1$

. Uji konsistensi data bisa dilakukan di sebuah DAS yang memiliki setidaknya 3 stasiun pengukur curah hujan. Jika DAS hanya memiliki 2 atau 1 stasiun hujan, maka uji konsistensi tidak bisa dilakukan karena data dianggap sudah konsisten.

Prosedur perhitungan dalam metode Uji Chi-Kuadrat adalah sebagai berikut:

- a. Mengurutkan data dari besar ke kecil atau sebaliknya.
- b. Menghitung jumlah kelas.
- c. Menghitung derajat kebebasan (D_k) dan nilai X^2_{Cr} .

Derajat yang sering digunakan adalah 5%. Untuk menghitung derajat kebebasan (Dk), digunakan rumus berikut: (Kamian, 2011)

$$Dk = K - (P + 1)$$

$$K = 1 + 3,3 \cdot \log n$$

dimana:

Dk = Derajat kebebasan

K = Jumlah kelas distribusi

P = Banyak parameter untuk Chi-Kuadrat.

n = Banyak data

Nilai X^2_{Cr} didapatkan dari Tabel Uji Chi-Kuadrat.

- a. Menghitung kelas distribusi
- b. Menghitung interval kelas

- Uji Chi-Kuadrat

Uji Chi-kuadrat digunakan untuk mengetahui apakah distribusi yang dipilih cocok dengan distribusi data sampel yang dianalisis. Parameter uji Chi-kuadrat. dapat dihitung dengan rumus (Soewarno, 1995)

$$X^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(Of - Ef)^2}{EF}$$

Dimana :

X^2 = Parameter Chi-Kuadrat terhitung.

Of = Frekuensi pengamatan (*observed frequency*).

Ef = Frekuensi teoritis (*expected frequency*).

- Uji Smirnov – Kolmogorov

Uji Smirnov-Kolmogorov (uji data horizontal) digunakan untuk mengetahui perbedaan horizontal. Uji ini bisa dilakukan dengan mengecek data untuk pergeseran horizontal. menggunakan persamaan berikut : (Soewarno, 1995)

$$\Delta maks = |Pe(X) - Pt(X)|$$

Dimana :

$\Delta maks$ = perbedaan antara data probabilitas teoritis dan empiris

$Pe(X)$ = posisi data x menurut distribusi empiris

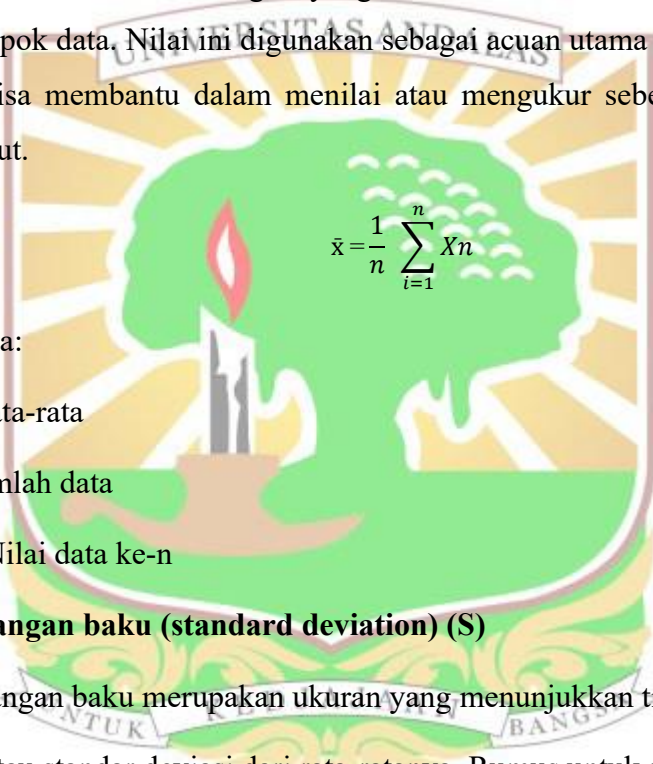
$Pt(X)$ = posisi data x menurut distribusi teoritis

2.3.7. Analisa Frekuensi

Analisis frekuensi digunakan untuk menentukan besar hujan atau debit dengan durasi tertentu. Analisis frekuensi bisa dilakukan pada seri data yang didapat dari catatan data, baik data hujan maupun debit (Agusriyatno,dkk,2020). Analisis frekuensi dilakukan agar dapat mengetahui tingkat curah hujan yang direncanakan berdasarkan kemungkinan terjadinya hujan ekstrem pada interval waktu tertentu.

(1) Nilai rerata ($\bar{X}$)

Nilai rata-rata adalah angka yang bisa mewakili keadaan umum dari suatu kelompok data. Nilai ini digunakan sebagai acuan utama dalam suatu distribusi dan bisa membantu dalam menilai atau mengukur seberapa bagus distribusi tersebut.


$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_n$$

dimana:

$\bar{X}$ = Rata-rata

n = Jumlah data

X_n = Nilai data ke-n

(2) Simpangan baku (standard deviation) (S)

Simpangan baku merupakan ukuran yang menunjukkan tingkat variasi data atau standar deviasi dari rata-ratanya. Rumus untuk menghitung

simpangan baku:

$$Sd = \left[\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (X_n - \bar{X})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

dimana:

Sd = Standar deviasi/simpangan baku

n = Jumlah data

X_n = Nilai data ke-n

$\bar{X}$ = Rata-rata

(3) Koefisien Variasi (CV)

Koefisien variasi (*variation coefficient*) dimana nilai perbandingan antara deviasi standar dengan nilai rata-rata hitung dari suatu distribusi.

$$CV = \frac{Sd}{\bar{X}}$$

dimana:

Cv = koefisien variasi

Sd = Standar deviasi/simpangan baku

$\bar{X}$ = Rata-rata

(4) Koefisien Kemencengan/Koefisien Skewness (Cs)

Koefisien kemiringan mengukur asimetri distribusi data, yang dihitung dengan rumus:

$$CS = \frac{n \cdot \sum_{i=1}^n (X_n - \bar{X})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot Sd^3}$$

dimana:

Cs = Koefisien kemencengan/koefisien skewness

n = Jumlah data

X_n = Nilai data ke-n

$\bar{X}$ = Rata-rata

Sd = Standar deviasi/simpangan baku

(5) Koefisien Kurtosis (Ck)

Pengukuran kurtosis digunakan untuk mengetahui tingkat kecuramannya kurva distribusi, apakah lebih tajam atau lebih lembut dibandingkan dengan kurva distribusi normal.

$$CK = \frac{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (X_n - \bar{X})^4}{Sd^4}$$

2.3.8. Perencanaan curah hujan yang hilang

Hujan yang tidak tercatat bisa diisi dengan nilai perkiraan berdasarkan data dari tiga atau lebih stasiun terdekat di sekitar area tersebut. Gambar 1 menunjukkan stasiun X dan beberapa stasiun di sekelilingnya. Salah satu cara yang sering digunakan untuk memperkirakan data curah hujan yang tidak lengkap.(Nur Apon & Hari. 2020)

$$\frac{Px}{Nx} = \frac{1}{n} \cdot \left(\frac{P1}{N1} + \frac{P2}{N2} + \dots + \frac{Pn}{Nn} \right)$$

dimana:

Px = Data hujan yang hilang di stasiun x

Nx = Hujan tahunan di stasiun x

Pn = Data hujan di stasiun yang berada di sekitar stasiun x

Nn = Hujan tahunan di stasiun yang berada di sekitar stasiun x

n = Jumlah stasiun di sekitar stasiun x

2.3.9. Pemilihan Jenis Sebaran (distribusi)

Setelah mengetahui parameter statistik, distribusi yang tepat untuk digunakan dalam analisis frekuensi dapat dipilih. Beberapa distribusi probabilitas yang sering digunakan dalam analisis hidrologi antara lain distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson III. Distribusi yang dipilih adalah distribusi yang memenuhi syarat parameter statistik dan menghasilkan nilai uji kecocokan terbaik.

Tabel 2. 4 Persyaratan Pemeliharaan Jenis Sebaran (Distribusi)

No	Distribusi	persyaratan
1.	Normal	Cs = 0 Ck = 3
2.	Log normal	Cs = 3 Ck = 5.383
3.	Gumbel	Cs ≤ 1.1396 Ck ≤ 5.4002
4.	Log person III	Cs ≠ 0

(1) Distribusi Normal

Distribusi normal sering digunakan dalam analisis frekuensi curah hujan, analisis statistik distribusi rata-rata curah hujan tahunan, debit rata-rata tahunan dan sebagainya.

$$X_T = \bar{X} + K_r \cdot S_d$$

dimana:

X_T = perkiraan nilai yang diharapkan terjadi dengan periode ulang t tahunan

$\bar{x}$ = rata-rata

K_t = faktor frekuensi yang merupakan fungsi dari peluang atau periode ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan

untuk analisis peluang. nilai k_t dapat dilihat dalam tabel nilai variabel redaksi gauss.

s_d = standar deviasi/simpangan baku

Distribusi Log Normal

$2n$ = Reduced standard deviation, yang bergantung jumlah data. Nilai S_n dapat dilihat pada Tabel Reduced Standard Deviation, S_n .

(2) Distribusi Gumbel

Distribusi Gumbel adalah metode statistik yang digunakan untuk menganalisis nilai ekstrem, seperti:

- curah hujan maksimum
- debit banjir maksimum

Dalam hidrologi, distribusi ini sering dipakai untuk menentukan curah hujan rencana atau debit rencana berdasarkan periode ulang (2, 5, 10 tahun, dll).

$$X_t = \bar{X} + S_d \cdot K$$

Dimana :

X = Perkiraan nilai curah hujan rencana yang terjadi

$\bar{X}$ = Rata-rata

S_d = Standar deviasi/

K = Faktor probabilitas untuk harga-harga ekstrim Gumbel dapat dinyatakan dalam persamaan

$$K = \frac{Y_{tr} - Y_n}{S_n}$$

Dimana :

Y_{tr} = *Reduced variate*, yang dapat dilihat pada tabel Reduced Variate, sebagai fungsi periode ulang dibawah.

Y_n = Reduced mean, yang bergantung jumlah data. Nilai Y_n dapat dilihat pada tabel Reduced Mean, Y_n .

S_n = Reduced standard deviation, yang bergantung jumlah data. Nilai S_n dapat dilihat pada tabel Reduced Standard Deviation.

Tabel 2. 5 Reduced Variate

Periode Ulang T (tahun)	Reduce Variate , Y_{tr}
2	0,3688
5	1,5004
10	2,2510
20	2,9791
25	3,1193
50	3,9028
75	4,3117
100	4,6012
200	5,5297
250,00	5,5206
500,00	6,2149
1000,00	6,9087
5000,00	8,5188
10000,00	9,2121

Tabel 2. 6 Reduced Mean, Y_n

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,4952	0,4996	0,5035	0,5070	0,5100	0,5128	0,5157	0,5181	0,5202	0,5220
20	0,5236	0,5252	0,5268	0,5283	0,5296	0,5309	0,532	0,5332	0,5343	0,5353
30	0,5362	0,5371	0,538	0,5388	0,5396	0,5403	0,541	0,5418	0,5424	0,5436
40	0,5436	0,5442	0,5448	0,5453	0,5458	0,5463	0,5468	0,5473	0,5477	0,5481
50	0,5485	0,5489	0,5493	0,5497	0,5501	0,5504	0,5508	0,5511	0,5515	0,5518
60	0,5521	0,5524	0,5527	0,5530	0,5533	0,5535	0,5538	0,554	0,5543	0,5545
70	0,5548	0,555	0,5552	0,5555	0,5557	0,5559	0,5561	0,5563	0,5565	0,5567
80	0,5569	0,557	0,5572	0,5574	0,5576	0,5578	0,558	0,5581	0,5583	0,5585
90	0,5586	0,5587	0,5589	0,5591	0,5592	0,5593	0,5595	0,5596	0,5598	0,5599
100	0,56	0,5602	0,5603	0,5604	0,5606	0,5607	0,5608	0,5609	0,561	0,5611

Tabel 2. 7 Reduced Standard Deviation, S_n

N	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	0,9496	0,9636	0,9833	0,9971	1,0095	1,0206	1,0316	1,0411	1,0493	1,0565
20	1,0628	1,0696	1,0754	1,0311	1,0864	1,0915	1,0961	1,1004	1,1047	1,1080
30	1,1124	1,1159	1,1193	1,1226	1,1255	1,1285	1,1313	1,1339	1,1363	1,1388
40	1,1413	1,1436	1,1458	1,1480	1,1499	1,1519	1,1538	1,1557	1,1574	1,1590
50	1,1607	1,1623	1,1638	1,1658	1,1667	1,1681	1,1696	1,1708	1,1721	1,1734
60	1,1747	1,1759	1,177	1,1782	1,1793	1,1803	1,1814	1,1824	1,1834	1,1844
70	1,1854	1,1863	1,1873	1,1881	1,1890	1,1898	1,1906	1,1915	1,1923	1,1930
80	1,1938	1,1945	1,1953	1,1959	1,1967	1,1973	1,198	1,1987	1,1994	1,2001
90	1,2007	1,2013	1,2020	1,2026	1,2032	1,2038	1,2044	1,2049	1,2055	1,2060
100	1,2065	1,2069	1,2073	1,2077	1,2081	1,2084	1,2087	1,209	1,2093	1,2096

(3) Distribusi log person III

Distribusi Log Pearson tipe III sering digunakan dalam analisis hidrologi, terutama untuk menganalisis data maksimum seperti banjir dan data minimum seperti debit air terendah yang memiliki nilai ekstrim. Bentuk distribusi Log Pearson tipe III diperoleh dari distribusi Pearson tipe III dengan mengganti variannya menjadi nilai logaritma. Sifat statistik distribusi ini adalah:

1. Jika tidak memiliki sifat-sifat yang sama seperti pada ketiga distribusi sebelumnya.
2. Garis probabilitas teoritis berbentuk garis lengkung.

$$Y_t = \bar{Y} + KT \cdot S_d$$

dimana:

$\bar{X}$ = Rata-rata

n = Jumlah data

X_n = Nilai data ke-n

KT = Faktor frekuensi yang merupakan fungsi dari peluang atau periode

ulang dan tipe model matematik distribusi peluang yang digunakan

untuk analisis peluang. Nilai KT dapat dilihat dalam Tabel Nilai

K untuk Distribusi Log Pearson III.

Sd = Standar deviasi/simpangan baku, dengan rumus (Suripin, 2004):

$$Sd \log x = \left[\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (\log X_n - \overline{\log x})^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

dimana:

Sd = Standar deviasi/simpangan baku

n = Jumlah data

Xn = Nilai data ke-n

$\bar{X}$ = Rata-rata

Tabel 2. 8 Nilai K untuk Distribusi Log Person III

Koef. G	Interval Kejadian (Recurrence Interval), Tahun (Periode Ulang)							
	1,0101	1,25	2	5	10	25	50	100
Koef. G	Persentase Peluang Terlampaui (Percent Chance of Bring Exceeded)							
	99	80	50	20	10	4	2	1
3,0	-0,667	-0,636	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051
2,8	-0,714	-0,666	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973
2,6	-0,769	-0,696	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	2,889
2,4	-0,832	-0,725	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800
2,2	-0,905	-0,752	-0,33	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705
2	-0,99	-0,777	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,192	3,605
1,8	-1,087	-0,799	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499
1,6	-1,197	-0,817	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,78	3,388
1,4	-1,318	-0,832	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271
1,2	-1,449	-0,844	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149
1	1,588	-0,852	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
0,8	-1,733	-0,856	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891
0,6	-1,88	-0,857	-0,099	0,80	1,328	1,939	2,359	2,755
0,4	-2,029	-0,855	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615
0,2	-2,178	-0,850	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472
0	-2,326	-0,842	0,000	0,842	1,282	1,751	2,051	2,326
-0,2	-2,472	-0,830	0,033	0,85	1,258	1,68	1,945	2,178
-0,4	-2,615	-0,160	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
-0,6	-2,755	-0,800	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
-0,8	-2,891	-0,780	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733
-1	-3,022	-0,758	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
-1,2	-2,149	-0,732	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449
-1,4	-2,271	-0,705	0,225	0,832	1,041	1,198	1,27	1,318
-1,6	-2,388	-0,675	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197
-1,8	-3,499	-0,643	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
-2	-3,605	-0,609	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990
-2,2	-3,705	-0,574	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905
-2,4	-3,800	-0,537	0,351	0,725	0,795	0,823	0,83	0,832
-2,6	-3,889	-0,490	0,368	0,696	0,747	0,764	0,768	0,769
-2,8	-3,973	-0,469	0,384	0,666	0,702	0,712	0,714	0,714
-3	-7,051	-0,420	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

Tabel 2. 9 Uji Chi Kuadrat

V	α (alpha)				
	0,9	0,1	0,05	0,025	0,01
1	0,0158	2,7055	3,8415	5,0239	6,6349
2	0,2107	4,6052	5,9915	7,3778	9,2103
3	0,5844	6,2514	7,8147	9,3484	11,3449
4	1,0636	7,7794	9,4877	11,1433	13,2767
5	1,6103	9,2364	11,0705	12,8325	15,0863
6	2,2041	10,6446	12,5916	14,4494	16,8119
7	2,8331	12,017	14,0671	16,0128	18,4753
8	3,4895	13,3616	15,5073	17,5345	20,0902
9	4,1682	14,6837	16,919	19,0228	21,666
10	4,8652	15,9872	18,307	20,4832	23,2092
11	5,5778	17,275	19,7651	21,92	24,725
12	6,3038	18,5493	21,0261	23,3367	26,217
13	7,0145	19,8119	22,362	24,7356	27,6882
14	7,7895	21,0641	23,6468	26,1189	29,1412
15	8,5468	22,3071	24,9958	27,4884	30,5779
16	9,3122	23,5418	26,2962	28,8454	31,9999
17	10,0852	24,769	27,5871	30,191	33,4087
18	10,8649	25,9894	28,8693	31,5264	34,8053
19	11,6509	27,2036	30,1435	32,8523	36,1909
20	12,4426	28,412	31,4104	34,1696	37,5662

2.3.10. Intensitas Hujan

Intensitas hujan adalah seberapa besar air hujan yang jatuh dalam satu waktu tertentu. Intensitas hujan dipengaruhi oleh berapa lama hujan turun dan seberapa besar airnya. Semakin lama hujan terjadi, semakin tinggi pula intensitasnya. Sebaliknya, jika hujan turun lebih singkat, maka intensitasnya akan lebih rendah. Intensitas hujan (I) adalah tingkat debit hujan yang terjadi dalam waktu tertentu, dimana air hujan mengalir secara terpusat, dengan satuan mm/jam. (Rosdiana,dkk.,2025). Intensitas hujan adalah faktor penting dalam perhitungan Metode Rasional dan Metode Haspers karena langsung berpengaruh pada jumlah air yang mengalir ke permukaan tanah.

$$I = \frac{R24}{24} \left(\frac{24}{tc} \right)^{2/3}$$

dimana:

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

Tc = waktu konsentrasi (jam)

t = waktu/durasi curah hujan (menit)

R24 = curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

Dalam penelitian ini, intensitas hujan dihitung menggunakan persamaan Mononobe karena data yang digunakan adalah curah hujan harian maksimum (R24). Persamaan Mononobe digunakan untuk mengubah jumlah hujan yang turun dalam sehari menjadi tingkat intensitas hujan dengan durasi tertentu, yang disesuaikan dengan waktu konsentrasi dari daerah tangkapan air.

Metode Mononobe sering diterapkan dalam perencanaan drainase kota karena mampu mengubah data hujan yang terjadi sehari-hari menjadi hujan dengan durasi singkat. Hujan tersebut penting untuk dihitung debit air yang mengalir menggunakan Metode Rasional atau Metode Haspers.

2.3.11. Debit banjir

Persamaan rasional dibuat dengan menganggap bahwa hujan yang terjadi memiliki tingkat intensitas yang sama dan menyebar merata di seluruh daerah aliran selama setidaknya waktu konsentrasi (t_c). Untuk menghitung debit banjir yang direncanakan, digunakan metode rasional dengan rumus berikut: (Khairul,dkk.2023). Metode Rasional sangat cocok digunakan pada daerah tangkapan air yang luasnya kecil, seperti di kawasan permukiman dan sistem drainase perkotaan.

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

dimana:

Q = debit puncak banjir (m^3/s)

C = koefisien limpasan

I = intensitas curah hujan (mm/jam)

A = luas daerah (km^2)

2.3.12. Koefisien limpasan dan waktu konstansi

Koefisien C dijelaskan sebagai perbandingan antara kecepatan aliran permukaan yang paling tinggi dengan besarnya intensitas hujan. Faktor utama yang memengaruhi nilai C adalah laju penyerapan air tanah, jenis tanaman yang menutupi permukaan tanah, serta tingkat intensitas hujan. (Lindawati & Lucyana,dkk.2020)

$$C = \frac{\sum C_i A_i}{\sum A_i}$$

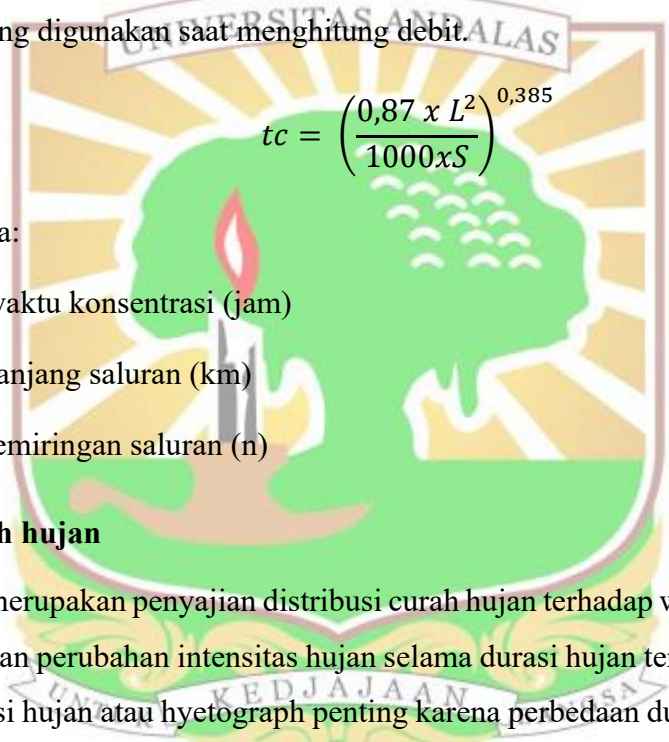
dimana:

C_i = Koefisien limpasan untuk daerah dengan luasan A_i

A_i = Luasan dengan nilai C yang berbeda

$\sum A_i$ = jumlah total luasan dengan nilai C yang berbeda

Waktu konsentrasi adalah waktu yang dibutuhkan air untuk mengalir dari titik tertinggi di mana air jatuh sampai tiba di titik yang dipantau. Besarnya waktu konsentrasi ditentukan oleh panjang saluran dan kecepatan aliran di saluran tersebut. (Yuliyana & Putra, 2022). Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air hujan untuk mengalir dari titik yang paling jauh di daerah tangkapan hingga sampai ke titik kontrol. Nilai ini langsung memengaruhi besarannya hujan yang digunakan saat menghitung debit.


$$tc = \left(\frac{0,87 \times L^2}{1000 \times S} \right)^{0,385}$$

dimana:

T_c = waktu konsentrasi (jam)

L = Panjang saluran (km)

S = Kemiringan saluran (n)

2.3.13. Hyetograph hujan

Hyetograph merupakan penyajian distribusi curah hujan terhadap waktu yang digunakan untuk menggambarkan perubahan intensitas hujan selama durasi hujan tertentu. Dalam analisis debit banjir, distribusi hujan atau hyetograph penting karena perbedaan durasi dan pola sebaran hujan dapat menghasilkan nilai debit banjir yang berbeda. pola distribusi sebaran curah hujan atau hyetograph untuk durasi hujan 2–5 jam dan menyatakan bahwa distribusi hujan yang berbeda menghasilkan debit banjir yang berbeda pula. (Pujiastuti & Risna, (2022)

Hyetograph digunakan sebagai input hujan terhadap waktu, sedangkan hidrograf merupakan output berupa debit aliran terhadap waktu. Dengan demikian, data hujan jam-jaman pada hyetograph dapat digunakan untuk membentuk hidrograf limpasan. Dalam pemodelan drainase, SWMM menerima data hujan sebagai masukan, mengubahnya menjadi limpasan permukaan, lalu menelusurkan aliran pada saluran drainase. (Harsanto, dkk, 2022)

Dalam penelitian ini, curah hujan yang direncanakan dengan periode ulang 2, 5, dan 10 tahun dibagi menjadi hujan setiap jam selama 24 jam untuk membentuk grafik hujan yang

dirancang. Grafik tersebut digunakan sebagai masukan dalam simulasi SWMM. Hyetograf digunakan untuk menampilkan bagaimana curah hujan berubah seiring waktu dan menjadi dasar dalam pembuatan hidrogram aliran. Dalam penelitian ini, curah hujan yang direncanakan untuk periode ulang 2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun dibagi ke dalam interval waktu tertentu untuk membuat hyetograph hujan, yang kemudian digunakan sebagai masukan dalam simulasi SWMM.

