

## LAPORAN AKHIR

# INOVASI PEMANFAATAN WADUK MINI UNTUK PENGENDALIAN BANJIR DAN GENANGAN DI KECAMATAN PANAKKUKANG



### Pengusul:

**Dr. Ir. Riswal Karamma, ST., MT., IPM., AER**

**Indriyanti, ST., MT.**

**Farida Gaffar, ST., MM., IPM**

**Nurhidayat, ST., MT.**

**UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR**

**BADAN RISET DAN INOVASI DAERAH**

**(BRIDA)**

**PEMERINTAH KOTA MAKASSAR**

**2025**

# DAFTAR ISI

	<b>Hal.</b>
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL .....	iv
DAFTAR GAMBAR .....	v
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Pernyataan Masalah .....	4
1.3 Objektif.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	7
2.1 Landasan Teori .....	7
2.1.1 Siklus Hidrologi.....	7
2.1.2 Data Hujan.....	8
2.1.3 Limpasan ( <i>Runoff</i> ).....	11
2.1.4 <i>Infiltrasi</i> .....	14
2.1.5 Waktu Konsentrasi .....	17
2.1.6 Banjir.....	18
2.1.7 Mitigasi Banjir .....	20
2.1.8 Sistem Drainase .....	23
2.1.9 Kolam Retensi .....	24
2.1.10 Kolam Detensi .....	27
2.1.11 Hidrolika Saluran .....	30
2.1.12 Aplikasi EPA-SWMM 5.2.....	32
2.2 Penelitian Sebelumnya .....	35
2.3 Kesenjangan Penelitian dan Kebaharuan .....	38
BAB III METODE PENELITIAN .....	40
3.1. Desain Penelitian .....	40
3.2. Data Penelitian .....	43
3.3. Teknik Pengumpulan Data.....	43
3.3.1 Data Primer.....	43
3.3.2 Data Sekunder.....	44
3.4. Analisis Data.....	45

BAB IV HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	48
4.1 Analisis Hidrologi.....	48
4.1.1 Stasiun Curah Hujan Yang Berpengaruh .....	48
4.1.2 Curah Hujan Maksimum.....	49
4.1.3 Uji Konsistensi Data Curah Hujan.....	50
4.1.4 Analisis Parameter Statistik.....	52
4.1.5 Analisis Hujan Rancangan .....	54
4.1.6 Analisis Intensitas Hujan .....	56
4.2 Analisis Tutupan Lahan.....	57
4.3 Analisis Hidrolika .....	59
4.3.1 Sistem Drainase Eksisting.....	59
4.3.2 Pemodelan SWMM Sebelum ada Waduk .....	60
4.3.3 Pemodelan SWMM dengan Penambahan Waduk .....	63
4.4 Perbandingan Kinerja Sistem Drainase Sebelum dan Sesudah Penerapan Waduk.....	66
BAB V PENUTUP .....	69
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran .....	69
DAFTAR PUSTAKA .....	70
LAMPIRAN .....	73

## DAFTAR TABEL

	<b>Hal.</b>
Tabel 1. Kriteria penentuan metode perhitungan curah hujan (Suripin, 2004).....	9
Tabel 2. Nilai koefisien aliran (C), untuk persamaan rasional (Triadmojo, 2008)	13
Tabel 3. Koefisien aliran untuk metode rasional (dari Harsing, 1995); Suripin 2004) .....	13
Tabel 4. Perkiraan parameter untuk rumus Horton (Horton, 1941) .....	16
Tabel 5. Angka kekasaran permukaan lahan (Suripin, 2004).....	18
Tabel 6. Penyebab banjir (Kodoatie & Sugiyanto, 2002) .....	19
Tabel 7. Metode perhitungan debit banjir (Limantara, 2010) .....	20
Tabel 8. Perbedaan Kolam Retensi dan Kolam Detensi.....	29
Tabel 9. Koefisien Manning untuk Saluran Tertutup .....	31
Tabel 10. Koefisien Manning untuk Overland Flow.....	31
Tabel 11. Kajian penelitian terdahulu .....	36
Tabel 12. Matrik Kebutuhan Data .....	43
Tabel 13. Posisi Stasiun Curah Hujan di Sekitar Kecamatan Panakkukang.....	48
Tabel 14. Curah hujan maksimum harian rata-rata.....	50
Tabel 15. Data Hujan Maksimum Harian Hasil Pengujian Kurva Massa Ganda.	51
Tabel 16. Tabel analisis pemilihan Distribusi Gumbel dan Normal .....	52
Tabel 17. Tabel analisis distribusi log Normal dan Log Pearson tipe III.....	53
Tabel 18. Ketentuan pemilihan distribusi curah hujan .....	54
Tabel 19. Analisis Frekuensi Curah Hujan Distribusi Log Person III .....	54
Tabel 20. Batas Kelas Uji Chi Kuadrat .....	55
Tabel 21. Perhitungan Chi Kuadrat .....	55
Tabel 22. Kesimpulan Hasil Uji Chi Kuadrat .....	55
Tabel 23. Hasil Perhitungan Uji Smirnov Kolmogorof .....	56
Tabel 24. Kesimpulan Uji Smirnov Kolmogorof.....	56
Tabel 25. Perhitungan Hujan Jam-Jaman Metode Mononobe .....	57
Tabel 26. Koefisien Limpasan berdasarkan tutupan lahan.....	58
Tabel 27. Dimensi saluran sekunder eksisiting .....	59
Tabel 28. Data parameter tiap subcatchment .....	60
Tabel 29. Output Kapasitas Saluran dari Hasil Pemodelan SWMM.....	62
Tabel 30. Rencana Luasan Waduk Mini.....	64
Tabel 31. Debit Puncak Sebelum dan Setelah Ada Waduk Mini.....	66
Tabel 32. Matriks Potensi Pembangunan Kolam/Waduk Mini .....	68