2.4. METODA HASPERS

2.4.1. Konsep dan persamaan

Metode Haspers merupakan salah satu metode empiris atau semiempiris/analitik yang kadang digunakan untuk estimasi debit rencana atau limpasan pada daerah aliran, terutama ketika data luas dan intensitas hujan tersedia. Dalam literatur lokal, metode ini termasuk dalam kategori metode empiris untuk analisis limpasan permukaan. Persamaan atau pendekatan Hspers/Haspers bisa berbeda tergantung adaptasi lokal, misalnya menggunakan parameter koefisien aliran spesifik, durasi hujan, dan karakteristik topografi serta tutupan lahan. (Rifta Iftina Azzah, dkk. 2025). Metode Haspers adalah metode yang didasarkan pada pengalaman dan ciri-ciri khusus air di daerah tropis. Metode ini memperhitungkan faktor pengurangan dan koefisien aliran, sehingga sering dipakai dalam merencanakan sistem drainase dan bangunan air di Indonesia. Metode Haspers sering digunakan dalam menganalisis sistem drainase di kota-kota Indonesia karena memperhitungkan faktor waktu konsentrasi serta sifat-sifat daerah tangkapan air.

Debit limpasan metode Haspers dihitung berdasarkan distribusi hujan jam-jaman sehingga dapat menggambarkan perubahan debit terhadap waktu dalam bentuk hidrograf. Metode Haspers merupakan salah satu metode yang sudah lama digunakan dalam menghitung banjir dan menghasilkan nilai yang berbeda-beda tergantung pada DAS yang digunakan, meskipun demikian metode ini masih bisa dipercaya dan digunakan, seperti yang diperoleh dari penelitian sebelumnya.. Persamaan umum yang digunakan adalah : (Manaf ,dkk. 2025)

$$Q_n = \alpha \times A \times q_t \times \beta$$

$$\alpha = \frac{1 + 0,012 \times A^{0,7}}{1 + 0,075 \times A^{0,7}}$$

$$\frac{1}{\beta} = 1 + \frac{tc + (3,7 \times 10^{-0,4 tc})}{tc^2 + 15} \times \frac{A^{0,75}}{12}$$

$$I = \frac{R}{3,6 \times tc}$$

Untuk $Tc < 2$ jam

$$R = \frac{tc \times R24}{tc + 1 - 0,008 (260 - R24)(2 - tc^2)}$$

Untuk $2 \text{ jam} < tc \leq 19 \text{ jam}$

$$R = \frac{tc \times R24}{tc + 1}$$

Untuk $19 \text{ jam} < tc \leq 30 \text{ hari}$

$$R = 0,707 \times R24 \times (tc + 1)^{0,5}$$

Dimana :

α = koefisien pengaliran

β = koefisien reduksi

tc = waktu konsentrasi

qt = kebutuhan debit air total

2.4.2. Penggunaan koefisien aliran Haspers

Koefisien aliran dalam metode Haspers ditentukan berdasarkan karakteristik permukaan, kondisi tanah, intensitas hujan, dan kemiringan lahan. Dengan mempertimbangkan variabilitas lokal, metode Haspers dapat memberikan estimasi debit yang lebih adaptif dibandingkan satu nilai C tunggal seperti di Metode Rasional. Haspers cocok untuk area dengan heterogenitas permukaan dan kondisi drainase kompleks. (Yamin,dkk., 2024)

2.4.3. Asumsi dan batasan

Jika data tutupan lahan, jenis tanah, dan topografi tidak terlalu rinci, maka hasil estimasi bisa tidak akurat. Metode ini kurang tepat digunakan pada area yang sangat beragam atau bila dibutuhkan informasi detail mengenai kondisi spasial dan temporal, seperti distribusi curah hujan, sistem drainase, saluran, dan genangan. Metode ini lebih cocok digunakan untuk estimasi awal atau skenario yang sederhana. Metode ini tidak mempertimbangkan berbagai proses seperti aliran air dalam saluran, infiltrasi ke dalam tanah, atau interaksi kompleks dalam sistem

drainase seperti penahanan air, penyimpanan, dan genangan. Karena beberapa keterbatasan ini, metode Haspers sering kali digabungkan dengan pendekatan lain atau digunakan sebagai metode alternatif awal.(Respatiningrum ,dkk.2021). Hasil perhitungan dengan Metode Haspers hanya memberikan perkiraan debit yang paling besar, sehingga tidak menunjukkan bagaimana debit berubah seiring waktu seperti pada model hidrologi yang bergerak.

2.5. PEMODELAN SWMM (STORM WATER MANAGEMENT MODEL)

2.5.1. Komponen SWMM

EPA SWMM adalah perangkat lunak yang digunakan untuk memodelkan hubungan antara air dan aliran di Indonesia. Perangkat lunak ini digunakan untuk menganalisis sistem saluran dan pipa di kota. SWMM mampu mensimulasikan air yang mengalir di permukaan, air yang masuk ke tanah, air yang tergenang, serta aliran dalam saluran dan pipa. Simulasi ini dilakukan dengan memanfaatkan data lokasi dan data tentang air. Adapun beberapa kekurangan dan kelebihan terhadap SWMM :(Helen Gianditha Wayangkau & Raymond Feril Hattu, 2025)

1. Memungkinkan analisis tentang aliran air dan sifat air secara lebih detail dan realistis.
2. Dapat menangani variasi spasial (impervious vs pervious, topografi, jaringan drainase) dan temporal (intensitas hujan, durasi, return period).
3. Dapat mengenali titik-titik pemendapan air atau saluran yang kurang efektif, sehingga berguna untuk mengevaluasi kembali atau merancang ulang sistem pembuangan air.

Tabel 2.10 Koefisien Nilai C dan CN

No	Kondisi	C	CN
1.	Resapan Tinggi	0,2-0,3	60-70
2	Campuran	0,3-0,5	70-85
3	Permukiman	0,5-0,7	80-90
4.	Kedap (aspal/beton)	0,7-0,9	90-98

2.5.2. Subcatchment, imperviousness, slope

Dalam SWMM, area dibagi menjadi subcatchment atau sub-daerah tangkapan dengan beberapa parameter seperti luas total, persentase permukaan yang tidak menyerap air (impervious) dan menyerap air (pervious), kemiringan, serta jenis tanah. Faktor utama yang menentukan jumlah air hujan yang langsung menjadi aliran permukaan adalah tingkat ketidakmenyerapan (imperviousness). Selain itu, kemiringan dan bentuk permukaan (topografi)

memengaruhi kecepatan aliran air dan waktu yang dibutuhkan hujan untuk berkumpul menjadi aliran.(Ananda,dkk.2025).Parameter subcatchment, imperviousness, dan slope merupakan faktor utama yang memengaruhi terbentuknya limpasan dalam SWMM, sehingga perlu ditentukan sesuai dengan kondisi di lapangan.

2.5.3. Routing aliran

Setelah limpasan dari subcatchment dihitung, SWMM melakukan routing aliran melalui jaringan drainase (saluran terbuka, pipa, inlet, outlet), mempertimbangkan kapasitas, kemiringan, dan kemungkinan genangan jika saluran tidak mampu menampung debit. Dengan demikian SWMM mampu menunjukkan titik rawan genangan dan kebutuhan perbaikan drainase.(Fitriani,dkk.2024)

2.5.4. Input data (curah hujan, karakteristik lahan)

Input utama yang digunakan oleh SWMM mencakup data curah hujan atau hyetograph yang mencakup intensitas dan durasi hujan, peta penggunaan lahan atau topografi, data jaringan drainase seperti saluran dan pipa beserta kondisi inlet dan outlet, serta parameter tanah dan infiltrasi jika tersedia. Gabungan antara data spasial dan temporal ini menjadikan SWMM sesuai untuk melakukan studi drainase di area perkotaan yang kompleks(Bagus Suryatmaja,dkk, 2025). Input utama dalam penelitian ini adalah data hujan yang telah diproses dari data satelit NASA Giovanni, lalu diatur menjadi grafik hujan atau hyetograph sebagai masukan untuk simulasi.

2.5.5. Hidrograf debit limpasan

Hidrograf merupakan grafik yang menunjukkan perubahan debit aliran terhadap waktu sebagai respon daerah tangkapan terhadap hujan. Dalam analisis hidrologi, hidrograf digunakan untuk menggambarkan proses transformasi hujan menjadi aliran atau debit limpasan. Harsanto (2021) menjelaskan bahwa pembentukan hidrograf dilakukan melalui proses alih ragam hujan menjadi aliran atau debit, terutama ketika data debit terukur sulit diperoleh.(Yesika Amelia Tani,dkk.(2021)). Hidrograf adalah grafik yang menunjukkan hubungan antara jumlah air yang mengalir dan waktu. Bentuk aliran air ditentukan oleh jenis hujan, ukuran wilayah penangkapan air, kemiringan tanah, cara tanah digunakan, serta kemampuan sistem saluran air.

Di dalam hidrograf terdapat beberapa parameter penting, antara lain debit puncak, waktu sampai mencapai puncak, dan waktu resesi. Hidrograf digunakan untuk mengukur bagaimana daerah tangkapan air merespons saat hujan turun dan membandingkan hasil perhitungan dari

berbagai metode yang digunakan. Hidrograf debit digunakan untuk menunjukkan bagaimana debit air berubah seiring waktu dan berguna untuk mengetahui debit tertinggi serta kapan debit tertinggi tersebut terjadi dalam sistem drainase.

2.6. HUBUNGAN CURAH HUJAN DAN DEBIT LIMPASAN

Curah hujan adalah faktor utama yang memengaruhi terjadinya aliran permukaan dan besarnya debit air dalam sistem saluran drainase. Semakin tinggi hujan yang turun, semakin banyak air yang mengalir di atas permukaan tanah dan masuk ke dalam sistem saluran drainase. Namun, volume air yang tergenang tidak hanya ditentukan oleh tingkat hujan, tetapi juga dipengaruhi oleh luas area yang menampung air, tingkat aliran air, jenis penggunaan lahan, kemiringan permukaan tanah, serta kemampuan tanah menyerap air. Di wilayah perkotaan yang banyak terdiri dari permukaan yang tidak menyerap air, sebagian besar air hujan akan berubah menjadi air permukaan yang mengalir, sehingga meningkatkan volume air yang masuk ke saluran drainase. Oleh karena itu, hubungan antara curah hujan dan debit limpasan digunakan sebagai acuan dalam merencanakan kapasitas saluran drainase serta menilai kemungkinan terjadinya genangan dan banjir di perkotaan (Rahman dkk., 2024).

Dalam studi tentang air, cara hubungan antara tingkat hujan dan jumlah air yang mengalir digunakan sebagai acuan dalam menghitung metode Rasional, metode Haspers, atau pemodelan SWMM. Ketiga metode tersebut semuanya memakai data hujan sebagai bahan utama, tetapi cara mereka menggambarkan bagaimana daerah tangkapan bereaksi terhadap hujan berbeda-beda. Metode Rasional dan Haspers menghasilkan debit puncak berdasarkan beberapa parameter hidrologi, sedangkan SWMM bisa mensimulasikan perubahan debit seiring waktu dalam bentuk grafik aliran air.

2.7. STUDI TERDAHULU

2.7.1. Perbandingan metode empiris dengan model hidrologi

Beberapa penelitian di Indonesia sudah memeriksa sistem drainase kota menggunakan SWMM dan menunjukkan bahwa saluran yang ada tidak selalu bisa menampung air hujan saat terjadi hujan dengan tingkat kejadian tertentu. Misalnya, di Kelurahan Blimbing, Kota Malang, dengan menggunakan SWMM ditemukan bahwa dari 170 saluran drainase yang ada, ada 10 saluran yang tidak mampu menampung volume air hujan yang dirancang untuk tingkat kejadian 5 tahun. (Pramesti, dkk., 2023)

2.7.2. Penelitian relevan dengan metode Rasional, Haspers, dan SWMM

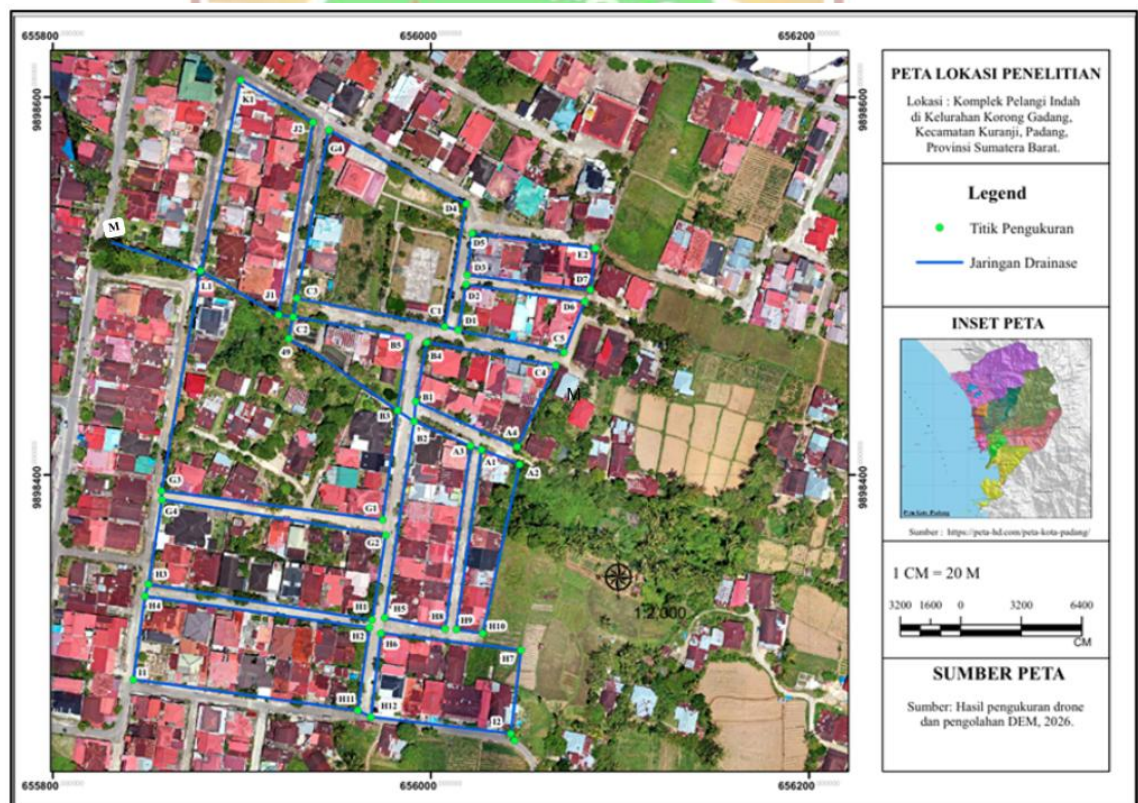
Sementara banyak studi menggunakan SWMM, literatur yang secara eksplisit membandingkan Metode Rasional atau metode empiris tradisional dengan SWMM di kawasan perkotaan relatif terbatas — menandakan perlunya studi perbandingan metode seperti dalam skripsi ini. Namun, studi empiris tentang limpasan permukaan dan koefisien limpasan memberikan dasar bahwa nilai C sangat dipengaruhi kondisi permukaan (jenis material, kemiringan, intensitas hujan), sehingga simplifikasi metode Rasional bisa menyebabkan estimasi debit yang jauh dari realitas di kawasan urban dengan banyak impervious. Dalam penerapan drainase berkelanjutan (ekodrainase) di area perkotaan, model SWMM digunakan untuk mengevaluasi sistem drainase yang ada dan menentukan solusi alternatif yang diperlukan — menunjukkan kemampuan SWMM dalam mengatasi kompleksitas aliran air permukaan dan sistem drainase di perkotaan secara efektif.



BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. WILAYAH PENELITIAN

Kawasan drainase permukiman Komplek Pelangi Indah Kelurahan Korong Gadang, Kecamatan Kuranji yang menjadi pusat penelitian terletak di Sungai Banda Kuranji. Titik pengamatan berada pada koordinat $0^{\circ}55'07.58''\text{S}$ dan $100^{\circ}24'07.92''\text{E}$. Lokasi ini dipilih sebagai area studi untuk mengevaluasi kinerja sistem drainase, meskipun hingga saat ini tidak pernah terjadi luapan atau limpasan yang menyebabkan genangan signifikan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kapasitas saluran drainase masih mampu menampung debit aliran permukaan. Oleh karena itu, penelitian ini lebih difokuskan pada aspek mitigasi dan evaluasi teknis guna memastikan sistem drainase tetap berfungsi optimal, terutama dengan meningkatnya luas permukaan kedap air di sekitar kawasan pasar dan permukiman.



Gambar 3. 1 Lokasi Penelitian Komplek Pelangi Indah



Gambar 3. 2 Lokasi Penelitian Komplek Pelangi Indah



Gambar 3. 3 Lokasi Penelitian Komplek Pelangi Indah



Gambar 3. 4 Lokasi Penelitian Komplek Pelangi Indah

3.2. DATA DAN SUMBER DATA

3.2.1. Data primer

Data primer dalam penelitian ini didapat melalui survei di Lokasi Komplek Pelangi Indah, Kelurahan Korong Gadang, Kecamatan Kuranji. Peneliti mengamati kondisi saluran drainase, mencatat lokasi genangan, memperhatikan jenis tutupan lahan yang ada, serta mengobservasi langsung saat hujan turun atau masih ada genangan. Informasi ini digunakan untuk mengetahui kemampuan saluran, titik rawan banjir, jenis permukaan tanah, dan kondisi fisik wilayah. Informasi ini selanjutnya dibandingkan dengan hasil perhitungan debit air berlebih menggunakan metode Rasional, Haspers, atau output dari model SWMM.

3.2.2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang berasal dari sumber-sumber yang sudah ada sebelumnya, seperti laporan penelitian, artikel jurnal, atau database pemerintah. Data curah hujan diperoleh dari NASA GIOVANNI.

- (1) Curah hujan harian/jam-jaman (*Realtime*)

Website NASA GEOVANNI digunakan untuk mendapatkan data curah hujan secara *realtime*.

(2) Data IDF (Intensity Duration Frequency)

Data IDF (Intensitas, Durasi, Frekuensi) adalah kurva yang menunjukkan hubungan antara besarnya curah hujan, durasi hujan, dan interval waktu ulang tertentu. Data ini diperlukan untuk mendapatkan nilai intensitas hujan yang digunakan dalam metode Rasional maupun Haspers. Di daerah tropis, kurva IDF sangat penting dalam memperkirakan hujan rencana karena curah hujan cenderung tinggi dan berlangsung dalam waktu singkat (Hakim, 2022). Data intensitas hujan diperoleh dari hasil perhitungan berdasarkan curah hujan rencana dan waktu konsentrasi menggunakan persamaan Mononobe.

(3) Data Catchment Area

Software Google Earth Pro pada penelitian ini digunakan untuk mendapatkan data catchment area.

(4) Data DEM/ kontur

Data DEM atau kontur digunakan sebagai dasar untuk menentukan kemiringan tanah, arah aliran air, dan pembagian sub-catchment dalam pemodelan SWMM. Data DEM membantu mengidentifikasi ketinggian dan bentuk permukaan tanah sehingga aliran di permukaan tanah bisa dianalisis secara spasial (Setiawan, 2022).

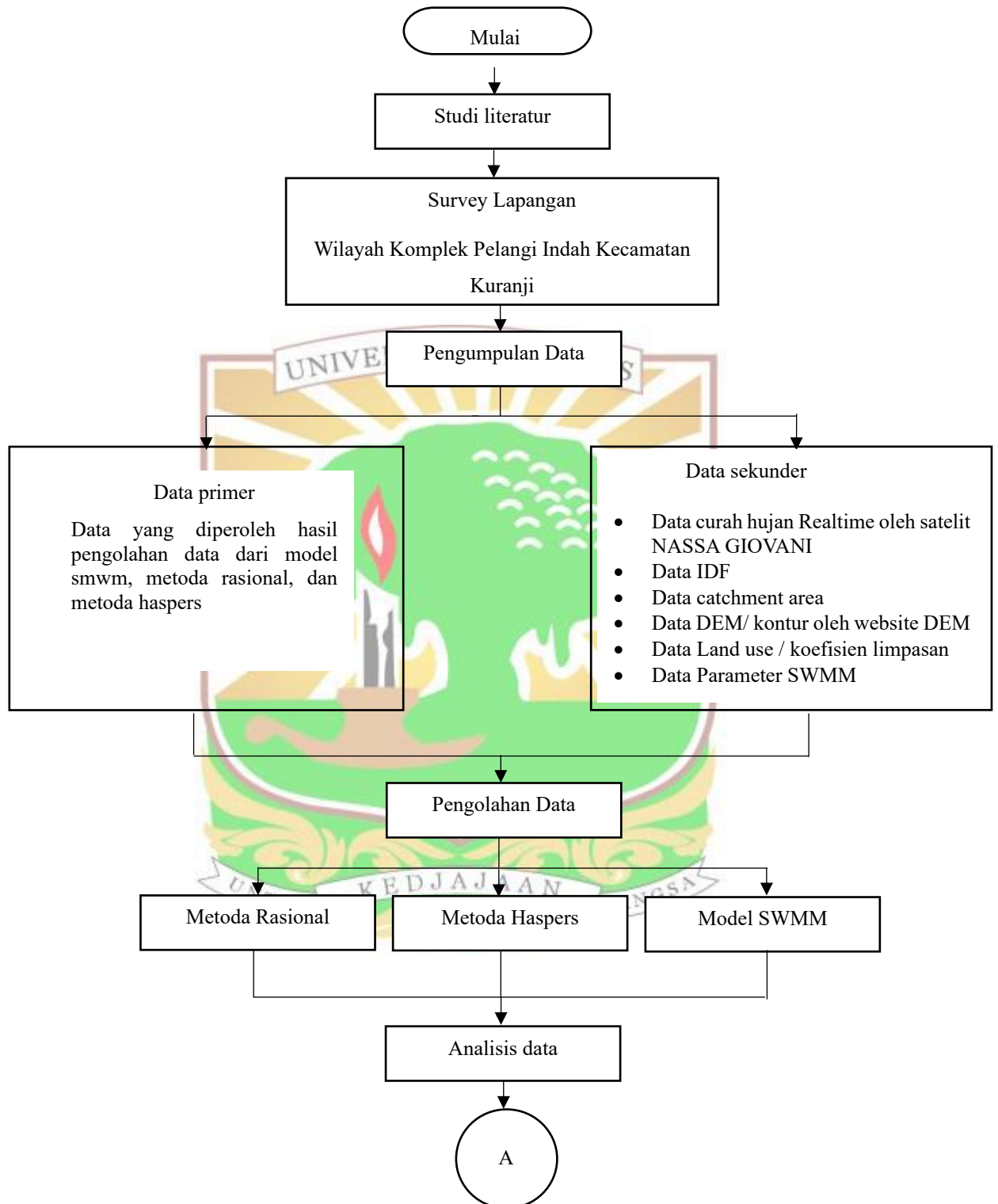
(5) Land use & koefisien limpasan

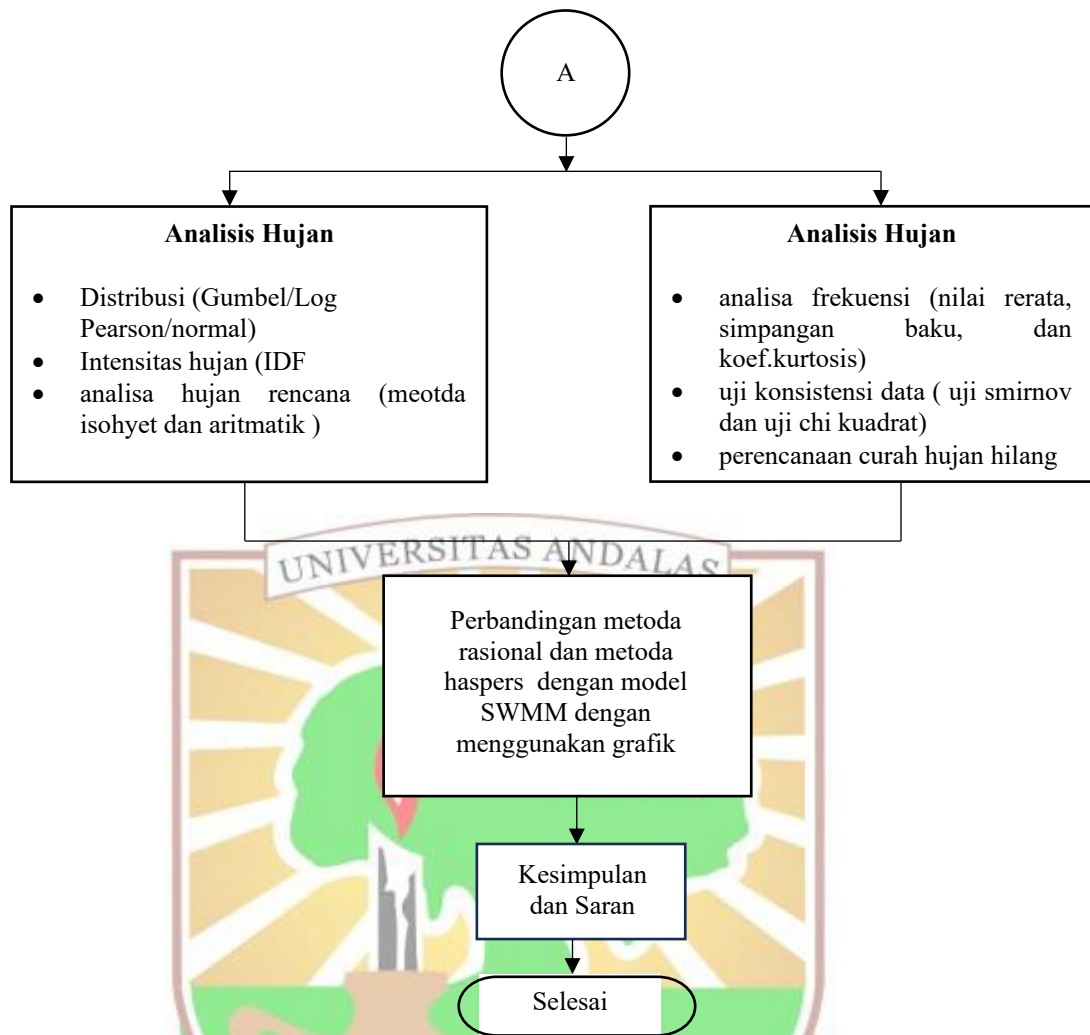
Data penggunaan lahan digunakan untuk menentukan nilai koefisien limpasan yang bergantung pada jenis permukaan lahan, seperti permukiman, jalan, taman, atau area lain yang tidak menyerap air. Koefisien limpasan ini menjadi parameter penting dalam metode Rasional dan Haspers karena memengaruhi langsung besarnya debit air yang tergenang. Semakin tinggi tingkat kedap air suatu daerah, maka semakin besar pula jumlah air permukaan yang terlepas. (Rahman & Widodo, 2021).

(6) Parameter input SWMM

Parameter input dalam SWMM seperti nilai imperviousness, slope, nilai kekasaran Manning (N-value), karakteristik subcatchment, dan curah hujan intensitas desain (IDF) digunakan untuk membuat simulasi aliran air secara dinamis. Parameter tersebut membantu SWMM dalam memberikan hasil debit, hidrograf, dan volume aliran yang lebih realistis dibandingkan metode analitis (Hasanah, 2023; Syahputra, 2024)

3.3. RANCANGAN PENELITIAN





3.4. CURAH HUJAN

Analisis curah hujan dilakukan dengan menentukan jenis distribusi probabilitas hujan yang paling tepat, seperti Gumbel atau Log-Pearson III, untuk mengetahui jumlah hujan yang mungkin terjadi dalam rentang waktu tertentu (Siregar & Malik, 2020). Intensitas hujan dihitung dengan menggunakan kurva IDF yang disesuaikan berdasarkan lamanya hujan dan periode ulang, sehingga hasilnya bisa digunakan untuk menghitung debit air yang terlepas (Hakim, 2022). Pemilihan periode ulang dilakukan dengan mempertimbangkan tingkat risiko banjir di daerah perkotaan, sehingga hasil perhitungan bisa mencerminkan kondisi banjir secara lebih realistis (Ardana, 2024). Curah hujan rencana kemudian didistribusikan menjadi hujan jam-jaman dalam bentuk hyetograph untuk digunakan dalam analisis debit limpasan dan simulasi SWMM.

3.5. PERHITUNGAN DEBIT LIMPASAN

3.5.1. Metode Rasional

Perhitungan debit limpasan dengan metode Rasional dilakukan dengan menentukan koefisien limpasan berdasarkan jenis penggunaan lahan, menghitung waktu konsentrasi, serta menentukan intensitas hujan sesuai dengan durasi limpasan (Utami & Pratama, 2021). Rumus debit dihitung menggunakan persamaan $Q = 0,278 \times C \times I \times A$, yang merupakan pendekatan yang sederhana dan sering digunakan dalam analisis drainase di area perkotaan (Aziz, 2023). Perhitungan debit dilakukan terhadap distribusi waktu hujan sehingga menghasilkan hidrograf debit limpasan.

3.5.2. Metode Haspers

Perhitungan menggunakan metode Haspers dilakukan dengan menentukan koefisien limpasan Haspers serta parameter karakteristik aliran permukaan untuk mendapatkan debit puncak. Metode ini dikembangkan sebagai alternatif dalam menghitung limpasan di daerah perkotaan, sehingga dapat menghasilkan nilai debit yang berbeda dibandingkan dengan pendekatan Rasional (Manurung, 2022). Perhitungan debit dilakukan terhadap distribusi waktu hujan sehingga menghasilkan hidrograf debit limpasan.

3.5.3. Pemodelan Menggunakan SWMM

Pemodelan SWMM dilakukan dengan membagi area menjadi subcatchment berdasarkan batas-batas aliran air, kemudian memasukkan parameter seperti kemiringan permukaan, tingkat kedap air, dan nilai kekasaran permukaan. Setelah itu, simulasi debit air yang meluap dilakukan berdasarkan curah hujan yang direncanakan (Syahputra, 2024). Hasil dari pemodelan tersebut memberikan informasi tentang debit air puncak dan volume air yang meluap secara lebih lengkap dibandingkan dengan metode manual. Hasil simulasi SWMM yang digunakan dalam penelitian ini mencakup debit puncak dari air yang mengalir, kurva hidrograf aliran, debit di dalam saluran, serta kondisi kapasitas saluran tersebut. Hasil simulasi tersebut kemudian dibandingkan dengan debit limpasan yang diperoleh dari Metode Rasional dan Metode Haspers.

3.6. TEKNIK PERBANDINGAN

Perbandingan hasil dilakukan dengan menampilkan grafik debit puncak, volume air yang mengalir, dan tabel hasil perhitungan dari berbagai metode. Perbedaan debit dianalisis dalam bentuk persentase untuk mengetahui tingkat perbedaan masing-masing metode (Riyadi, 2023). Penilaian dilakukan berdasarkan sejauh mana nilai tersebut cocok dengan kondisi daerah perkotaan, sehingga dapat ditentukan metode mana yang paling sesuai digunakan sebagai acuan dalam perencanaan sistem drainase (Sembiring, 2025). Perbandingan dilakukan dengan melihat nilai debit puncak yang didapatkan dari ketiga metode yaitu Metode Rasional, Metode Haspers, dan simulasi SWMM untuk masing-masing periode ulang 2, 5, dan 10 tahun. Hasil perbandingan digunakan untuk memahami sejauh mana karakteristik hasil dari masing-masing metode sesuai atau berbeda.



BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. KONDISI LOKASI PENELITIAN

Komplek Pelangi Indah adalah area permukiman yang terletak di Kecamatan Kuranji, Kota Padang. Wilayah ini masuk ke dalam area yang sedang berkembang, terutama terdapat banyak bangunan rumah permanen, jaringan jalan di lingkungan sekitar, serta fasilitas pendukung permukiman.

Secara umum, luas wilayah penelitian termasuk dalam kategori daerah tangkapan yang kecil, sehingga cocok untuk dianalisis dengan menggunakan pendekatan Metode Rasional dalam menghitung debit air yang mengalir. Dari segi penggunaan lahan, wilayah ini kebanyakan terdiri dari permukaan yang tidak menyerap air, seperti atap bangunan, jalan beraspal, dan halaman yang dipaving. Badan air yang menerima air dari sistem saluran drainase daerah ini adalah Sungai Batang Kuranji, yang merupakan salah satu sungai utama di Kota Padang. Namun, ketika hujan deras turun dan volume air sungai meningkat, terdapat kemungkinan terjadinya aliran balik (backwater) yang bisa mengganggu sistem drainase di sekitar wilayah permukiman (Putra,dkk,2025).

Oleh karena itu, perlu dilakukan pengevaluasian kemampuan saluran dalam menampung debit yang direncanakan agar sistem drainase dapat memenuhi kebutuhan pengaliran air sesuai dengan kala ulang yang ditentukan. Hasil survei di lapangan menunjukkan bahwa sistem saluran air di Komplek Pelangi Indah masih berjalan dengan baik dan tidak ada genangan air yang terlihat meskipun hujan turun normal. Namun, penilaian terhadap kapasitas saluran tetap diperlukan agar kita bisa mengetahui seberapa besar kemampuan saluran dalam menampung air yang mengalir karena hujan yang direncanakan.



Gambar 4. 1 Lokasi Penelitian

4.2. PENGAMBILAN DATA PENELITIAN

Lokasi Penelitian dilakukan di area Kecamatan Kuranji, Kota Padang, yang termasuk dalam sistem drainase kota yang semakin berkembang karena pertumbuhan permukiman dan kegiatan perdagangan. Peningkatan area yang sudah dibangun membuat permukaan yang tidak menyerap air semakin banyak, sehingga saat hujan deras terjadi, potensi air meluap di permukaan semakin besar. Pengambilan data di lapangan dilakukan agar dapat mengetahui kondisi nyata dari sistem drainase di lokasi penelitian tersebut. Data yang diperoleh meliputi tinggi permukaan, ukuran saluran, kondisi fisik saluran, serta batas area penangkapan. Data tersebut menjadi dasar untuk menganalisis hidrologi dan membuat model SWMM, sehingga hasil yang didapatkan bisa menggambarkan kondisi lapangan dengan lebih benar dan mencerminkan keadaan sebenarnya.

4.2.1. Pengukuran Data Elevasi Titik Pengamatan

Pengukuran dilakukan langsung di tempat dengan menggunakan alat seperti waterpass agar mendapatkan nilai ketinggian absolut di setiap titik yang diamati. Titik pengamatan mencakup dasar saluran, bibir saluran, dan permukaan jalan di sekitar area penelitian. Data tersebut kemudian diolah berdasarkan acuan data yang digunakan sebagai dasar pembuatan peta wilayah tersebut.

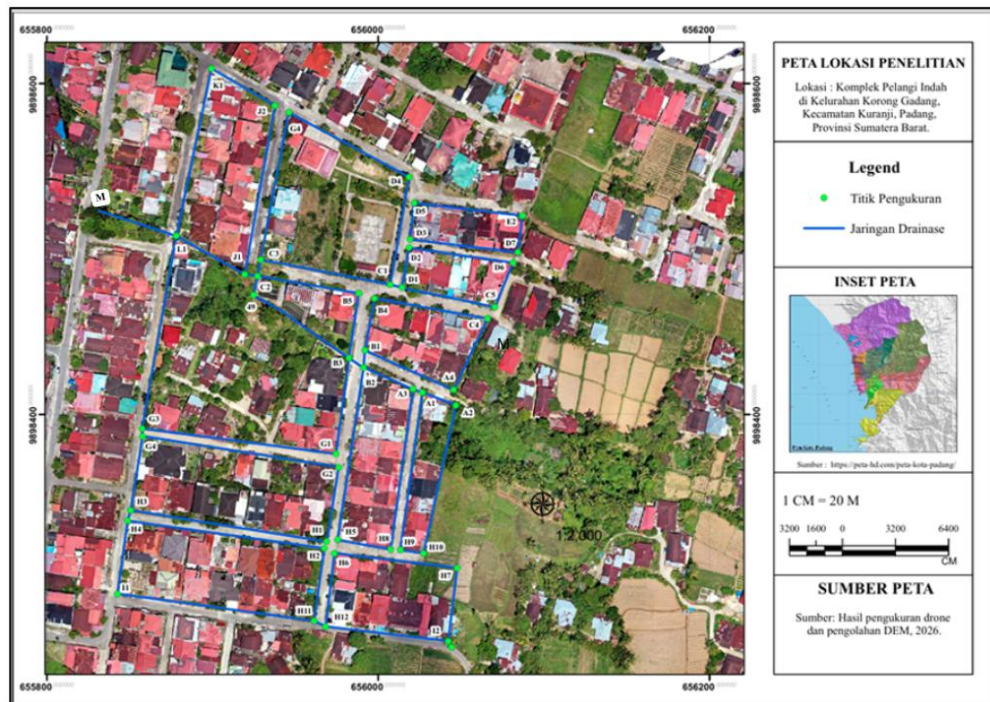


Gambar 4. 2 Pengambilan data elevasi



Gambar 4. 3 Lokasi pengukuran data elevasi drainase

Data elevasi digunakan untuk mengetahui arah aliran air dalam sistem drainase. Perbedaan tinggi antara titik-titik tersebut menunjukkan arah aliran yang cenderung menuju titik yang lebih rendah. Informasi tinggi permukaan ini sangat penting dalam pembuatan model SWMM karena memengaruhi kemiringan saluran, kecepatan aliran air, serta cara debit air dialirkan ke titik pengeluaran.



Gambar 4. 4 Catchment dan Peta Lokasi Penelitian

Daerah tangkapan adalah wilayah yang memberikan kontribusi terhadap terbentuknya air yang mengalir di permukaan menuju sistem saluran drainase yang sedang diteliti. Penentuan area tangkapan air dilakukan dengan memperhatikan kondisi bentuk permukaan tanah, arah aliran air di permukaan, serta sistem saluran drainase yang sudah ada. Luas area penangkapan yang tidak terlalu besar menyebabkan volume air yang mengalir juga tidak terlalu banyak. Kondisi ini menjadi salah satu faktor yang memengaruhi besarnya debit limpasan yang dihasilkan dalam Metode Rasional, Metode Haspers, serta simulasi SWMM.



Gambar 4. 5 Pengukuran ukuran drainase

Pengambilan titik pengamatan elevasi dilakukan di beberapa tempat yang tersebar di sepanjang saluran drainase berdasarkan kondisi yang ada di lapangan. Penentuan titik-titik tersebut disesuaikan dengan perubahan arah aliran air, tempat saluran bertemu (junction), dan perbedaan tinggi rendah dasar saluran. Titik pengamatan ini bertujuan agar bisa mendapatkan gambaran yang jelas tentang bentuk saluran drainase secara utuh dan tepat, berikut salah satu pengambilan data di satu titik:

Tabel 4. 1 Perhitungan data elevasi Per Titik

No.	Titik	Elevasi	No.	Titik	Elevasi	No.	Titik	Elevasi
1	B	33.977	21	D2	34.740	41	H4	35.860
2	A1	33.57	22	D3	34.793	42	H5	36.775
3	A2	33.963	23	D4	35.340	43	H6	36.889
4	A3	33.493	24	D5	35.160	44	H7	37.673
5	A4	34.024	25	D6	35.820	45	H8	37.665
6	A	34.284	26	D7	35.860	46	H9	37.759
7	B1	33.355	27	E	35.654	47	H10	37.889
8	B2	32.925	28	E1	35.844	48	H11	36.263
9	B3	32.284	29	E2	36.390	49	H12	36.833
10	B4	34.249	30	E3	36.434	50	I	37.275
11	B5	33.925	31	F	35.834	51	I1	35.88
12	C	34.500	32	F1	37.119	52	I2	37.400
13	D	35.759	33	B	33.977	53	J1	32.18
14	C1	32.214	34	G1	34.998	54	J2	33.483
15	C2	32.300	35	G2	35.240	55	J3	33.613
16	C3	32.803	36	G3	34.789	56	K	34.834
17	C4	34.421	37	G4	34.460	57	K1	34.319
18	C5	34.970	38	H1	36.295	58	K2	34.197
19	J	34.284	39	H2	36.210	59	L	33.819
20	D1	34.545	40	H3	35.790	60	L1	31.819
						61	M	32,8

Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Drainase

NO	titik	Ukuran (cm)	
1	A	B	50
		H	50
2	B	B	50
		H	45
3	C	B	60
		H	50
4	D	B	50
		H	50
5	E	B	50
		H	40
6	F	B	70
		H	60
7	G	B	60
		H	35
8	H	B	60
		H	60
9	I	B	60
		H	40
10	J	B	60
		H	40
11	K	B	60
		H	40
12	L	B	200
		H	100
13	M	B	200
		H	100

4.3. ANALISA HIDROLOGI

4.3.1. Curah Hujan

Data curah hujan yang digunakan dalam penelitian ini didapat dari NASA Giovanni berupa data harian dalam satuan mm per hari pada periode tahun 2014 hingga 2025. Data tersebut adalah hasil pengukuran curah hujan menggunakan penginderaan jauh, lalu diproses untuk digunakan dalam analisis hidrologi. Pengolahan data dilakukan dengan mengambil nilai curah hujan tertinggi setiap tahun sebagai dasar untuk menganalisis frekuensinya.

Tabel 4.3 1 Curah Hujan Rencana Maksimum

Parameter Statistik Analisis Frekuensi Tinggi Curah Hujan Maksimum Tahun 2014 - 2025					
Tahun	Curah hujan (Xi)	(Xi - Xr)	(Xi - Xr) ²	(Xi - Xr) ³	(Xi - Xr) ⁴
2014	65,35	23,55	554,65	13062,46	307633,42
2015	67,39	25,59	654,59	16747,84	428494,48
2016	92,89	51,09	2609,89	133331,28	6811499,81
2017	85,29	43,49	1891,63	82272,73	3578281,76
2018	94,22	52,42	2747,88	144044,58	7550850,87
2019	13,12	-28,68	822,40	-23584,50	676346,09
2020	17,83	-23,97	574,80	-13780,81	330394,68
2021	10,45	-31,35	982,51	-30796,93	965331,84
2022	14,61	-27,19	739,07	-20092,36	546228,86
2023	10,51	-31,29	978,76	-30620,42	957961,89
2024	15,12	-26,68	712,07	-19001,35	507044,34
2025	14,82	-26,98	728,08	-19645,80	530102,17
Total	501,60	0,00	13996,34	231936,72	23190170,20

4.3.2. Analisa Frekuensi

Analisis frekuensi dilakukan untuk menentukan besarnya curah hujan rencana berdasarkan periode ulang tertentu. Analisis frekuensi dilakukan dalam penentuan jenis distribusi yang digunakan dalam perhitungan curah hujan rencana (Xr).

Dimana, dalam analisis frekuensi ini dilakukan dengan menentukan nilai koefisien variasi (Cv), koefisien kemencengan/skewness (Cs), dan koefisien kurtosis (Ck). Dalam menentukan ketiga nilai tersebut, penulis menggunakan pengujian dispersi data curah hujan yang telah didapatkan pada Tabel 4.3.2 di bawah untuk memudahkan dalam perhitungan analisis frekuensi. Pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 4.3.3 di bawah.

Tabel 4.3 2 Curah Hujan maksimum 2014-2025 bersumber SWMM Das Kuranji

NO	Tahun Pengamatan	Tinggi Curah Hujan																								Curah Hujan Rata-Rata
		Jan		Feb		Mar		Apr		Mei		Jun		Jul		Agus		Sep		Okt		Nov		Des		
		1 - 15	16 - 31	1 - 15	16 - 28	1 - 15	16 - 31	1 - 15	16 - 30	1 - 15	16 - 31	1 - 15	16 - 30	1 - 15	16 - 31	1 - 15	16 - 31	1 - 15	16 - 30	1 - 15	16 - 31	1 - 15	16 - 30	1 - 15	16 - 31	
1	2014	26,81	4,27	21,19	80,54	20,79	74,66	36,07	33,38	20,08	42,15	24,68	24,20	21,58	3,69	17,48	74,65	20,61	29,33	27,87	45,54	37,02	51,82	12,20	33,62	65,35
2	2015	20,32	63,95	38,03	60,28	29,63	32,95	16,86	67,81	12,23	15,32	65,22	0,00	35,72	4,58	84,93	5,22	17,55	72,06	0,79	7,01	49,95	42,28	59,94	6,01	67,39
3	2016	37,84	39,65	34,65	67,86	37,75	142,02	40,09	31,36	47,06	34,84	41,54	153,20	13,91	30,00	54,73	54,50	36,23	18,59	31,93	23,23	28,93	25,07	39,75	49,88	92,89
4	2017	64,59	48,37	29,72	55,58	30,46	80,68	55,47	35,17	53,82	69,32	21,11	20,64	24,03	13,05	27,59	32,35	18,63	65,54	42,77	8,50	42,14	71,29	46,59	66,10	85,29
5	2018	38,80	14,57	78,44	100,54	57,98	13,62	29,81	42,48	71,34	88,43	13,73	34,34	23,13	16,23	32,57	33,43	31,16	85,70	27,49	47,40	118,29	46,06	57,20	27,88	94,22
6	2019	1,96	3,43	6,94	4,66	1,95	1,58	19,64	7,54	1,47	10,71	35,57	11,17	3,33	4,17	0,88	1,12	3,51	1,02	0,52	4,74	2,01	4,34	14,87	10,35	13,12
7	2020	31,28	2,14	3,17	8,15	26,85	7,27	3,88	14,79	12,08	17,71	5,34	0,34	1,13	8,22	15,08	3,39	14,89	10,41	8,52	6,72	1,93	1,32	1,59	7,69	17,83
8	2021	4,99	10,24	2,64	0,08	2,52	1,61	0,71	6,04	7,88	1,33	6,78	2,41	5,24	1,45	6,11	14,26	4,30	6,65	2,10	11,86	9,45	5,71	2,32	8,77	10,45
9	2022	31,17	11,94	4,21	5,37	1,74	4,59	2,99	23,76	9,54	5,58	3,31	1,81	6,71	13,88	1,44	1,09	2,03	11,96	6,17	7,93	3,74	1,88	3,77	8,77	14,61
10	2023	5,52	12,18	2,06	0,99	0,06	4,98	2,42	7,47	5,95	3,12	0,47	3,17	4,09	1,03	2,25	1,19	0,42	1,71	3,98	2,28	14,81	9,67	11,27	25,08	10,51
11	2024	16,26	13,17	7,59	7,79	21,16	6,82	0,23	0,18	3,01	11,83	5,39	2,07	13,28	5,93	3,12	5,43	7,06	8,11	1,36	7,85	10,50	14,94	1,82	9,87	15,12
12	2025	8,27	6,70	14,02	7,31	2,38	1,61	1,00	2,42	0,52	2,19	12,12	5,59	19,14	9,03	10,00	2,45	7,49	9,59	1,78	2,62	15,94	13,75	7,88	5,01	14,82
Rata - rata		28,78	23,06	24,27	39,92	23,33	37,24	20,92	27,24	24,50	30,25	23,52	25,89	17,13	18,92	26,52	22,91	16,39	32,07	15,53	17,57	33,47	28,72	25,92	25,85	50,16
		25,92		32,09		30,28		24,08		27,38		24,71		14,03		34,71		24,23		16,55		31,10		25,89		41,80

Tabel 4.3 3 Parameter Statistik Analisis Frekuensi Tinggi Curah Hujan Maksimum Tahun 2014 – 2025

Parameter Statistik Analisis Frekuensi Tinggi Curah Hujan Maksimum Tahun 2014 - 2025				
Tahun	Curah hujan (Xi)	(Xi - Xr)	(Xi - Xr) ²	(Xi - Xr) ³
2014	65,35	23,55	554,65	13062,46
2015	67,39	25,59	654,59	16747,84
2016	92,89	51,09	2609,89	133331,28
2017	85,29	43,49	1891,63	82272,73
2018	94,22	52,42	2747,88	144044,58
2019	13,12	-28,68	822,40	-23584,50
2020	17,83	-23,97	574,80	-13780,81
2021	10,45	-31,35	982,51	-30796,93
2022	14,61	-27,19	739,07	-20092,36
2023	10,51	-31,29	978,76	-30620,42
2024	15,12	-26,68	712,07	-19001,35
2025	14,82	-26,98	728,08	-19645,80
Total	501,60	0,00	13996,34	231936,72

Pemilihan distribusi dilakukan untuk menentukan model distribusi probabilitas yang paling sesuai dengan data curah hujan. Distribusi yang diuji dalam penelitian ini meliputi:

- Distribusi Gumbel
- Distribusi Log Pearson Tipe III

Tabel 4.3 4 Pemilihan Distribusi

Perhitungan Parameter Penentuan Metode Distribusi Probabilitas		
Uraian	Keterangan	Perhitungan
Rata - rata		41,80
Standar deviasi	$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}}$	34,15
Koefisien variasi	$Cv = \frac{S_d}{\bar{X}}$	0,82
koefisien kemencengan		
n	Untuk populasi : $C_s = \frac{\alpha}{\sigma^3}$	12,00
a	Untuk sampel : $C_s = \frac{a}{S_d^3}$	25302,19
Cs	$\alpha = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^3$ $a = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3$	0,64
Koefisien kurtosis		
n		15,00
Ck	$C_k = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4}{S_d^4}$	1,14

syarat		
Normal	Cs = 0 Ck = 3	TIDAK MEMENUHI TIDAK MEMENUHI
Log normal	Cs = 3Cv + Cv ² = 3 Ck = 5.383	TIDAK MEMENUHI TIDAK MEMENUHI
Gumbel tipe I	Cs ≤ 1,1396 Ck ≤ 5,4002	MEMENUHI MEMENUHI
Log person tipe III	Cs ≠ 0	MEMENUHI

Pemilihan distribusi didasarkan pada hasil uji kesesuaian data menggunakan metode statistik. Berdasarkan hasil pengujian kesesuaian distribusi dengan metode Smirnov-Kolmogorov dan Chi-Square, distribusi Log Pearson Tipe III dan Gumbel menunjukkan hasil yang tidak seragam, yaitu hanya lulus uji Smirnov-Kolmogorov tetapi tidak lulus uji Chi-Square.

Tabel 4.3 5 Perhitungan Uji Chi-Square Pada Logperson II

No	Nilai Batas Tiap Kelas			Jumlah Data (Of)	Jumlah Nilai Teoritis (E)	Of-E	(Of-E) ²	(Of-E) ² /E
1	~	> x >	59,53	4,00	2,40	1,60	2,56	1,07
2	59,53	> x >	40,41	1,00	2,40	-1,40	1,96	0,82
3	40,41	> x >	25,48	0,00	2,40	-2,40	5,76	2,40
4	25,48	> x >	15,78	2,00	2,40	-0,40	0,16	0,07
5	15,78	> x >	0,00	5,00	2,40	2,60	6,76	2,82
Jumlah				12,00	12,00	0,00	17,20	7,17

X^2 < X^2_{Cr}
 7,17 < 5,99 → **TIDAK MEMENUHI**

Tabel 4.3 6 Perhitungan Uji Chi-Square Pada Gumbel

No	Nilai Batas Tiap Kelas			Jumlah Data (Of)	Jumlah Nilai Teoritis (E)	Of-E	(Of-E) ²	(Of-E) ² /E
1	~	> x >	80,86	3,00	2,40	0,60	0,36	0,15
2	80,86	> x >	48,66	2,00	2,40	-0,40	0,16	0,07
3	48,66	> x >	25,95	0,00	2,40	-2,40	5,76	2,40
4	25,95	> x >	4,04	7,00	2,40	4,60	21,16	8,82
5	4,04	> x >	0,00	0,00	2,40	-2,40	5,76	2,40
Jumlah				12,00	12,00	0,00	33,20	13,83

X^2 < X^2_{Cr}
 13,833 < 5,99 → **TIDAK MEMENUHI**

Tabel 4.3 7 Perhitungan Uji Smirnov Pada Logperson III

No	Tahun	Rmax	Ri	Log Ri	P	f(t)	P'	ΔP
1	2014	80,54	153,20	2,19	0,08	2,19	0,01	0,06
2	2015	84,93	118,29	2,07	0,15	1,40	0,08	0,08
3	2016	153,20	84,93	1,93	0,23	0,64	0,25	0,02
4	2017	80,68	80,68	1,91	0,31	0,54	0,30	0,00
5	2018	118,29	80,54	1,91	0,38	0,54	0,30	0,08
6	2019	35,57	35,57	1,55	0,46	-0,49	0,64	0,18
7	2020	31,28	31,28	1,50	0,54	-0,59	0,74	0,20
8	2021	14,26	31,17	1,49	0,62	-0,59	0,74	0,12
9	2022	31,17	25,08	1,40	0,69	-0,73	0,78	0,09
10	2023	25,08	15,11	1,18	0,77	-0,96	0,84	0,07
11	2024	15,11	14,81	1,17	0,85	-0,96	0,84	0,00
12	2025	14,81	14,26	1,15	0,92	-0,98	0,85	0,08
N			12					
Jumlah			684,92					
Rata-rata			57,08					
Sr			43,85					

Dmax 0,20
 Dkritis 0,41
 MEMENUHI

Tabel 4.3 8 Perhitungan Uji Smirnov Pada Gumbel

No	Tahun	Rmax	Ri	Log Ri	P	f(t)	P'	ΔP
1	2014	80,54	153,20	2,19	0,08	2,19	0,003	0,074
2	2015	84,93	118,29	2,07	0,15	1,40	0,035	0,119
3	2016	153,20	84,93	1,93	0,23	0,64	0,193	0,038
4	2017	80,68	80,68	1,91	0,31	0,54	0,209	0,099
5	2018	118,29	80,54	1,91	0,38	0,54	0,210	0,175
6	2019	35,57	35,57	1,55	0,46	-0,49	0,571	0,109
7	2020	31,28	31,28	1,50	0,54	-0,59	0,629	0,090
8	2021	14,26	31,17	1,49	0,62	-0,59	0,629	0,014
9	2022	31,17	25,08	1,40	0,69	-0,73	0,702	0,010
10	2023	25,08	15,11	1,18	0,77	-0,96	0,826	0,057
11	2024	15,11	14,81	1,17	0,85	-0,96	0,828	0,018
12	2025	14,81	14,26	1,15	0,92	-0,98	0,849	0,074
N			12					
Jumlah			684,92					
Rata-rata			57,08					
Sr			43,85					

Dmax 0,175

Dkritis 0,41

MEMENUHI

4.3.3. Curah Hujan Rencana

Curah hujan rencana dihitung menggunakan distribusi yang terpilih (Gumbel) dan log person III dengan perhitungan berikut:

Tabel 4.3 9 Rekapitulasi Perhitungan Curah Hujan Rencana Pada Periode 2,5,dan 10 Tahun metoda Log person III

Rekapitulasi Periode Ulang 2,5,10 tahun Metoda Log Person III		
Periode Ulang	K	R (mm)
2 tahun	0,29	37,35
5 tahun	0,79	59,27
10 tahun	0,92	67,102

Tabel 4.3 10 Rekapitulasi Perhitungan Curah Hujan Rencana Pada Periode 2,5,dan 10 Tahun Metoda Gumbel

Rekapitulasi Curah Hujan Periode 2,5,dan 10 tahun Metoda Gumbel		
Periode Ulang	K	R (mm)
2 tahun	-0,14	48,47
5 tahun	1,06	62,05
10 tahun	1,8481	85,94

4.3.4. Intensitas Hujan dan waktu konsetrasi

Perhitungan waktu konsentrasi (t_c) dilakukan dengan rumus Kirpich. Dalam menghitung t_c , diperlukan beberapa data seperti data panjang saluran dan data kemiringan

saluran. Data tersebut diperoleh dari hasil tracking dan marking yang dilakukan di aplikasi *Google Earth Pro*. Selain itu, juga dibutuhkan data perhitungan elevasi yang didapatkan dengan menggunakan alat *GPS Geodetic*.

Waktu konsentrasi (T_c) dihitung menggunakan pendekatan empiris berdasarkan panjang saluran dan kemiringan daerah aliran.

$$T_c = \frac{(0,87 \times L^2)}{(100 \times S)^{0,385}}$$

Hasil perhitungan oleh :

$$T_c = \frac{(0,87 \times 35,8^2)}{(100 \times 0,009)^{0,385}}$$

$$T_c = 0,11 \text{ jam}$$

Kemudian untuk perhitungan intensitas hujan :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{T_c}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I = \frac{67,10}{24} \times \left(\frac{24}{0,109}\right)^{\frac{2}{3}}$$

$$I = 72,55 \text{ mm/jam}$$

Tabel 4.3 11 Contoh Perhitungan Waktu Konsentrasi di titik A

Waktu Konsentrasi A (jam)		
L	=	35,8
S	=	0,009
tc	=	$((0,87 \times L^2)/(100 \times s))^{0,385}$
tc	=	0,11

Tabel 4.3 12 Contoh Perhitungan Intensitas Hujan di titik A

Intensitas Curah Hujan A (mm/jam)		
R24	=	67,10
tc	=	0,109
I	=	$((R_{24}/24) \times (24/tc))^{(2/3)}$
I	=	72,55

Tabel 4.3 13 Rekapitulasi Waktu Konsentrasi semua titik

Waktu Konsentrasi		
NO	Titik	Tc (jam)
1	A	0,11
2	B	0,29
3	C	0,11
4	D	0,05
5	E	0,29
6	F	0,27
7	G	0,36
8	H	0,10
9	I	0,09
10	J	0,17
11	K	0,19
12	L	1,17
13	M	0,47

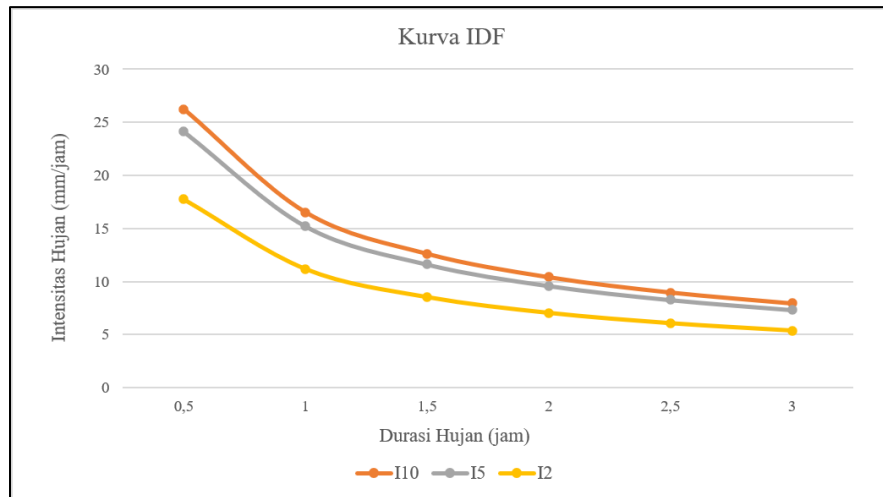
Tabel 4.3 14 Rekapitulasi Intensitas Hujan semua titik

Intensitas Hujan		
NO	Titik	I (mm/jam)
1	A	72,55
2	B	37,73
3	C	72,63
4	D	115,58
5	E	37,32
6	F	39,73
7	G	32,40
8	H	79,26
9	I	82,63
10	J	54,75
11	K	49,55
12	L	14,86
13	M	27,47

Nilai intensitas hujan hasil perhitungan berdasarkan kurva IDF dan waktu konsentrasi (Tc) kemudian digunakan sebagai dasar dalam penyusunan hyetograph hujan rancangan. Hyetograph tersebut menggambarkan distribusi hujan terhadap waktu dalam interval jam-jaman sehingga dapat digunakan dalam analisis debit limpasan metode Rasional, metode Haspers, dan simulasi EPA SWMM 5.2.

Tabel 4.3 15 Intensitas Hujan Berdasarkan Kurva IDF

t (waktu)	I10	I5	I2
0,5	26,21	24,13	17,74
1	16,51	15,20	11,17
1,5	12,60	11,60	8,53
2	10,40	9,58	7,04
2,5	8,96	8,25	6,07
3	7,94	7,31	5,37



Gambar 4. 6 Kurva IDF

Berdasarkan kurva IDF, intensitas hujan cenderung menurun seiring bertambahnya durasi hujan. Selain itu, periode ulang yang lebih besar menghasilkan intensitas hujan yang lebih tinggi dibandingkan periode ulang yang lebih kecil.

4.3.5. Hyetogrpah Hujan Rancangan

Pada penelitian ini, data curah hujan yang digunakan berasal dari data harian maksimum hasil analisis frekuensi menggunakan distribusi Log Pearson Tipe III. Curah hujan rencana yang diperoleh untuk periode ulang 2, 5, dan 10 tahun selanjutnya diubah menjadi distribusi hujan jam-jaman dalam bentuk hyetograph. Penyusunan hyetograph dilakukan agar data curah hujan harian dapat digunakan dalam analisis debit limpasan terhadap waktu serta sebagai input pada pemodelan SWMM.

Distribusi hujan jam-jaman diperoleh dengan membagi curah hujan rencana menggunakan persentase distribusi hujan sehingga diperoleh nilai hujan pada setiap interval waktu. Hyetograph merupakan grafik distribusi curah hujan terhadap waktu yang menunjukkan perubahan intensitas hujan pada interval waktu tertentu. Dalam penelitian ini, distribusi hujan disusun selama 24 jam dengan menggunakan pola distribusi persentase hujan. Persentase tersebut kemudian dikalikan dengan curah hujan rencana sehingga diperoleh nilai hujan untuk setiap jam. Sebagai contoh, curah hujan rencana periode ulang 10 tahun sebesar 67,102 mm didistribusikan ke dalam interval waktu 24 jam.

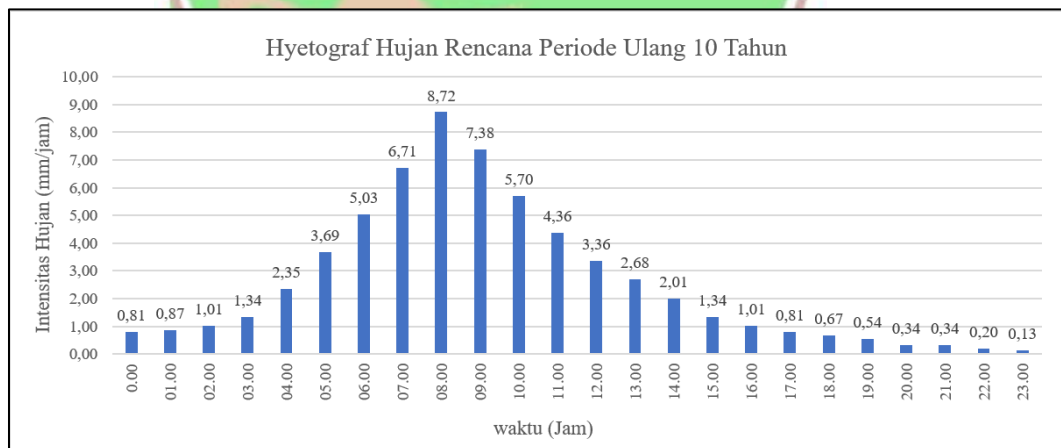
Distribusi hujan dibuat meningkat secara bertahap hingga mencapai hujan maksimum pada jam tertentu, kemudian mengalami penurunan secara bertahap. Pola tersebut digunakan untuk menggambarkan kondisi hujan yang lebih realistis dibandingkan menggunakan satu nilai

hujan harian secara langsung. Tabel distribusi hujan jam-jaman untuk periode ulang 10 tahun dapat dilihat pada Tabel 4.3.16 berikut :

Tabel 4.3 16 *Distribusi Hujan Jam-jaman Periode Ulang 10 Tahun*

No	Jam	Hujan
1	0.00	0,81
2	01.00	0,87
3	02.00	1,01
4	03.00	1,34
5	04.00	2,35
6	05.00	3,69
7	06.00	5,03
8	07.00	6,71
9	08.00	8,72
10	09.00	7,38
11	10.00	5,70
12	11.00	4,36
13	12.00	3,36
14	13.00	2,68
15	14.00	2,01
16	15.00	1,34
17	16.00	1,01
18	17.00	0,81
19	18.00	0,67
20	19.00	0,54
21	20.00	0,34
22	21.00	0,34
23	22.00	0,20
24	23.00	0,13

Selanjutnya, distribusi hujan tersebut disajikan dalam bentuk grafik hyetograph untuk memperlihatkan perubahan intensitas hujan terhadap waktu. Grafik hyetograph periode ulang 10 tahun ditunjukkan pada Gambar 4.7 berikut:



Gambar 4. 7 *Hyetograph Hujan Rencana Periode Ulang 10 Tahun*

Berdasarkan grafik hyetograph, intensitas hujan mengalami peningkatan secara bertahap hingga mencapai puncak pada jam tertentu, kemudian menurun kembali hingga akhir durasi hujan. Hyetograph ini selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam perhitungan debit limpasan metode Rasional, metode Haspers, dan input data hujan pada pemodelan SWMM. Pola hujan yang terlihat pada hyetograph menunjukkan bahwa hujan tidak turun secara sama rata dalam

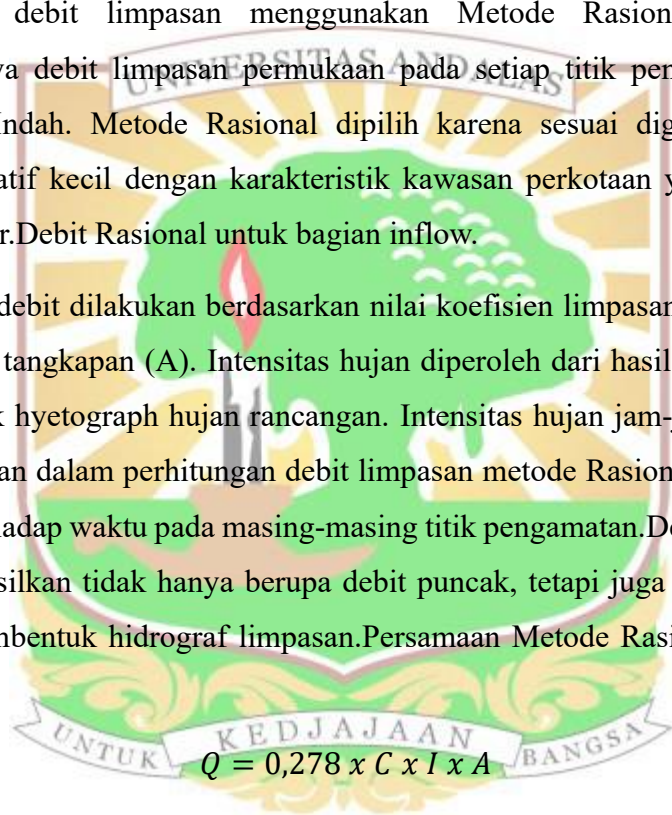
sehari penuh. Intensitas hujan mulai meningkat perlahan hingga mencapai titik tertinggi pada jam ke-8, lalu perlahan berkurang hingga akhir masa hujan.

Pola ini menunjukkan kondisi hujan yang lebih mendekati kenyataan dibandingkan hanya menggunakan data curah hujan harian. Hujan yang telah dibuat dalam bentuk hyetograf menjadi dasar pembuatan hidrograf debit limpasan karena cara turunnya hujan dalam waktu tertentu akan memengaruhi besarnya dan waktu terjadinya debit puncak pada sistem saluran air.

4.3.6. Debit Rasional

Perhitungan debit limpasan menggunakan Metode Rasional dilakukan untuk mengetahui besarnya debit limpasan permukaan pada setiap titik pengamatan di kawasan Komplek Pelangi Indah. Metode Rasional dipilih karena sesuai digunakan pada daerah tangkapan yang relatif kecil dengan karakteristik kawasan perkotaan yang didominasi oleh permukaan kedap air. Debit Rasional untuk bagian inflow.

Perhitungan debit dilakukan berdasarkan nilai koefisien limpasan (C), intensitas hujan (I), dan luas daerah tangkapan (A). Intensitas hujan diperoleh dari hasil distribusi hujan jam-jaman dalam bentuk hyetograph hujan rancangan. Intensitas hujan jam-jaman hasil distribusi hyetograph digunakan dalam perhitungan debit limpasan metode Rasional sehingga diperoleh perubahan debit terhadap waktu pada masing-masing titik pengamatan. Dengan demikian, debit limpasan yang dihasilkan tidak hanya berupa debit puncak, tetapi juga debit terhadap waktu sehingga dapat membentuk hidrograf limpasan. Persamaan Metode Rasional yang digunakan adalah:



$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

dimana:

- Q = debit limpasan (m^3/det)
- C = koefisien limpasan
- I = intensitas hujan (mm/jam)
- A = luas daerah tangkapan (km^2)

Contoh perhitungan debit limpasan metode Rasional dilakukan pada titik A jam ke-00 menggunakan persamaan metode Rasional sebagai berikut:

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A$$

Dengan:

- $C = 0,4$
- $I = 0,805 \text{ mm/jam}$
- $A = 0,007 \text{ km}^2$

Maka diperoleh:

$$Q = 0,00278 \times 0,4 \times 0,805 \times 0,007 = 0,001 \text{ m}^3/\text{det}$$

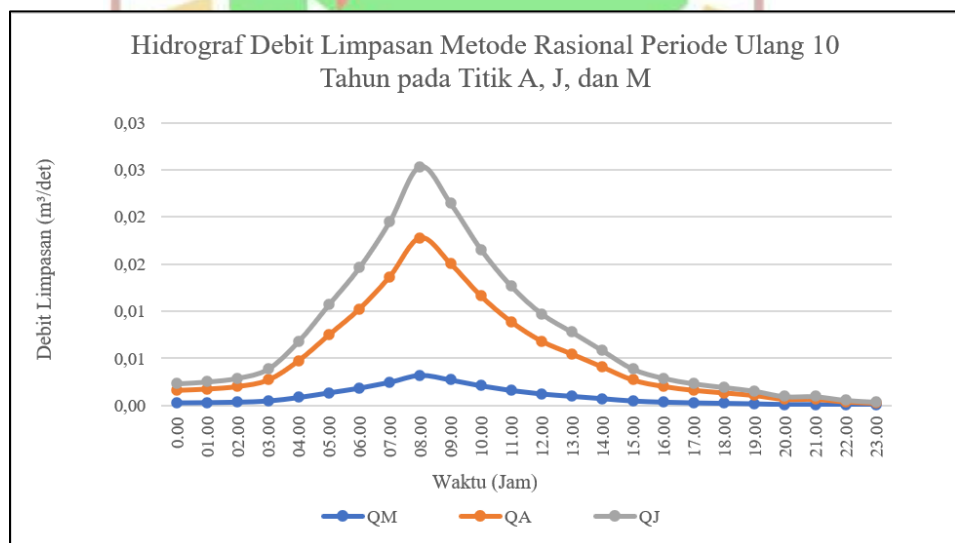
Perhitungan dilakukan untuk seluruh interval waktu hingga jam ke-24 pada setiap titik pengamatan. Dalam penelitian ini, intensitas hujan berubah pada setiap interval waktu sesuai dengan distribusi hujan pada hyetograph. Untuk memperjelas perubahan debit terhadap waktu, hasil perhitungan debit limpasan ditampilkan dalam bentuk hidrograf pada titik A, J, dan M sebagai titik perwakilan kawasan penelitian. Oleh karena itu, perhitungan debit dilakukan untuk setiap jam selama periode simulasi 24 jam sehingga diperoleh hidrograf debit limpasan. Hasil perhitungan debit limpasan metode Rasional pada seluruh titik pengamatan dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Debit Rasional Pada Periode 10 tahun

Jam	I	QA	QB	QC	QD	QE	QF	QG	QH	QI	QJ	QK	QL	QM
0.00	0,805	0,002	0,0006	0,001	0,0003	0,001	0,0003	0,0010	0,0010	0,002	0,002	0,0009	0,002	0,0003
01.00	0,872	0,002	0,0007	0,001	0,0003	0,001	0,0003	0,001	0,001	0,002	0,003	0,0010	0,003	0,0003
02.00	1,007	0,002	0,0008	0,002	0,0004	0,002	0,0004	0,001	0,001	0,002	0,003	0,0011	0,003	0,0004
03.00	1,342	0,003	0,0011	0,002	0,0005	0,002	0,0005	0,002	0,002	0,003	0,004	0,001	0,004	0,0005
04.00	2,349	0,005	0,002	0,004	0,0009	0,004	0,0009	0,003	0,003	0,005	0,007	0,003	0,007	0,0009
05.00	3,691	0,008	0,003	0,006	0,001	0,006	0,001	0,005	0,005	0,008	0,011	0,004	0,011	0,001
06.00	5,033	0,010	0,004	0,008	0,002	0,008	0,002	0,007	0,007	0,011	0,015	0,006	0,015	0,002
07.00	6,710	0,014	0,005	0,010	0,003	0,010	0,003	0,009	0,009	0,015	0,019	0,007	0,019	0,002
08.00	8,723	0,018	0,007	0,013	0,003	0,013	0,003	0,011	0,011	0,019	0,025	0,010	0,025	0,003
09.00	7,381	0,015	0,006	0,011	0,003	0,011	0,003	0,010	0,010	0,016	0,021	0,008	0,021	0,003
10.00	5,704	0,012	0,005	0,009	0,002	0,009	0,002	0,007	0,007	0,013	0,017	0,006	0,017	0,002
11.00	4,362	0,009	0,003	0,007	0,002	0,007	0,002	0,006	0,006	0,010	0,013	0,005	0,013	0,002
12.00	3,355	0,007	0,003	0,005	0,001	0,005	0,001	0,004	0,004	0,007	0,010	0,004	0,010	0,001
13.00	2,684	0,005	0,002	0,004	0,0011	0,004	0,0011	0,003	0,003	0,006	0,008	0,003	0,008	0,0010
14.00	2,013	0,004	0,002	0,003	0,0008	0,003	0,0008	0,003	0,003	0,004	0,006	0,002	0,006	0,0007
15.00	1,342	0,003	0,001	0,002	0,0005	0,002	0,0005	0,002	0,002	0,003	0,004	0,001	0,004	0,0005
16.00	1,007	0,002	0,001	0,002	0,0004	0,002	0,0004	0,001	0,001	0,002	0,003	0,001	0,003	0,0004
17.00	0,805	0,002	0,001	0,001	0,0003	0,001	0,0003	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,0003
18.00	0,671	0,001	0,001	0,0010	0,00026	0,0010	0,0003	0,0009	0,0009	0,0015	0,002	0,0007	0,002	0,0002
19.00	0,537	0,0011	0,0004	0,0008	0,00021	0,0008	0,0002	0,0007	0,0007	0,0012	0,002	0,0006	0,002	0,0002
20.00	0,336	0,0007	0,0003	0,0005	0,00013	0,0005	0,0001	0,0004	0,0004	0,0007	0,001	0,0004	0,0010	0,0001
21.00	0,336	0,0007	0,0003	0,0005	0,00013	0,0005	0,0001	0,0004	0,0004	0,0007	0,001	0,0004	0,0010	0,0001
22.00	0,201	0,0004	0,0002	0,0003	0,00008	0,0003	0,00008	0,0003	0,0003	0,0004	0,0006	0,0002	0,0006	0,00007
23.00	0,134	0,0003	0,0001	0,0002	0,00005	0,0002	0,00005	0,0002	0,0002	0,0003	0,0004	0,0001	0,0004	0,00005

Berdasarkan hasil perhitungan, debit limpasan mengalami peningkatan seiring bertambahnya intensitas hujan dan mencapai debit puncak pada jam tertentu sebelum kembali menurun mengikuti pola distribusi hujan. Nilai debit limpasan yang didapat menggunakan metode Rasional dalam penelitian ini tergolong kecil. Kondisi tersebut tetap sesuai dengan sifat metode Rasional yang sangat bergantung pada luas area yang tergenang, tingkat curah hujan, dan koefisien aliran.

Penelitian Widyasari (2024) menyebutkan bahwa besarnya debit air yang mengalir ke permukaan tanah, yang dihitung dengan menggunakan metode Rasional, bergantung pada beberapa faktor seperti tingkat curah hujan, luas area yang terkena hujan, dan tingkat kepadatan aliran air. Oleh karena itu, di area permukiman yang memiliki luas daerah tangkapan yang tidak terlalu luas, jumlah air yang terbentuk cenderung lebih sedikit dibandingkan daerah yang memiliki luas tangkapan yang lebih besar. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa besarnya aliran air yang diperoleh masih sesuai dengan ciri-ciri wilayah penelitian yang merupakan sistem saluran air skala permukiman. Hubungan antara debit limpasan terhadap waktu disajikan dalam bentuk hidrograf, pada Gambar 4.8 berikut.



Gambar 4. 8 Hidrograf Debit Limpasan Metode Rasional pada Titik A, J, dan M

Berdasarkan hidrograf metode Rasional, grafik hidrograf ditampilkan pada Titik A, Titik J, dan Titik M sebagai titik perwakilan dalam jaringan drainase penelitian. Pemilihan ketiga titik tersebut dilakukan untuk menggambarkan variasi debit limpasan pada bagian hulu, tengah, dan outlet saluran sehingga perubahan debit terhadap waktu dapat dianalisis dengan lebih jelas. Hasil hidrograf menunjukkan bahwa debit limpasan mengalami peningkatan secara bertahap hingga mencapai debit puncak pada jam tertentu, kemudian mengalami penurunan mengikuti distribusi intensitas hujan pada hyetograph.

4.3.7. Debit Haspers

Perhitungan debit limpasan menggunakan metode Haspers dilakukan untuk mengetahui besarnya debit limpasan permukaan berdasarkan karakteristik daerah tangkapan dan distribusi hujan terhadap waktu. Dalam penelitian ini, distribusi hujan jam-jaman diperoleh dari hasil penyusunan hyetograph hujan rancangan sehingga debit limpasan dapat dihitung pada setiap interval waktu dan digunakan sebagai data pembanding pada pemodelan SWMM.

Metode Haspers digunakan sebagai metode empiris untuk memperkirakan debit limpasan dengan mempertimbangkan parameter koefisien pengaliran, koefisien reduksi, luas daerah tangkapan, serta intensitas hujan. Nilai intensitas hujan yang digunakan pada setiap jam mengikuti distribusi hujan pada hyetograph periode ulang yang ditinjau. Perhitungan debit limpasan metode Haspers dilakukan pada setiap interval waktu selama 24 jam untuk seluruh titik pengamatan sehingga diperoleh hidrograf debit limpasan. Contoh perhitungan debit limpasan metode Haspers pada salah satu titik pengamatan dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Debit Hapers pada Periode 10 Tahun

Jam	I	QA	QB	QC	QD	QE	QF	QG	QH	QI	QJ	QK	QL	QM
0.00	0,805	0,007	0,003	0,005	0,001	0,005	0,001	0,004	0,004	0,007	0,009	0,004	0,009	0,001
01.00	0,872	0,007	0,003	0,005	0,001	0,005	0,001	0,005	0,005	0,008	0,010	0,004	0,010	0,001
02.00	1,007	0,008	0,003	0,006	0,002	0,006	0,002	0,005	0,005	0,009	0,012	0,004	0,012	0,001
03.00	1,342	0,011	0,004	0,008	0,002	0,008	0,002	0,007	0,007	0,012	0,016	0,006	0,016	0,002
04.00	2,349	0,019	0,007	0,014	0,004	0,014	0,004	0,012	0,012	0,021	0,027	0,010	0,027	0,003
05.00	3,691	0,030	0,012	0,023	0,006	0,023	0,006	0,019	0,019	0,033	0,043	0,016	0,043	0,005
06.00	5,033	0,041	0,016	0,031	0,008	0,031	0,008	0,026	0,026	0,044	0,058	0,022	0,058	0,007
07.00	6,710	0,055	0,021	0,041	0,010	0,041	0,010	0,035	0,035	0,059	0,078	0,029	0,078	0,010
08.00	8,723	0,071	0,028	0,053	0,014	0,053	0,014	0,045	0,045	0,077	0,101	0,038	0,101	0,013
09.00	7,381	0,060	0,023	0,045	0,012	0,045	0,012	0,038	0,038	0,065	0,086	0,032	0,086	0,011
10.00	5,704	0,046	0,018	0,035	0,009	0,035	0,009	0,030	0,030	0,050	0,066	0,025	0,066	0,008
11.00	4,362	0,036	0,014	0,027	0,007	0,027	0,007	0,023	0,023	0,039	0,051	0,019	0,051	0,006
12.00	3,355	0,027	0,011	0,020	0,005	0,020	0,005	0,017	0,017	0,030	0,039	0,015	0,039	0,005
13.00	2,684	0,022	0,008	0,016	0,004	0,016	0,004	0,014	0,014	0,024	0,031	0,012	0,031	0,004
14.00	2,013	0,016	0,006	0,012	0,003	0,012	0,003	0,010	0,010	0,018	0,023	0,009	0,023	0,003
15.00	1,342	0,011	0,004	0,008	0,002	0,008	0,002	0,007	0,007	0,012	0,016	0,006	0,016	0,002
16.00	1,007	0,008	0,003	0,006	0,002	0,006	0,002	0,005	0,005	0,009	0,012	0,004	0,012	0,001
17.00	0,805	0,007	0,003	0,005	0,001	0,005	0,001	0,004	0,004	0,007	0,009	0,004	0,009	0,001
18.00	0,671	0,005	0,002	0,004	0,001	0,004	0,001	0,003	0,003	0,006	0,008	0,003	0,008	0,001
19.00	0,537	0,004	0,002	0,003	0,001	0,003	0,001	0,003	0,003	0,005	0,006	0,002	0,006	0,001
20.00	0,336	0,003	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,003	0,004	0,001	0,004	0,000
21.00	0,336	0,003	0,001	0,002	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,003	0,004	0,001	0,004	0,000
22.00	0,201	0,002	0,001	0,001	0,0003	0,001	0,0003	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,0003
23.00	0,134	0,001	0,0004	0,001	0,0002	0,001	0,0002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,0002

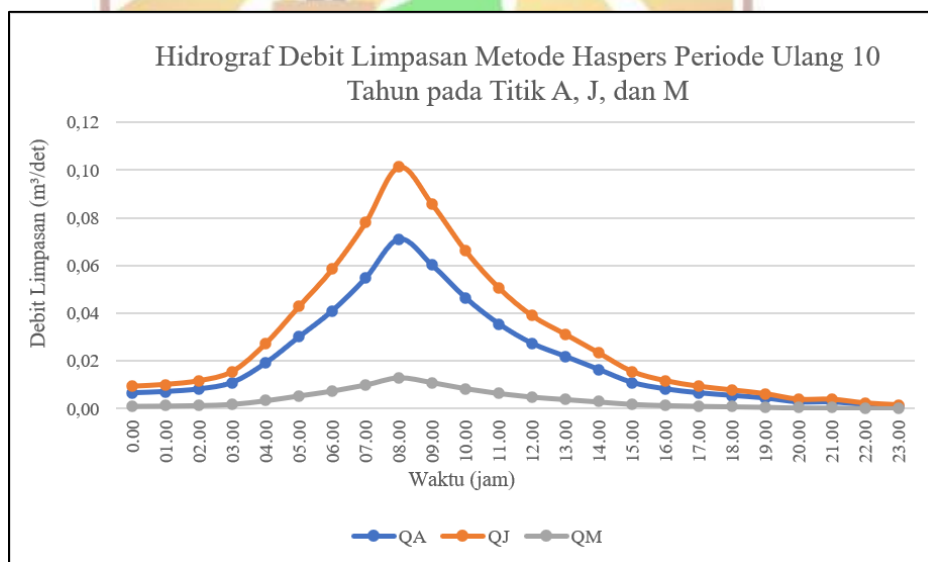
Berdasarkan hasil perhitungan, debit limpasan metode Haspers mengalami peningkatan seiring bertambahnya intensitas hujan hingga mencapai debit puncak pada jam tertentu, kemudian mengalami penurunan secara bertahap mengikuti pola distribusi hujan. Hasil perhitungan dengan metode Haspers menunjukkan besarnya debit lebih tinggi dibandingkan metode Rasional, tetapi masih termasuk dalam kisaran debit yang tidak terlalu besar. Kondisi ini tergantung pada luas area tangkapan dan sifat hujan yang digunakan dalam perhitungan. Semakin kecil area yang tertangkap, maka jumlah air yang mengalir melewati area tersebut juga akan semakin sedikit. Oleh karena itu, nilai debit yang didapatkan dalam penelitian ini masih

mencerminkan kondisi di kawasan permukiman dengan daerah penangkapan air yang terbatas dan sistem drainase lingkungan berupa sistem skala lokal.

Hasil perhitungan dengan metode Haspers menunjukkan pola yang mirip dengan metode Rasional, yaitu debit air yang melimpah semakin besar ketika durasi hujan semakin lama. Nilai debit yang didapat lebih besar dibandingkan metode rasional karena metode haspers memperhitungkan koefisien pengaliran serta faktor reduksi dalam proses perhitungannya. Meskipun begitu, debit yang dihasilkan tetap dalam tingkat yang relatif kecil karena area daerah tangkapan penelitian cukup kecil dan termasuk dalam sistem drainase lingkungan permukiman.

Hal ini menjelaskan bahwa karakteristik daerah tangkapan serta kapasitas sistem drainase memainkan peran penting dalam menentukan besarnya debit yang dihasilkan dalam perencanaan drainase perkotaan. Oleh karena itu, nilai debit yang relatif kecil dalam penelitian ini tetap sesuai dengan kondisi yang ada di daerah penelitian tersebut, yang memiliki luas daerah tangkapan air yang terbatas (Pratama dkk. (2023)).

Grafik hidrograf metode Haspers ditampilkan pada Titik A, Titik J, dan Titik M sebagai titik perwakilan dalam jaringan drainase penelitian. Pemilihan ketiga titik tersebut dilakukan untuk menggambarkan variasi debit limpasan pada bagian hulu, tengah, dan outlet saluran sehingga perubahan debit terhadap waktu dapat dianalisis dengan lebih jelas.



Gambar 4. 9 Hidrograf Debit Limpasan Metode Haspers Periode Ulang 10 Tahun pada Titik A, J, dan M

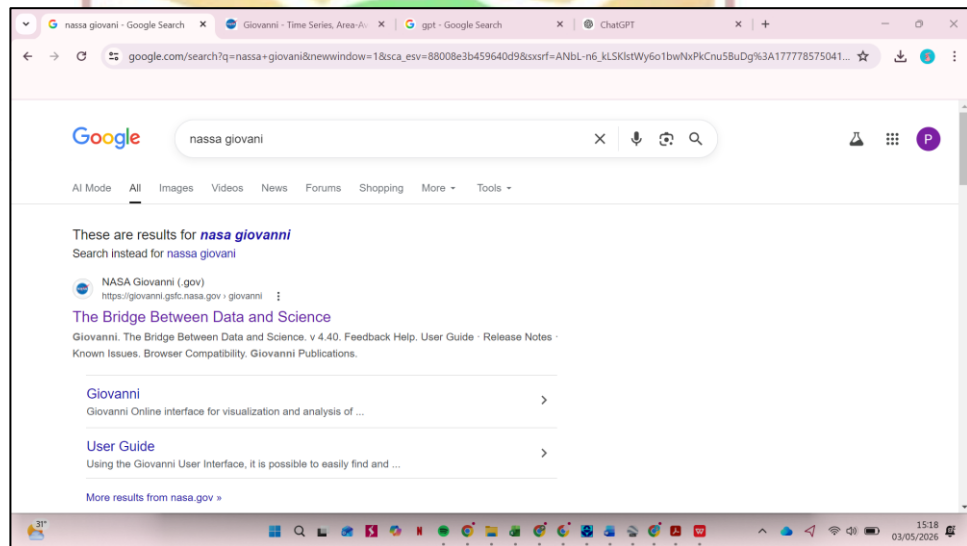
Berdasarkan hidrograf metode Haspers, debit limpasan mengalami peningkatan secara bertahap mengikuti distribusi intensitas hujan hingga mencapai debit puncak pada jam tertentu, kemudian mengalami penurunan kembali seiring berkurangnya intensitas hujan. Titik J

menunjukkan debit limpasan terbesar dibandingkan titik lainnya karena memiliki luas daerah tangkapan dan kontribusi aliran yang lebih besar.

4.3.8. Pengambilan data curah hujan

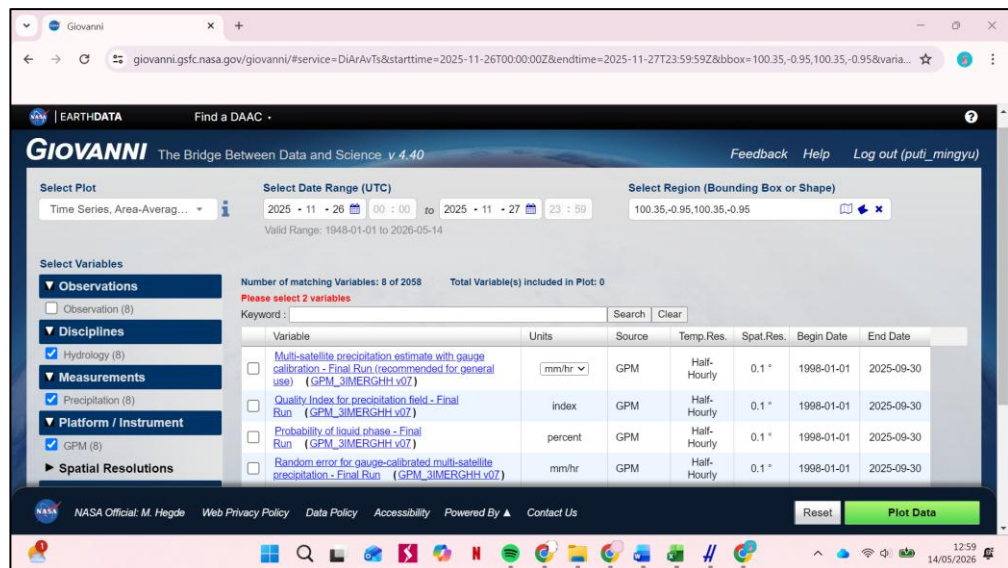
Dalam penelitian ini digunakan dua jenis data curah hujan, yaitu data hujan aktual dan hujan rencana. Data hujan aktual diperoleh dari NASA Giovanni dengan resolusi waktu 30 menit pada kejadian hujan tanggal 27 November 2025 yang digunakan untuk simulasi kondisi eksisting sistem drainase. Sedangkan data hujan rencana diperoleh melalui analisis frekuensi untuk periode ulang tertentu dan digunakan dalam penyusunan hyetograph hujan rancangan.

- a) pertama dalam pengambilan data curah hujan dilakukan dengan mengakses situs NASA Giovanni (<https://giovanni.gsfc.nasa.gov/>) sebagai platform penyedia data meteorologi berbasis satelit.



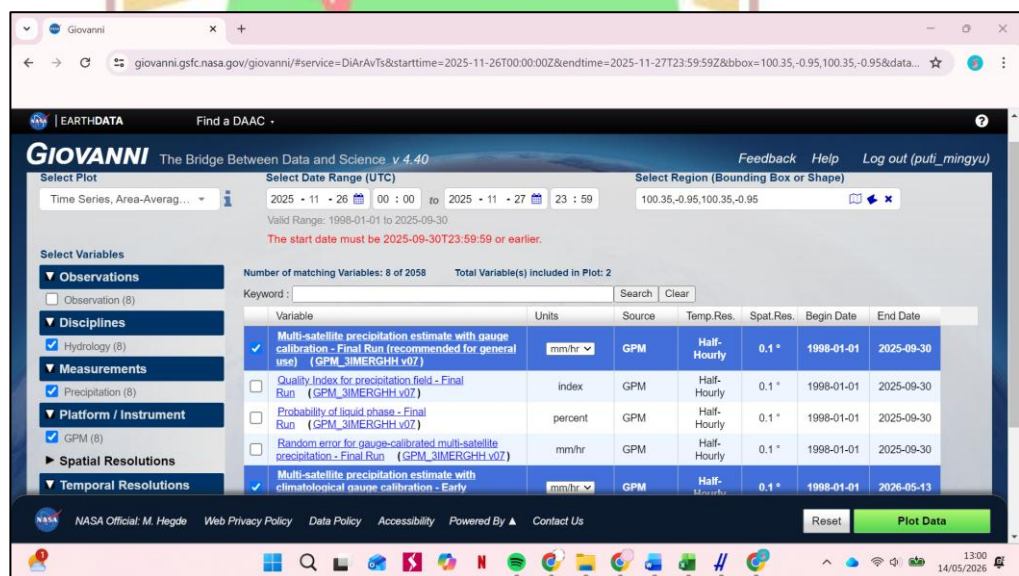
Gambar 4. 10 Tampilan Awal Akses NASA Giovanni

- b) Selanjutnya dilakukan penentuan lokasi penelitian dengan memasukkan koordinat geografis wilayah studi atau memilih langsung area pada peta interaktif yang tersedia pada sistem Giovanni. Dan dipilih parameter data berupa curah hujan (precipitation rate) yang sesuai dengan kebutuhan analisis hidrologi dalam penelitian.



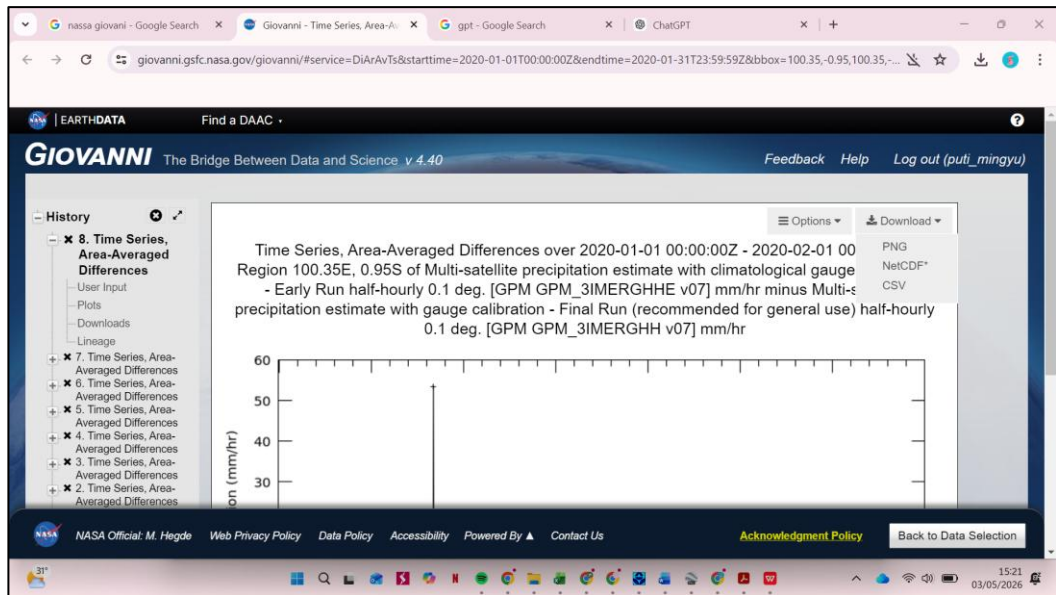
Gambar 4. 11 Tampilan Pemilihan Parameter Curah Hujan untuk Simulasi SWMM

- c) Periode waktu pengamatan ditentukan berdasarkan kebutuhan analisis, yaitu missal tanggal 27 November 2025 yang dianggap mewakili kejadian hujan signifikan di wilayah studi.



Gambar 4. 12 Setelah pemilihan dipilih parameter curah hujan yang akan digunakan sebagai input simulasi SWMM.

- d) Setelah parameter dan periode waktu ditentukan, sistem Giovanni akan menghasilkan data dalam bentuk grafik dan tabel yang menggambarkan distribusi curah hujan terhadap waktu. Dan Data yang telah dihasilkan kemudian diunduh dalam format digital (CSV atau Excel) untuk digunakan dalam tahap pengolahan lebih lanjut.



Gambar 4. 13 Hasil data curah hujan dari NASA Giovanni

Data curah hujan yang diperoleh kemudian diolah menjadi data time series dan hyetograph hujan untuk digunakan sebagai input simulasi pada EPA SWMM.

4.3.9. Pemodelan SWMM

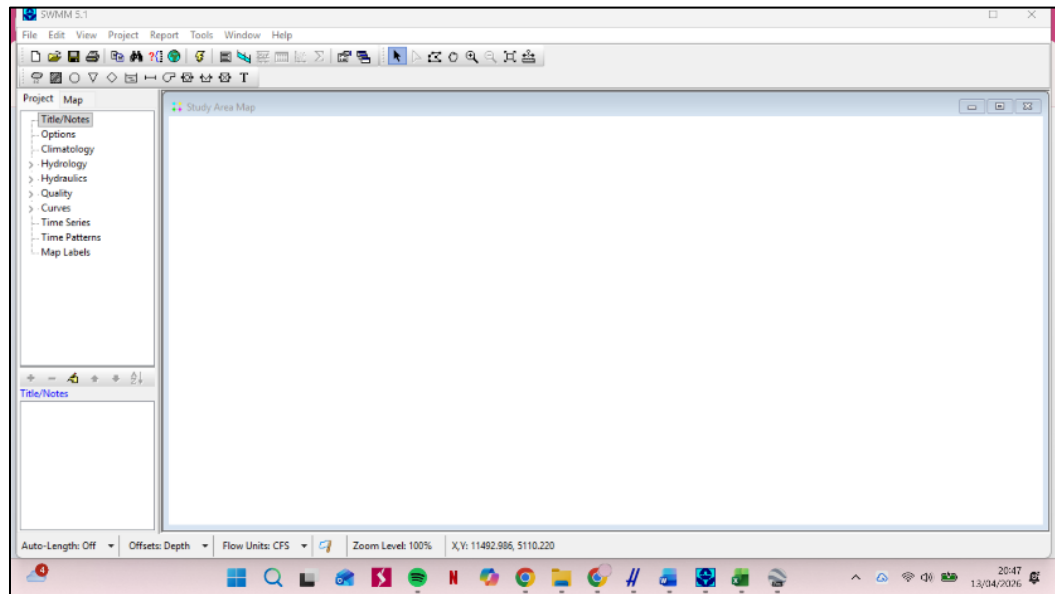
Pemodelan hidrologi dan hidraulika pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak EPA SWMM dengan metode infiltrasi Soil Conservation Service Curve Number (SCS-CN). Metode ini digunakan untuk memperkirakan besarnya infiltrasi berdasarkan karakteristik tata guna lahan dan kondisi permukaan daerah penelitian. Pemodelan dilakukan menggunakan aplikasi SWMM dengan input berupa:

- data curah hujan (hyetograph)
- karakteristik subcatchment
- jaringan drainase

a) Create New Project

Pemodelan hidrologi dan hidraulika pada penelitian ini dilakukan menggunakan perangkat lunak SWMM (Storm Water Management Model) dengan metode infiltrasi SCS Curve Number (SCS-CN). Pemodelan ini bertujuan untuk mensimulasikan debit limpasan dan kinerja sistem drainase berdasarkan kondisi aktual di lapangan. Pada tahap awal dilakukan pembuatan project baru pada perangkat lunak SWMM. Selanjutnya ditentukan satuan yang digunakan dalam pemodelan, yaitu debit dalam satuan meter kubik per detik (m^3/detik) atau CMS (Cubic Meter per Second). Penentuan satuan ini bertujuan agar seluruh parameter yang

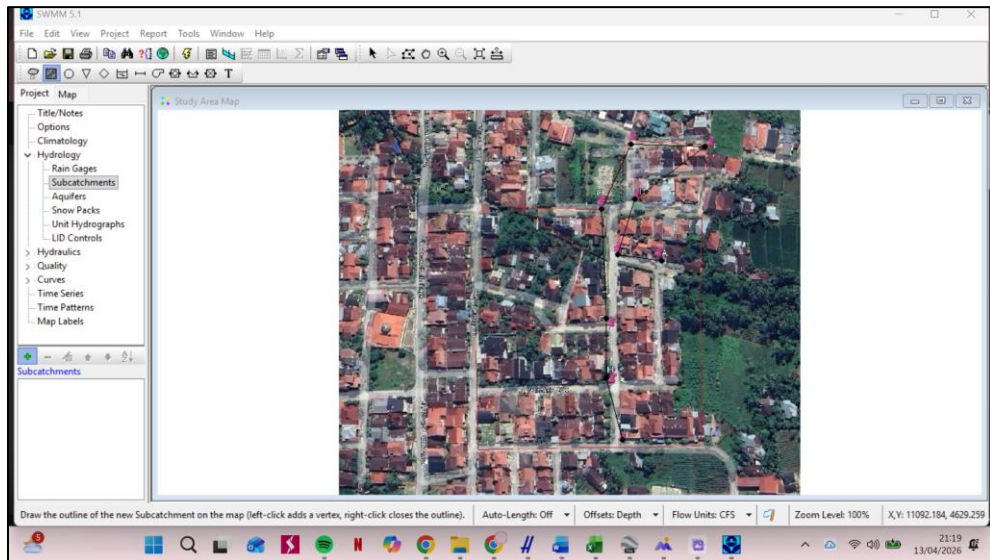
dimasukkan, seperti luas, intensitas hujan, dan dimensi saluran, konsisten dalam satu sistem satuan. Kemudian masukkan gambar dengan tekan view dan backdrops.



Gambar 4. 14 Tampilan Awalan SWMM

b) Membuat Junction Dan Conduit (Saluran)

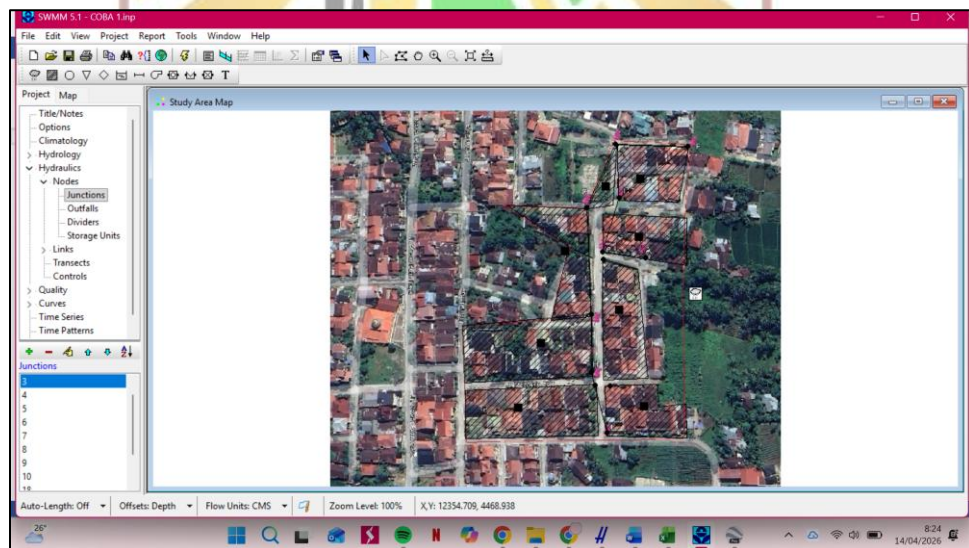
Junction merupakan titik pertemuan aliran dalam sistem drainase. Pada tahap ini dibuat beberapa junction yang mewakili titik-titik sambungan saluran di lapangan. Setiap junction dihubungkan dengan subcatchment dan conduit, serta diberikan nilai elevasi dan kedalaman maksimum. Conduit dibuat untuk merepresentasikan saluran drainase yang menghubungkan antar junction. Parameter yang dimasukkan meliputi panjang saluran, kemiringan, dan nilai kekasaran (Manning's n). Selain itu, ditentukan bentuk dan dimensi penampang saluran, seperti lebar dan tinggi untuk saluran persegi.



Gambar 4. 15 Junction dan Conduit

c) Membuat Subcatchment

Subcatchment dibuat untuk merepresentasikan daerah tangkapan hujan yang mengalir ke satu titik saluran tertentu. Pembagian subcatchment dilakukan berdasarkan arah aliran air dan jaringan drainase di lapangan. Setiap subcatchment memiliki outlet yang terhubung dengan junction tertentu, sehingga aliran dapat dimodelkan secara bertahap

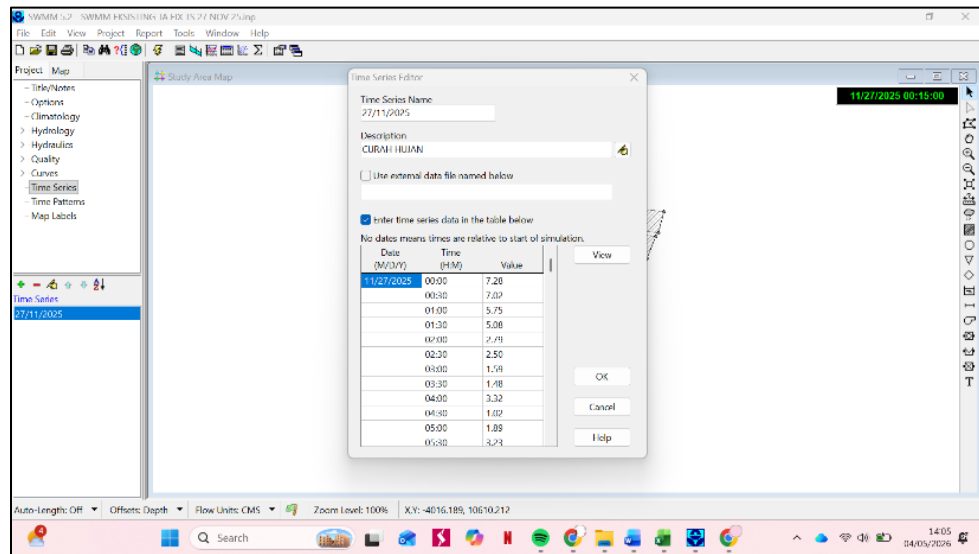


Gambar 4. 16 Pembuatan Catchment

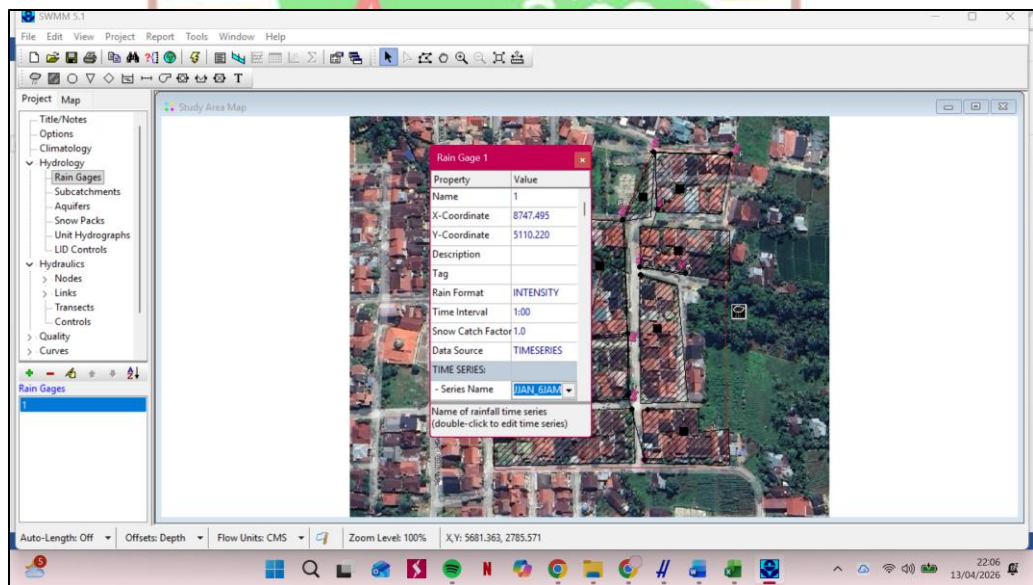
d) Menginput Data Curah Hujan (Rain Gage)

Data curah hujan yang telah diolah menjadi bentuk hyetograph dimasukkan ke dalam komponen Rain Gage dalam SWMM. Data ini disusun dalam bentuk time series dengan interval

waktu tertentu (misalnya per jam). Rain Gage berfungsi sebagai input utama dalam simulasi, yang akan mempengaruhi besarnya limpasan yang terjadi pada masing-masing subcatchment.



Gambar 4. 17 Penginputan Data Curah Hujan



Gambar 4. 18 Penginputan Rain Gage

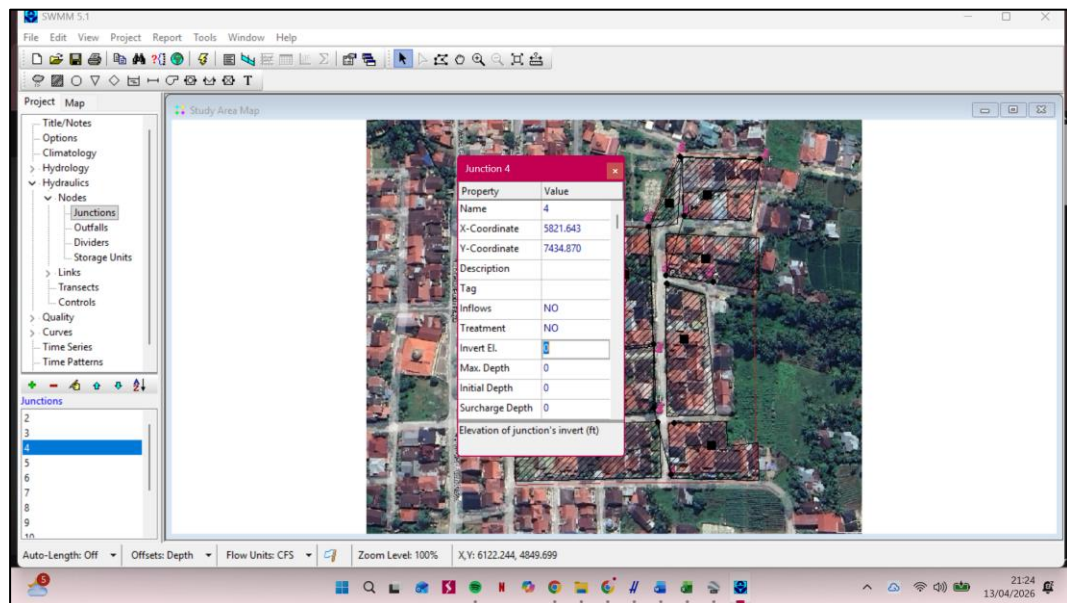
e) Menginput Parameter Subcatchment

Pada setiap subcatchment, dimasukkan parameter-parameter utama yang mempengaruhi limpasan, yaitu:

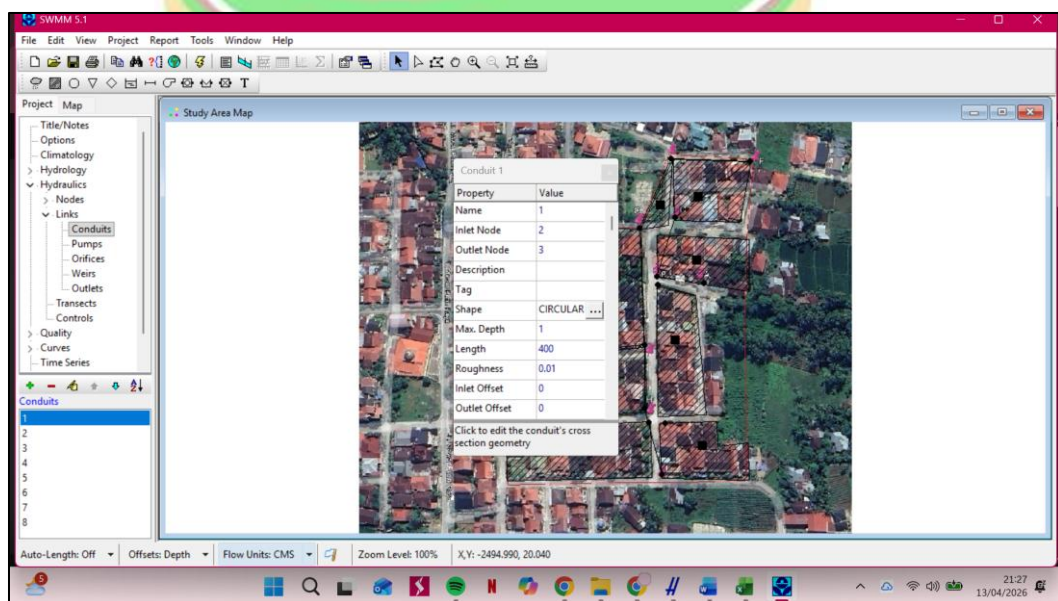
- Luas area, yang menunjukkan besarnya daerah tangkapan hujan.
- Kemiringan lahan (slope), yang mempengaruhi kecepatan aliran permukaan.
- Lebar aliran (width), yang merupakan pendekatan lebar efektif aliran air.

- Persentase impervious, yaitu persentase permukaan kedap air seperti jalan dan bangunan yang tidak menyerap air.

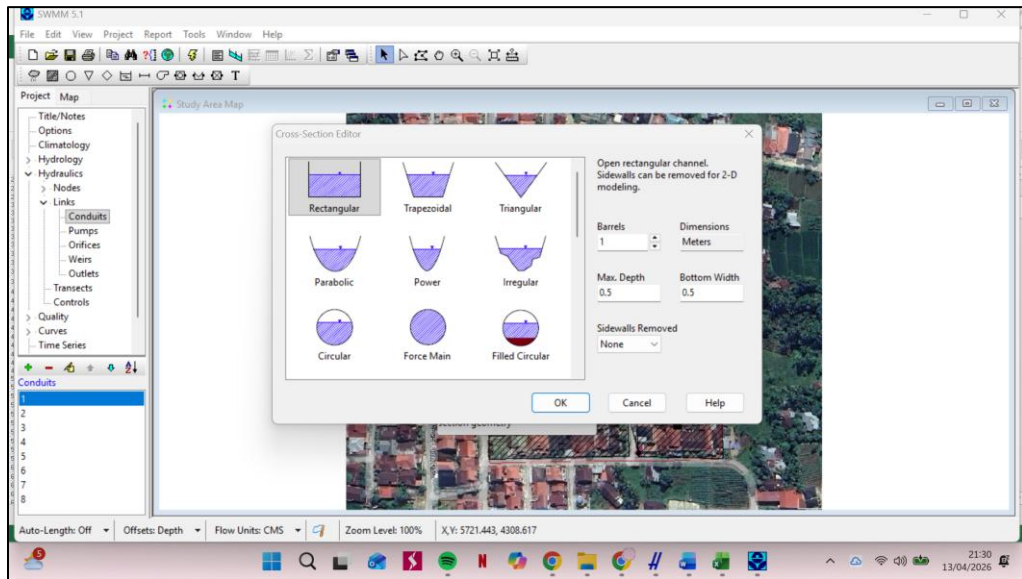
Selain parameter tersebut, digunakan juga nilai Curve Number (CN) berdasarkan kondisi tata guna lahan pada kawasan penelitian. Nilai CN digunakan untuk menggambarkan kemampuan infiltrasi permukaan, dimana semakin besar nilai CN maka limpasan permukaan yang dihasilkan semakin besar dan infiltrasi semakin kecil. Parameter ini sangat berpengaruh terhadap hasil simulasi debit limpasan.



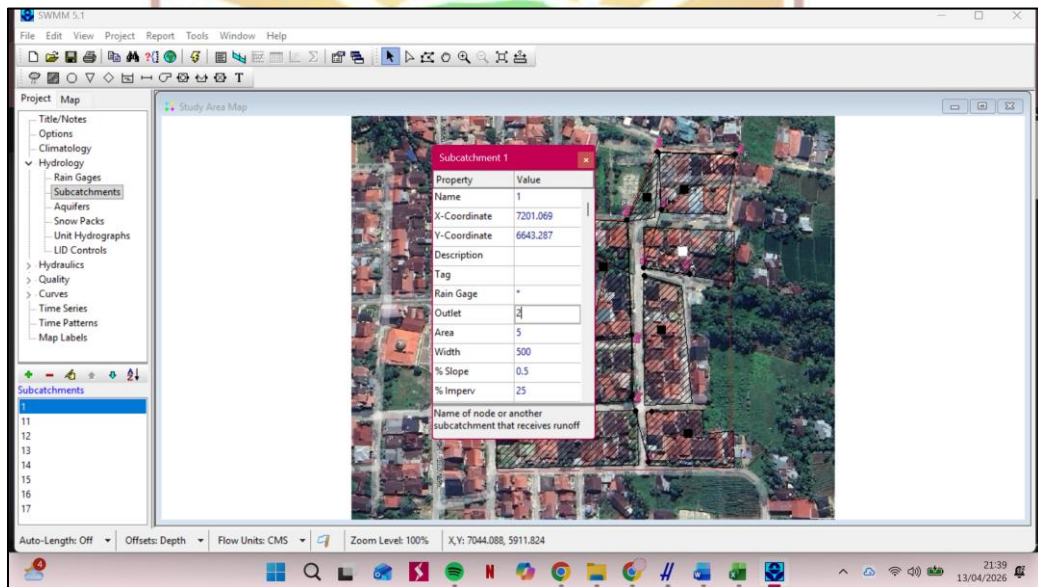
Gambar 4. 19 Tampilan Saat memasukkan parameter data



Gambar 4. 20 Tampilan Saat memasukkan model drainase



Gambar 4. 21 Tampilan pemilihan model drainase



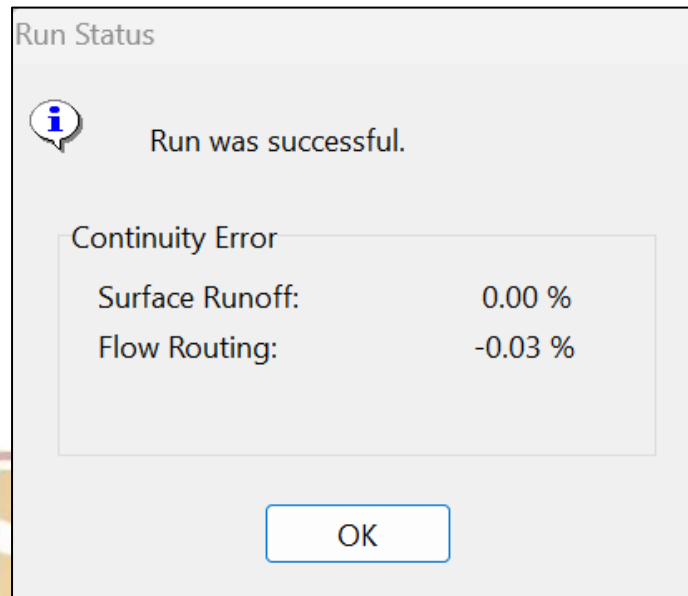
Gambar 4. 22 Pemasukkan data parameter

f) Running dan hasil pemodelan

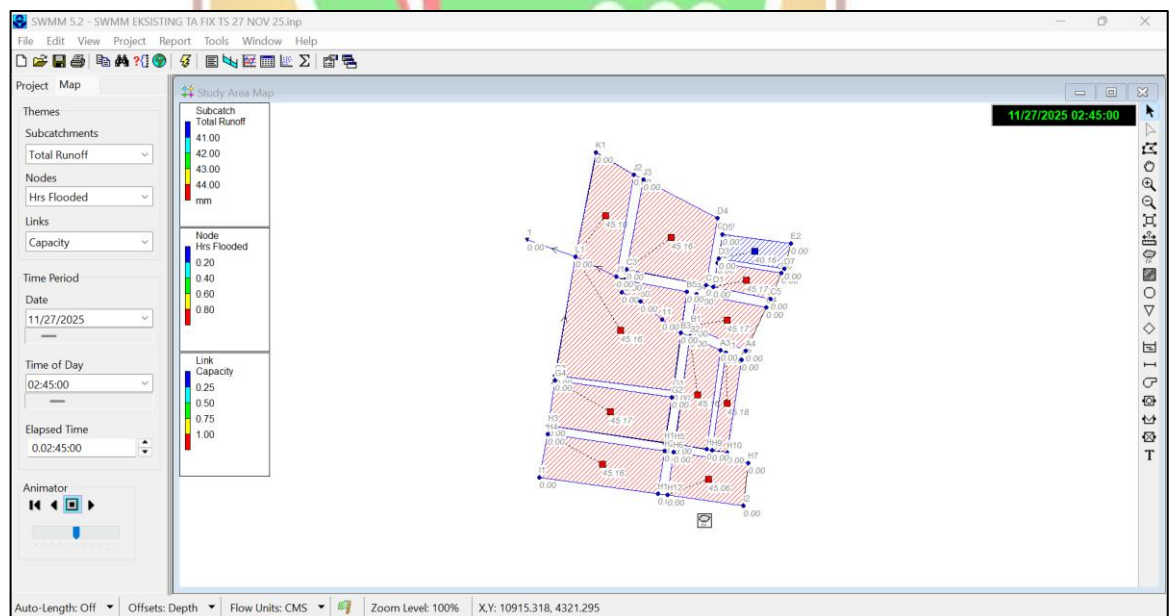
Simulasi dilakukan menggunakan EPA SWMM dengan memasukkan data curah hujan rencana, parameter subcatchment, serta jaringan drainase yang telah dibuat. Proses running dilakukan untuk memperoleh debit aliran pada setiap node dan saluran.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa aliran terbentuk sesuai dengan arah jaringan yang telah dimodelkan, dimana debit cenderung meningkat ke arah hilir akibat akumulasi dari beberapa subcatchment. Pada beberapa node diperoleh nilai debit yang kecil atau nol, yang menunjukkan tidak adanya kontribusi aliran pada waktu tertentu. Secara umum, proses

running berjalan dengan baik dan menghasilkan output berupa debit aliran yang dapat digunakan untuk analisis lebih lanjut.



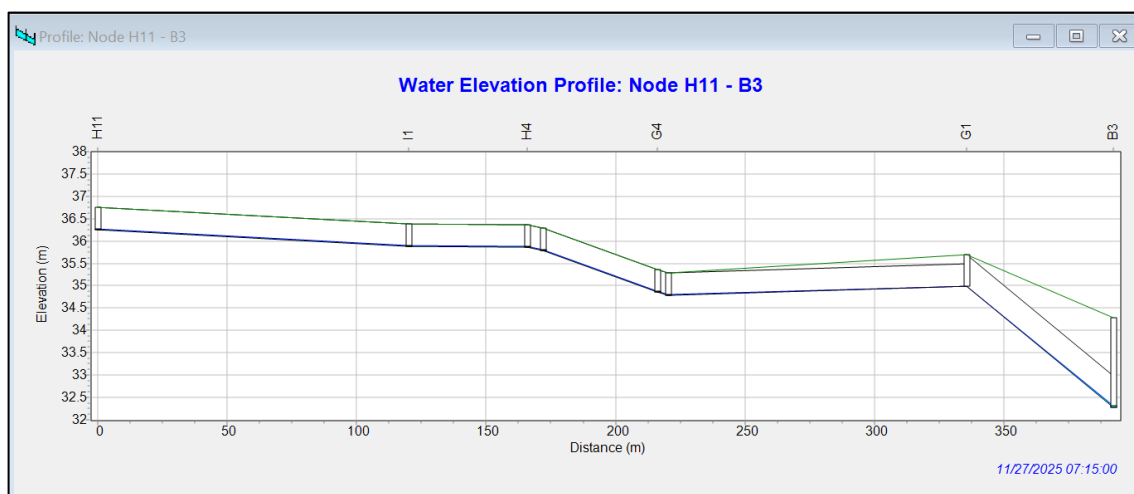
Gambar 4. 23 Hasil Running SWMM Tanggal 27 November 2025



Gambar 4. 24 Hasil Running SWMM Pengecekan Limpasan
Pada Tanggal 27 November 2025

Berdasarkan hasil simulasi menggunakan EPA SWMM, terlihat adanya variasi kondisi aliran pada jaringan drainase. Warna merah pada hasil simulasi menunjukkan kondisi aliran yang mendekati atau melebihi kapasitas saluran, sedangkan warna biru menunjukkan kondisi aliran yang masih berada dalam kapasitas saluran. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa

simulasi SWMM mampu menggambarkan perubahan debit aliran secara dinamis terhadap waktu sehingga kondisi aliran pada jaringan drainase dapat dianalisis dengan lebih realistis.



Gambar 4. 25 Hasil Pengecekan Water Elvation Profile H11- B3

Hasil Water Elevation Profile pada jalur H11–B3 menunjukkan perubahan elevasi muka air dan elevasi dasar saluran sepanjang jalur aliran. Profil tersebut memperlihatkan arah aliran dari elevasi yang lebih tinggi menuju elevasi yang lebih rendah sehingga aliran bergerak dari hulu menuju hilir sesuai kondisi topografi jaringan drainase penelitian.

Subcatchment	Total Precip	Total Runoff	Peak Runoff	Runoff Coeff
53	42,73	23,41	0,03	0,548
56	42,74	22,64	0,02	0,53
57	42,73	23,61	0,02	0,552
58	42,74	23,61	0,01	0,552
59	42,74	23,61	0,02	0,552
60	42,74	23,6	0,02	0,552
61	42,74	19,75	0,01	0,462
62	42,73	23,6	0,03	0,552
63	42,73	23,61	0,03	0,552
69	42,74	22,64	0,02	0,53
73	42,74	23,41	0,05	0,548

Gambar 4. 26 Hasil Summary Report Subacactment Runoff

Berdasarkan hasil Summary Report Subcatchment Runoff pada simulasi EPA SWMM 5.2 dengan metode SCS-CN, setiap subcatchment menghasilkan nilai limpasan yang berbeda sesuai luas area, kondisi permukaan, dan parameter infiltrasi yang digunakan. Wilayah penelitian menerima curah hujan total sebesar 42,74 mm dengan nilai infiltrasi berkisar antara 19,75 mm hingga 23,61 mm.

Hasil simulasi menunjukkan limpasan permukaan (total runoff) rata-rata sebesar 23 mm dengan koefisien limpasan antara 0,462 hingga 0,552. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sebagian curah hujan berubah menjadi limpasan permukaan akibat karakteristik tata guna lahan dan permukaan kedap air pada kawasan penelitian. Pada saluran utama menuju outfall di titik M, debit aliran total dari seluruh subcatchment mencapai debit puncak sebesar 0,08 m³/detik pada Link 86. Hidrograf aliran menunjukkan respons yang cepat terhadap distribusi hujan selama periode simulasi 24 jam, dimana debit puncak terjadi pada jam ke-17.

Hasil simulasi SWMM menunjukkan angka debit yang berbeda dibandingkan metode Rasional dan Haspers. Perbedaan itu terjadi karena SWMM menjalankan simulasi proses air dan aliran air secara dinamis, dengan memperhitungkan proses masuknya air ke tanah, pengumpulan air yang mengalir, durasi waktu aliran, serta kemampuan saluran drainase. Penelitian Arifin (2026) menyatakan bahwa pemodelan SWMM bisa mengevaluasi kemampuan saluran drainase dengan lebih detail karena memperhatikan kondisi air dalam sistem secara menyeluruh.

Oleh karena itu, hasil dari SWMM dianggap lebih mewakili dalam menunjukkan cara aliran air bergerak di dalam jaringan drainase dibandingkan metode empiris yang hanya memberikan estimasi debit rencana. Perbedaan hasil antara metode manual dan simulasi SWMM disebabkan karena SWMM memperhitungkan variasi waktu hujan, akumulasi aliran, serta interaksi antar saluran secara dinamis sehingga hasil simulasi lebih menggambarkan kondisi aliran aktual di lapangan.

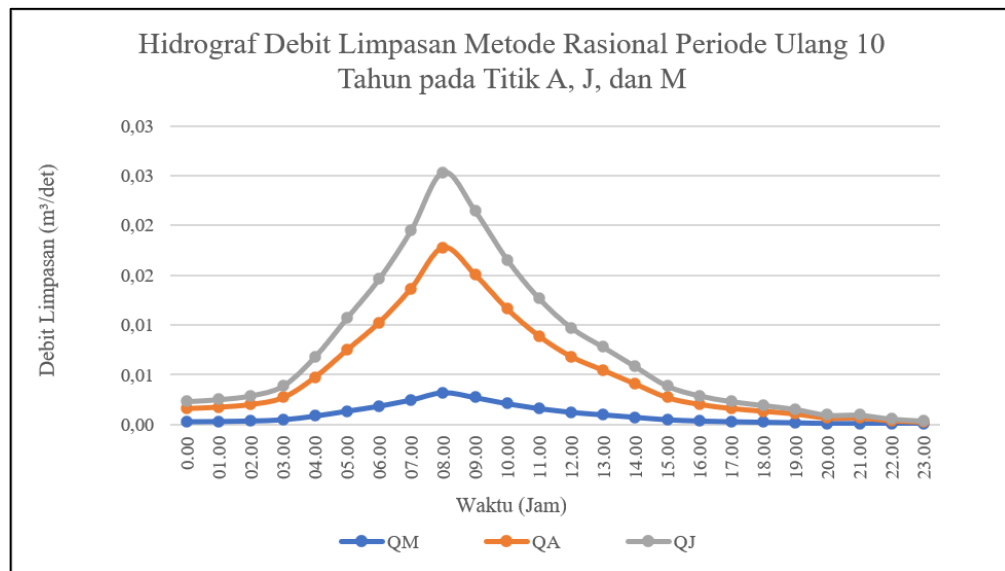
4.4. GRAFIK PERBANDINGAN DARI DEBIT RASIONAL, HASPERS, DAN SWMM

Perbandingan debit limpasan dilakukan untuk mengetahui perbedaan pola debit yang dihasilkan oleh metode Rasional, metode Haspers, dan simulasi SWMM pada kawasan penelitian. Analisis dilakukan menggunakan grafik hidrograf sehingga perubahan debit terhadap waktu dapat diamati dengan lebih jelas pada masing-masing metode.

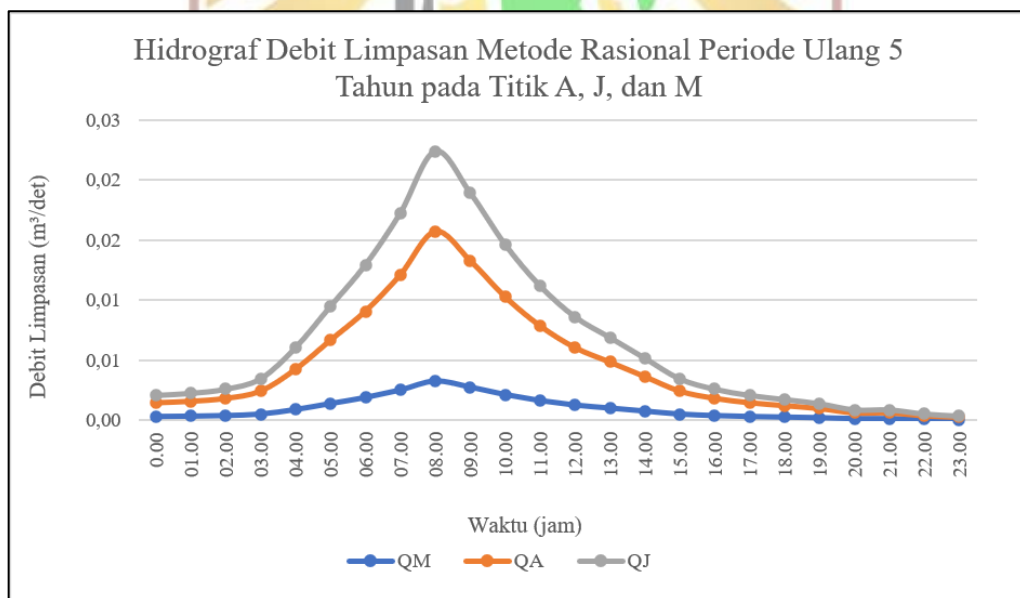
Pada metode Rasional dan Haspers, debit limpasan dihitung berdasarkan distribusi hujan jam-jaman yang diperoleh dari penyusunan hyetograph hujan rancangan periode ulang 2, 5, dan 10 tahun. Perhitungan dilakukan terhadap beberapa titik pengamatan yang mewakili bagian hulu, tengah, dan outlet saluran, yaitu Titik A, Titik J, dan Titik M. Sedangkan pada metode SWMM, hidrograf debit diperoleh langsung dari hasil simulasi model berupa grafik Node Total Inflow dan Link Flow terhadap waktu.

4.4.1. Perbandingan Hidrograf Debit Metoda Rasional

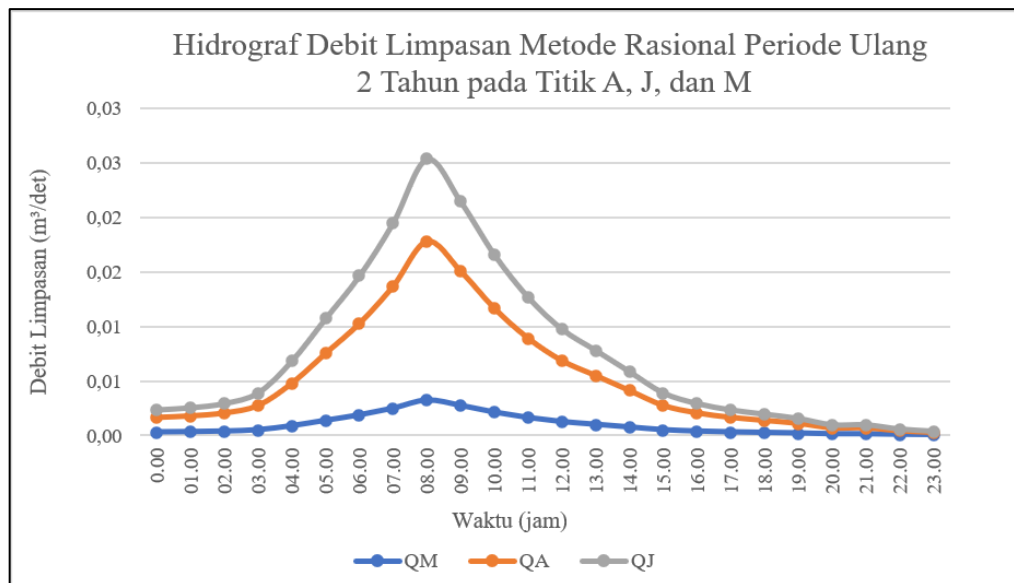
Grafik hidrograf metode Rasional periode 2,5, dan 10 tahun menunjukkan pola debit limpasan yang mengikuti distribusi intensitas hujan pada hyetograph. Debit meningkat secara bertahap hingga mencapai debit puncak, kemudian mengalami penurunan seiring berkurangnya intensitas hujan.



Gambar 4. 27 Grafik Hidrograf Debit Rasional Pada Periode Ulang 10 Tahun



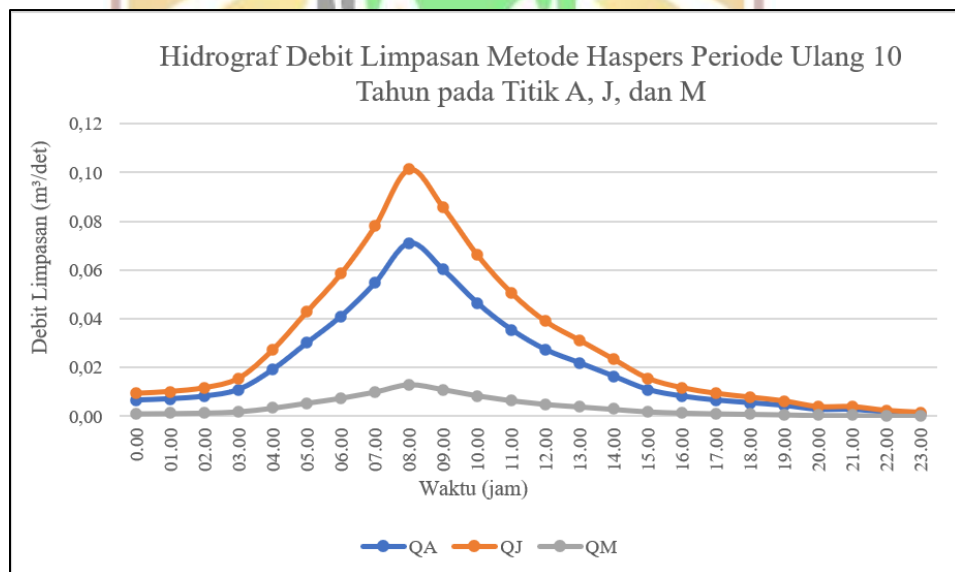
Gambar 4. 28 Grafik Hidrograf Debit Rasional Pada Periode Ulang 5 Tahun



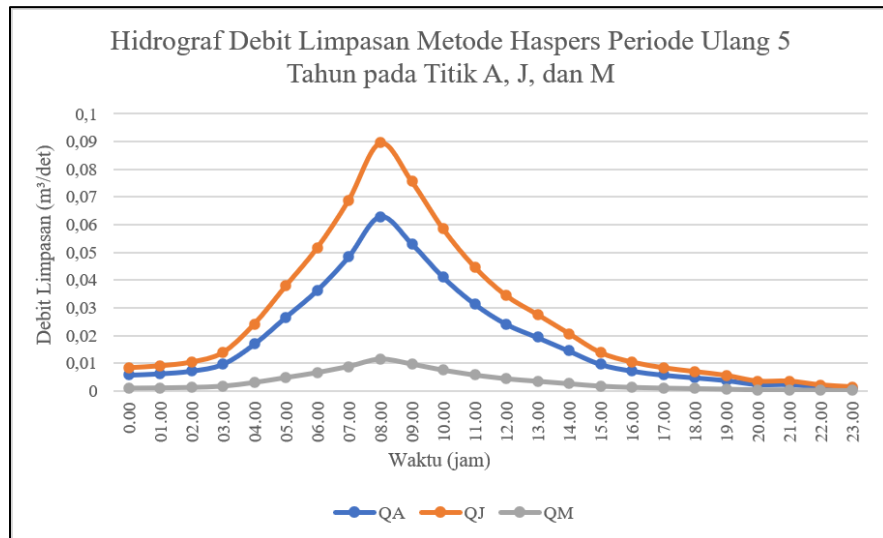
Gambar 4. 29 Grafik Hidrograf Debit Rasional Pada Periode Ulang 2 Tahun

4.4.2. Perbandingan Hidrograf Debit Metoda Haspers

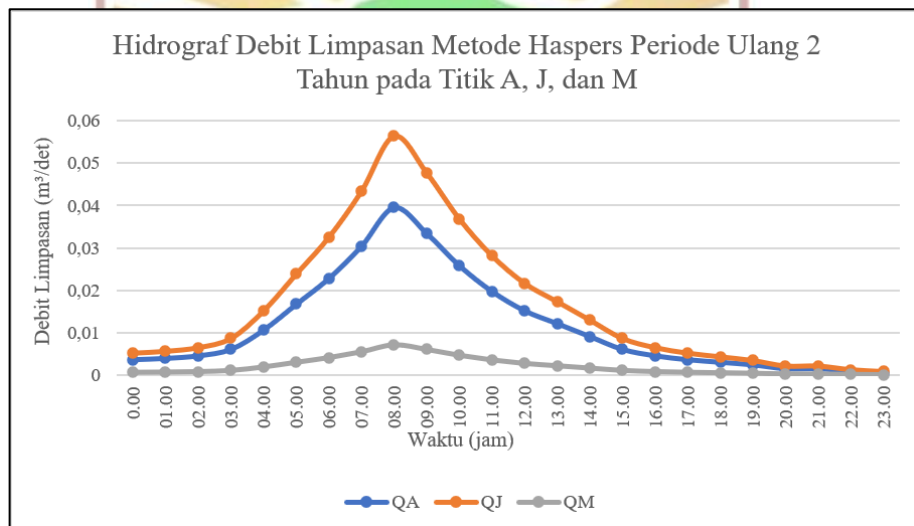
Grafik hidrograf metode Haspers menunjukkan debit limpasan yang lebih besar dibandingkan metode Rasional karena mempertimbangkan parameter empiris tambahan seperti koefisien reduksi dan karakteristik daerah tangkapan.



Gambar 4. 30 Grafik Hidrograf h Debit Haspers Pada Periode Ulang 10 Tahun



Gambar 4. 31 Grafik Hidrograf Debit Haspers Pada Periode Ulang 5 Tahun

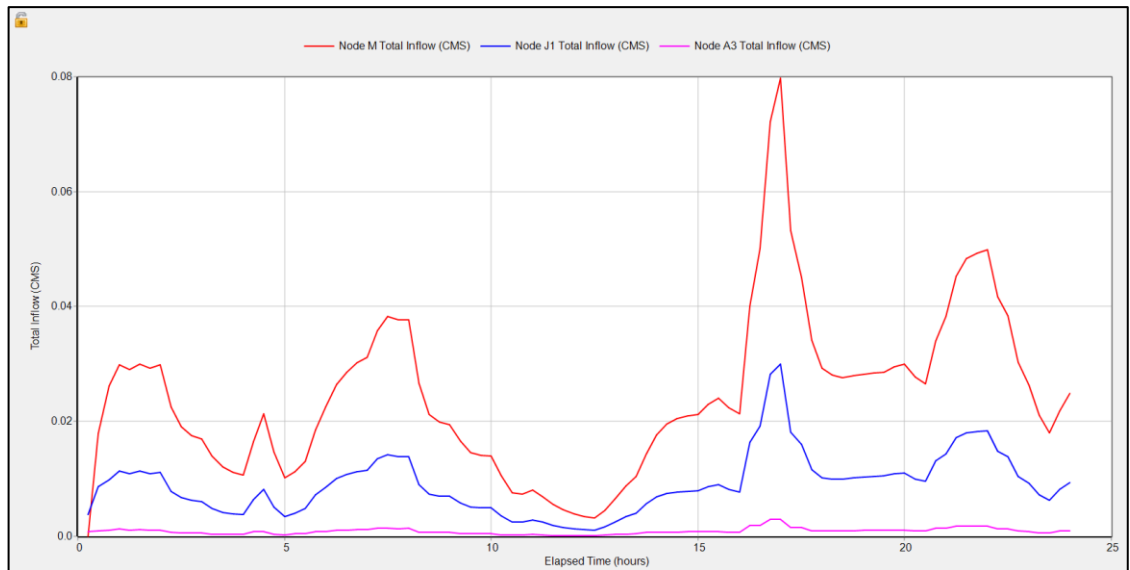


Gambar 4. 32 Grafik Hidrograf Debit Haspers Pada Periode Ulang 2 Tahun

Perbedaan nilai debit antara metode Haspers dan metode Rasional dipengaruhi oleh penggunaan parameter empiris seperti koefisien pengaliran dan koefisien reduksi pada metode Haspers sehingga menghasilkan nilai debit yang berbeda pada setiap periode ulang.

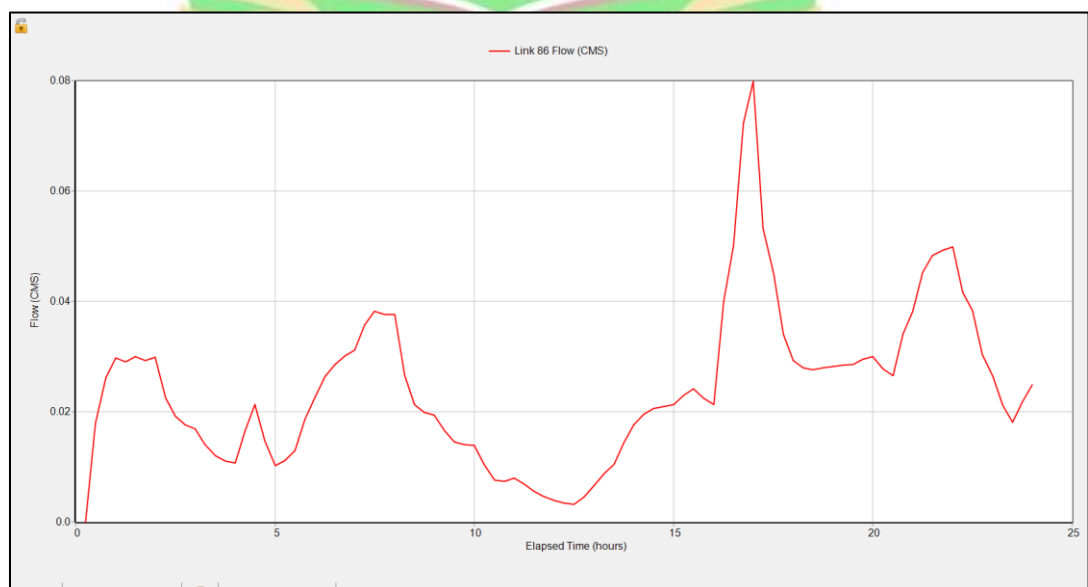
4.4.3. Hasil Simulasi SWMM

Hasil simulasi SWMM diperoleh menggunakan input curah hujan jam-jaman dalam bentuk hyetograph sehingga model mampu menunjukkan perubahan debit limpasan terhadap waktu secara dinamis. Simulasi SWMM menunjukkan pola debit yang lebih dinamis terhadap waktu karena mempertimbangkan proses infiltrasi, akumulasi aliran, dan interaksi antar saluran pada jaringan drainase. Grafik hidrograf SWMM diperoleh dari output Node Total Inflow dan Link Flow pada saluran yang ditinjau.



Gambar 4. 33 Grafik Running di SWMM pada Titik A,J, dan M

Grafik node total inflow di titik A, J, dan M menunjukkan perbedaan jumlah air yang masuk ke setiap node. Debit di Titik A lebih rendah karena berada di bagian atas sistem saluran drainase dan hanya menerima air yang mengalir dari daerah tangkapan yang tidak terlalu luas. Debit di Titik J meningkat karena adanya aliran tambahan dari beberapa daerah tangkapan air yang bergabung ke dalam sistem saluran drainase. Sementara itu, Titik M sebagai pusat penerima mengumpulkan aliran dari semua area tangkapan, sehingga menghasilkan volume aliran yang lebih besar dibandingkan titik lainnya. Kondisi ini menunjukkan bahwa pola aliran yang dihasilkan oleh SWMM sesuai dengan ciri-ciri jaringan drainase, di mana debit air akan semakin besar saat bergerak ke arah hilir karena adanya pengumpulan aliran.

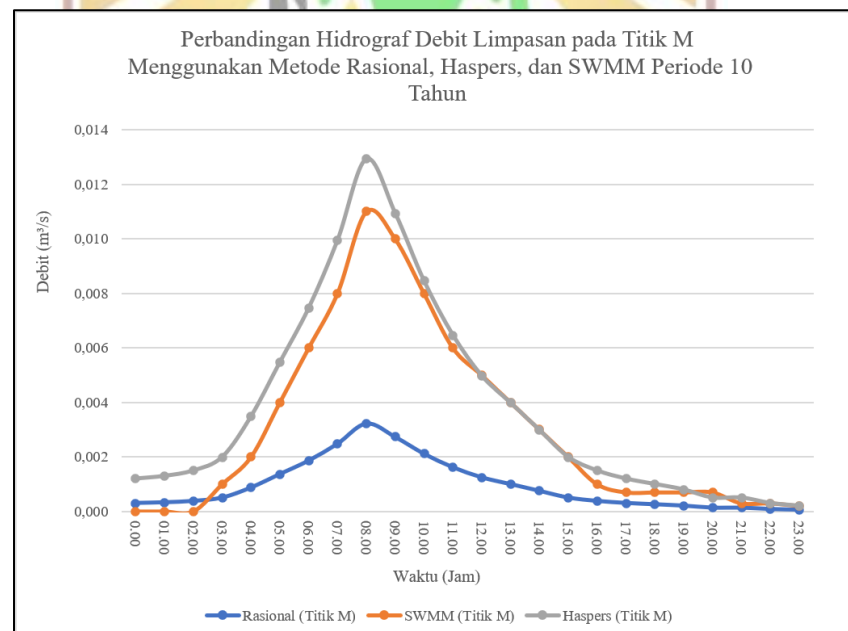


Gambar 4. 34 Grafik Debit Aliran (Link Flow) pada Saluran Menuju Outlet Titik M

Grafik hidrograf SWMM diperoleh dari hasil simulasi debit aliran pada saluran (Link Flow) dan node pengamatan pada jaringan drainase penelitian. Grafik menunjukkan perubahan debit limpasan terhadap waktu selama simulasi berlangsung. Debit aliran mengalami fluktuasi mengikuti distribusi hujan, dimana debit meningkat hingga mencapai debit puncak pada jam tertentu kemudian mengalami penurunan secara bertahap setelah intensitas hujan berkurang.

Pada saluran utama menuju outlet titik M, debit aliran mencapai nilai puncak sekitar 0,08 m³/detik akibat akumulasi limpasan dari beberapa subcatchment. Hasil simulasi SWMM memperlihatkan pola aliran yang lebih dinamis karena mempertimbangkan distribusi hujan terhadap waktu, kapasitas saluran, infiltrasi metode SCS-CN, dan interaksi aliran pada jaringan drainase secara lebih rinci. Menurut Rossman (2022), hasil dari simulasi SWMM bergantung pada cara hujan turun seiring waktu, sifat-sifat subcatchment, proses infiltrasi tanah, serta hubungan antar saluran dalam sistem drainase. Oleh karena itu, grafik debit yang dihasilkan oleh SWMM mampu menampilkan kondisi aliran yang lebih sesuai dengan kenyataan dibandingkan metode yang hanya berdasarkan pengalaman, karena SWMM memperhitungkan proses terkait air secara bersamaan.

4.4.4. Perbandingan Debit Metode Rasional, Debit Metoda Haspers, dan SWMM.



Gambar 4. 35 Grafik Perbandingan Hidrograf Debit Limpasan pada Titik M Menggunakan Metode Rasional, Haspers, dan SWMM

Hasil perbandingan ketiga metode yaitu Rasional, Haspers, dan SWMM menunjukkan bahwa pola hidrograf yang dihasilkan hampir sama, yaitu debit air yang mengalir meningkat seiring dengan meningkatnya besar hujan hingga mencapai titik tertinggi, lalu berkurang

perlahan. Meski demikian, ada perbedaan yang signifikan dalam tingkat debit dan bentuk kurva hidrograf yang dihasilkan oleh kedua metode tersebut. Metode Rasional menghasilkan debit air yang lebih kecil karena menggunakan cara yang didasarkan pada pengalaman dan data nyata, yaitu dengan mempertimbangkan koefisien limpasan, tingkat curah hujan, serta luas area yang tergenang. Sementara itu, metode Haspers menghasilkan debit yang lebih besar karena menggunakan rumus empiris dan parameter perhitungan yang berbeda, sehingga dalam penelitian ini memberikan estimasi debit yang lebih rendah dibandingkan metode Rasional.

Simulasi dengan menggunakan SWMM menghasilkan bentuk grafik air yang lebih berubah-ubah dan lebih aktif karena memperhitungkan cara hujan turun sepanjang waktu, proses menyerap air tanah dengan metode SCS-CN, kemampuan saluran, serta cara aliran air bergerak di dalam sistem drainase. Oleh karena itu, hasil simulasi SWMM mampu menjelaskan kondisi air dan aliran air secara lebih jelas dibandingkan metode yang hanya mengandalkan pengalaman karena mempertimbangkan hubungan antar bagian dalam sistem saluran.

Dari grafik perbandingan debit di Titik M yang merupakan titik keluaran, terlihat bahwa metode Haspers menghasilkan debit yang lebih tinggi dibandingkan metode Rasional. Perbedaan itu terjadi karena masing-masing metode menggunakan rumus, asumsi, dan parameter yang berbeda dalam menghitung debit banjir rencana. Dalam penelitian ini, metode Haspers memberikan perkiraan debit yang lebih besar dibandingkan metode Rasional. Hasil ini sesuai dengan penelitian Fadli dkk.(2025) yang menyatakan bahwa metode Haspers menghasilkan debit banjir rencana yang lebih tinggi dibandingkan metode Rasional pada kala ulang 10 tahun. Perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa setiap metode mempunyai cara dan karakteristik perhitungan yang berbeda, sehingga menghasilkan perkiraan debit yang tidak selalu sama. Debit air yang dihasilkan bergantung pada ciri-ciri wilayah tangkapan air, nilai-nilai parameter hidrologi, serta cara perhitungan yang diterapkan oleh setiap metode yang digunakan.

BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. KESIMPULAN

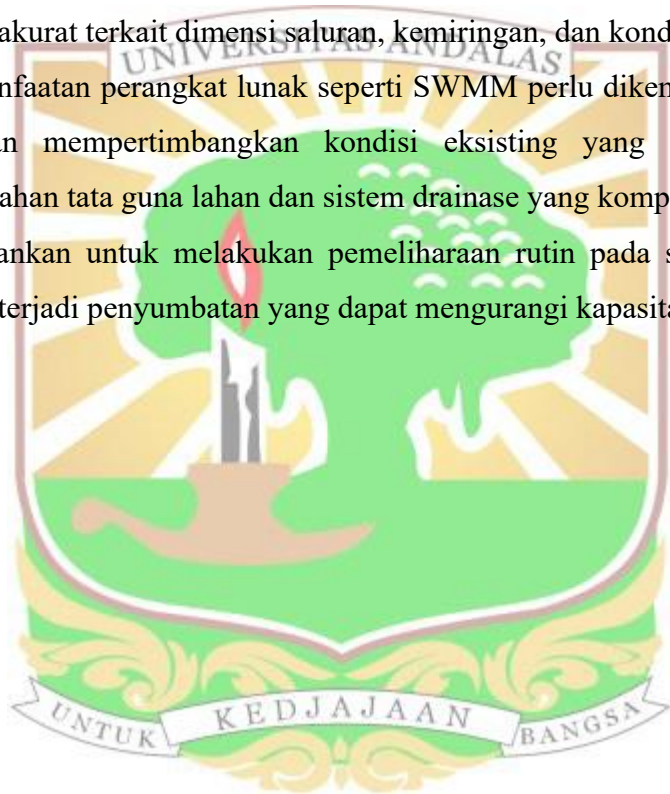
Berdasarkan hasil analisis hidrologi dan hidraulika pada sistem drainase di Komplek Pelangi Indah, Kecamatan Kuranji, Kota Padang, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Analisis curah hujan menggunakan data satelit NASA Giovanni menghasilkan curah hujan rencana periode ulang 2 tahun, 5 tahun, dan 10 tahun yang digunakan sebagai dasar dalam analisis debit limpasan dan simulasi SWMM.
2. Analisis frekuensi curah hujan menggunakan distribusi Log Pearson Tipe III menunjukkan bahwa distribusi tersebut memenuhi uji Smirnov-Kolmogorov sehingga dapat digunakan dalam penentuan curah hujan rencana pada penelitian ini.
3. Curah hujan rencana yang diperoleh untuk periode ulang 2, 5, dan 10 tahun masing-masing sebesar 37,35 mm, 59,27 mm, dan 67,10 mm. Nilai ini menunjukkan peningkatan seiring bertambahnya periode ulang.
4. Hasil perhitungan debit menggunakan metode Rasional menunjukkan bahwa sebagian besar saluran drainase masih mampu menampung debit limpasan. Namun, terdapat beberapa titik yang memiliki debit inflow lebih besar dibandingkan kapasitas saluran sehingga berpotensi menimbulkan genangan.
5. Perhitungan debit menggunakan metode Haspers menghasilkan debit yang relatif lebih besar dibandingkan metode Rasional karena mempertimbangkan koefisien reduksi dan karakteristik daerah tangkapan pada perhitungan debit limpasan.
6. Hasil pemodelan menggunakan EPA SWMM 5.2 dengan metode infiltrasi SCS-CN menunjukkan pola aliran yang lebih dinamis dan realistis karena mempertimbangkan distribusi hujan terhadap waktu, infiltrasi, kapasitas saluran, serta karakteristik sistem drainase. Secara umum, sistem drainase pada lokasi penelitian masih berfungsi dengan baik, namun terdapat beberapa bagian yang perlu dievaluasi untuk mengurangi potensi genangan.

5.2. SARAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka disampaikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan evaluasi dan pemeliharaan rutin pada saluran drainase, terutama pada titik yang menunjukkan debit mendekati kapasitas saluran saat simulasi berlangsung.
2. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan data curah hujan dengan resolusi waktu yang lebih detail (jam atau menit) agar hasil analisis lebih akurat.
3. Perlu dilakukan pengukuran langsung di lapangan untuk memperoleh data yang lebih akurat terkait dimensi saluran, kemiringan, dan kondisi aktual drainase.
4. Pemanfaatan perangkat lunak seperti SWMM perlu dikembangkan lebih lanjut dengan mempertimbangkan kondisi eksisting yang lebih detail, seperti perubahan tata guna lahan dan sistem drainase yang kompleks.
5. Disarankan untuk melakukan pemeliharaan rutin pada saluran drainase agar tidak terjadi penyumbatan yang dapat mengurangi kapasitas aliran.



DAFTAR PUSTAKA

- Agusalim, M. (2024). Hietograf Hujan Rencana sebagai Input SWMM. *Arus Jurnal Sains dan Teknologi*.
- Ananda, M., Utama, T., Suprpto, B., & Rokhmawati, A. (2025). Di Kelurahan Jatimulyo Kota Malang. In *Jurnal Rekayasa Sipil* | (Vol. 64, Number 1).
- Arifin, M. (2026). Analisis Kapasitas Hidraulik Saluran Drainase Menggunakan SWMM.
- Azizah, C., Ayu Lizar, C., & Kurnia Risna, Y. (2023). Metode Empiris Untuk Menganalisis Aliran Limpasan Permukaan Dalam Perancangan Sumberdaya Air (Empirical Methods For Analyzing Surface Runoff Flows In Water Resources Design). <http://journal.umuslim.ac.id/index.php/jla>
- Azizah, C., Ayu Lizar, C., & Kurnia Risna, Y. (2024). Metode Empiris Untuk Menganalisis Aliran Limpasan Permukaan Dalam Perancangan Sumberdaya Air (Empirical Methods For Analyzing Surface Runoff Flows In Water Resources Design). <http://journal.umuslim.ac.id/index.php/jla>
- Bagus Suryatmaja, I., Agung, A., Ritaka Wangsa, R., Gusti, I., Istri, A., & Pramudita, L. (2025). Pemodelan Evaluasi Kapasitas Saluran Drainase Menggunakan Perangkat Lunak Storm Water Management Model (SWMM). *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 14(2). <https://e-journal.unmas.ac.id/index.php/jikt>
- Fadli M. Analisis debit banjir menggunakan metode rasional dan metode haspers di DAS Majene Kabupaten Majene. *Jurnal Teknik Sipil (JUTSI)*. 2025;1(1):78–86.
- Fikri Wahyuddin, M. S., Musa, R., & Ashad, H. (2024). Kajian Koefisien Limpasan Penutup Lahan dengan Perkerasan Aspal (Uji Laboratorium).
- Fitriani, N. Z., Bisri, M., & Lufira, R. D. (2024). Evaluasi Sistem Drainase dan Penerapan Ekodrainase di Universitas Brawijaya Kampus Veteran Menggunakan Aplikasi SWMM 5.2. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 4(02), 1214–1226. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2024.004.02.126>
- Helen Gianditha Wayangkau, & Raymond Feril Hattu. (2025). Evaluasi Sistem Drainase Perkotaan dengan Model Simulasi SWMM pada Kawasan Padat Penduduk. *Jurnal Studi Dan Aplikasi Teknik Sipil (JSATS)*, 1(1), 7–12. <https://doi.org/10.64123/jsats.v1.i1.2>
- Ismail, Afandi Ahmad, Muh.Yunus Ali, & Ma'rufah. (2023). siklus hidrologi bab 2 baruu.
- Kamian, I. M. (2011). Teknik Perhitungan Debit Rencana Bangunan Air.
- Madhatillah, & Har, R. (2020). Pdf-Analisis-Debit-Air-Limpasan-Permukaan-Run-Off-Akibat-Perubahan-Tata-Guna-Lahan-Pada-Das-Kuranji-Dan-Das-Batang-Arau-Kota-Padang_Compress (2).
- Mahmood, A., Han, J. C., Ijaz, M. W., Siyal, A. A., Ahmad, M., & Yousaf, M. (2022). Impact of Sediment Deposition on Flood Carrying Capacity of an Alluvial Channel: A Case Study of the Lower Indus Basin. *Water (Switzerland)*, 14(20). <https://doi.org/10.3390/w14203321>

- Manaf, A., Yusman, & Fadli, M. A. (2025). Jurnal Teknik Sipil Analisis Debit Banjir Menggunakan Metode Rasional Dan Metode Hasper Di Das Majene Kabupaten Majene. <https://Ojs.Unsulbar.Ac.Id/Index.Php/Jutsi>
- Nurhamidah, Muhammad Kurniawan, & Ahmad Junaidi. (2018). Tinjauan Perubahan Tata Guna Lahan Terhadap Limpasan Permukaan Kasus : Das Batang Arau Padang. Jurnal Rekayasa Sipil (JRS-Unand), 14(2), 73. <https://doi.org/10.25077/jrs.14.2.73-80.2018>
- Pramesti, M. Y., Runi Asmaranto, & Jafan Sidqi Fidari. (2023). Studi Evaluasi Saluran Drainase Terhadap Genangan Banjir di Kelurahan Blimbing Menggunakan Model EPA SWMM 5.1. Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air, 3(2), 476–489. <https://doi.org/10.21776/ub.jtresda.2023.003.02.041>
- Pratiwi, D., Sinia, R. O., & Fitri, A. (2020). Peningkatan Pengetahuan Masyarakat Terhadap Drainase Berporus Yang Difungsikan Sebagai Tempat Peresapan AIR HUJAN. Journal Sosial Science and Technology for Community Service (JSSTCS), 1(2), 17–23. <https://ejurnal.teknokrat.ac.id/index.php/teknoabdimas>
- Pujiastuti, R., & Risna, N. D. (n.d.). Analisa Sensitivitas Durasi Hujan Pada Perhitungan Debit Banjir Das Tenggang Dan Sringin.
- Ramadhan, Y. R., & Putro, D. A. (2023). Rapid modeling of catastrophic floods: a case study of the Padang flood on July 14, 2023. E3S Web of Conferences, 604. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202560404003>
- Raynaldi Hasbi Rahman. (2021). Analisis Perbandingan Perhitungan Debit Puncak Banjir Rancangan Dengan Metode Der Weduwen, Melchior Dan Haspers Pada Das Renggung.
- Respatiningrum, A. W., Limantara, L. M., & Andawayanti, U. (2021). Analisis Debit Limpasan dan Indeks Erosivitas Hujan pada Metode USLE Akibat Variasi Intensitas Hujan dengan Alat Rainfall Simulator. In Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air (Vol. 1, Number 2). <https://jtresda.ub.ac.id/>
- Rifta Iftina Azzah, Totok Dwi Kuryanto, & Nanang Saiful Rizal. (2025). metoda hasper new.
- Sipahutar, A. A. (2024). Analisis Debit Banjir Rencana Menggunakan Metode Rasional, Haspers dan Weduwen. Universitas Medan Area.
- Soewarno. (1995). Aplikasi Metode Statistik Untukn Analisis Data.
- Widyasari, T., & Meigawati, I. A. (2024). Perbandingan Debit Limpasan Metode Rasional dan Pemodelan SWMM Jaringan Drainase Jalan Parangtritis KM 3,5-4,5. Publikasi Riset Orientasi Teknik Sipil (Proteksi), 6(2), 183–194. <https://doi.org/10.26740/proteksi.v6n2.p183-194>
- Yamin, M., Winardi, A., & Isnasari, W. (2024). Analisis Debit Banjir menggunakan Metode Haspers dan Gamma I Pada Daerah Aliran Sungai Jangkok Kabupaten Lombok Barat Flood Discharge Analysis Using the Haspers and Gamma I Methods in the Jangkok River Basin, West Lombok Regency. In SIJ (Vol. 7, Number 2).

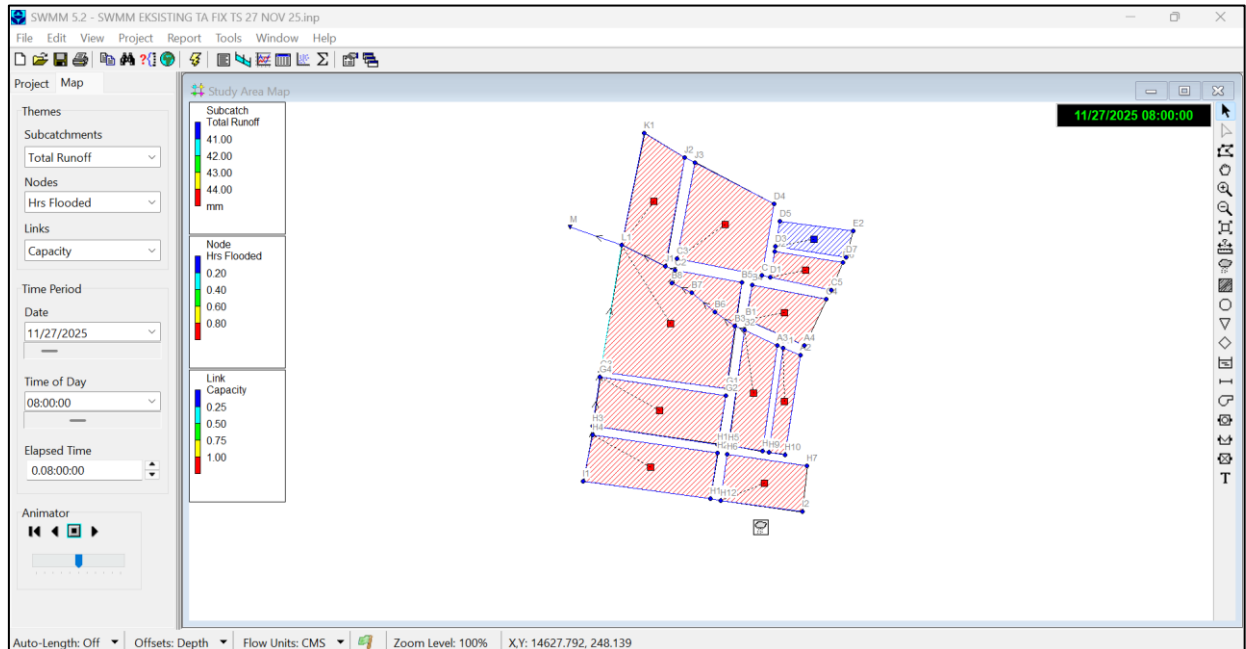
Yesika Amelia Tani, Charles Johandersson, & Tiwery. (n.d.). Analisa Faktor Penyebab Terjadinya Limpasan Air Pada Saluran Drainase Di Desa Leksula, Kabupaten Buru Selatan, Menggunakan Program EPA SWMM.

Widyasari, T. (2024). Perbandingan Debit Limpasan Metode Rasional dan SWMM. Universitas Negeri Surabaya.



LAMPIRAN

Gambar A.1 Pemodelan jaringan drainase pada EPA SWMM 5.2



Gambar A.2 Hasil Subcatchment Runoff Summary

SWMM 5.2 - SWMM EKISTING TA FIX TS 27 NOV 25.inp - [Summary Results]

Topic: Subcatchment Runoff Click a column header to sort the column.

Subcatchment	Total Precip mm	Total Runon mm	Total Evap mm	Total Infil mm	Imperv Runoff mm	Perv Runoff mm	Total Runoff mm	Total Runoff 10*6 ltr	Peak Runoff CMS	Runoff Coeff
53	70.18	0.00	0.00	25.00	17.55	27.60	45.16	0.25	0.01	0.643
56	70.18	0.00	0.00	25.10	17.56	27.50	45.06	0.15	0.01	0.642
57	70.18	0.00	0.00	25.00	17.56	27.61	45.16	0.15	0.01	0.643
58	70.18	0.00	0.00	25.00	17.56	27.61	45.18	0.08	0.00	0.644
59	70.18	0.00	0.00	25.00	17.56	27.61	45.17	0.14	0.01	0.644
60	70.18	0.00	0.00	25.00	17.56	27.61	45.17	0.07	0.00	0.644
61	70.18	0.00	0.00	30.00	7.02	33.13	40.16	0.06	0.00	0.572
62	70.19	0.00	0.00	25.00	17.55	27.61	45.16	0.28	0.01	0.643
63	70.19	0.00	0.00	25.00	17.56	27.61	45.17	0.23	0.01	0.644
69	70.18	0.00	0.00	25.07	17.56	27.53	45.10	0.20	0.01	0.643
73	70.19	0.00	0.00	25.00	17.55	27.60	45.16	0.52	0.02	0.643

Auto-Length: Off Offsets: Depth Flow Units: CMS Zoom Level: 100% X,Y: 14377.335, 2826.899

Gambar A.3 Grafik debit aliran (Link Flow)



Gambar A.4 Profil elevasi muka air (Water Elevation Profile)