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Hal.</b>
Gambar 1. Siklus hidrologi.....	8
Gambar 2. Hubungan antara <i>infiltrasi</i> dengan aliran permukaan dan curah hujan (David et al., 2016).....	15
Gambar 3. Kurva <i>infiltrasi</i> menurut Horton (Horton, 1941) .....	16
Gambar 4. Pengendalian banjir metode struktur dan non struktur (Kodoatie & Sugiyanto, 2002) .....	22
Gambar 5. Perubahan puncak banjir dengan adanya tampungan .....	22
Gambar 6. Kolam Retensi Tipe di Samping Badan Sungai .....	25
Gambar 7. Kolam Retensi di Dalam Badan Sungai .....	26
Gambar 8. Kolam Retensi Tipe Storage Memanjang .....	27
Gambar 9. Legenda EPA SWMM 5.2.....	33
Gambar 10. Tahapan Rancangan Penelitian .....	41
Gambar 11. Lokasi Kegiatan di Kecamatan Panakkukang.....	42
Gambar 12. Peta Lokasi Stasiun Curah Hujan .....	49
Gambar 13. Grafik uji konsistensi data curah hujan stasiun paotere .....	50
Gambar 14. Grafik uji konsistensi data curah hujan stasiun Panakkukang.....	51
Gambar 15. Grafik uji konsistensi data curah hujan stasiun Parangloe .....	51
Gambar 16. Grafik Kurva Intensitas .....	57
Gambar 17. Peta Tutupan Lahan Kecamatan Panakkukang Kota Makassar .....	58
Gambar 18. Pemodelan Jaringan Drainase .....	59
Gambar 19. Tampilan simulasi pemodelan SWMM.....	61
Gambar 20. Lokasi Waduk Mini.....	64
Gambar 21. Layout Pemodelan dengan penempatan waduk mini/kolam .....	65
Gambar 22. Layout Posisi Kolam Pada Zona 6D (Jalan Boulevard).....	65
Gambar 23. Hidrograf Sebelum dan Setelah Ada Waduk Mini S. Pampang .....	67

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan kota metropolitan selalu diiringi dengan peningkatan pembangunan infrastruktur guna mendukung pertumbuhan ekonomi dan kebutuhan masyarakat yang semakin kompleks. Seiring dengan pesatnya urbanisasi, permintaan akan sarana transportasi, perumahan, serta fasilitas umum terus meningkat, menuntut perencanaan kota yang lebih matang.

Seperti halnya dengan Kota Makassar dalam beberapa dekade terakhir telah membawa dampak signifikan terhadap tata ruang dan infrastruktur kota. Sebagai salah satu pusat pertumbuhan ekonomi di Indonesia bagian timur, ekspansi kawasan permukiman, komersial, dan industri terus meningkat. Namun, laju urbanisasi yang cepat ini tidak selalu diimbangi dengan pembangunan infrastruktur yang memadai.

Permukiman perkotaan memiliki kepadatan serta populasi manusia yang tinggi. Kebutuhan akan perumahan yang semakin bertambah sebagai konsekuensi peningkatan laju pertumbuhan penduduk dengan tambahan urbanisasi, mengakibatkan alih fungsi lahan diperkotaan menyebabkan pengurangan kemampuan lahan sebagai fungsi meresapkan air dan meningkatkan volume limpasan serta menambah beban drainase. ( Saidah, H., et al., 2021). Dulu, kondisi Kota Makassar masih jauh berbeda. Dengan urbanisasi yang terus meningkat, lahan terbuka semakin berkurang dan menyebabkan peningkatan *run off*.

Kecamatan Panakkukang merupakan wilayah permukiman yang padat serta pusat bisnis utama di Kota Makassar, yang menyumbang aktivitas ekonomi dan sosial yang sangat tinggi. Sebagai kawasan yang memiliki infrastruktur perkotaan yang berkembang pesat. Peningkatan jumlah bangunan dan jalan yang tidak dapat menyerap air (*impervious surfaces*) membuat sistem drainase yang ada tidak mampu menampung limpasan air hujan yang semakin besar, sehingga menyebabkan genangan di sepanjang ruas jalan utama dan mengganggu aktivitas masyarakat. Karena Kecamatan Panakkukang juga merupakan pusat bisnis yang sangat vital bagi perekonomian kota, masalah genangan dan banjir yang terjadi di

wilayah ini tidak hanya merugikan masyarakat setempat tetapi juga dapat mengganggu perekonomian lokal dan kegiatan bisnis.

Kecamatan Panakkukang di Kota Makassar kerap mengalami banjir dan genangan akibat curah hujan tinggi, terutama ketika kapasitas saluran drainase tidak mampu mengalirkan debit air yang meningkat secara signifikan. Berdasarkan laporan terbaru dari DetikSulsel (2024), banjir yang melanda Panakkukang disebabkan oleh meluapnya air kanal yang tidak mampu menampung limpasan air hujan. Akibatnya, beberapa wilayah mengalami genangan berkepanjangan yang menghambat aktivitas Masyarakat.

Faktor utama yang berkontribusi terhadap permasalahan banjir di Kecamatan Panakkukang meliputi:

1. Melimpahnya air dari kanal utama yang tidak memiliki kapasitas tampung optimal.
2. Kurangnya infrastruktur pengendali air hujan seperti waduk mini dan area resapan.
3. Sistem drainase yang tidak optimal dalam menyalurkan air ke tempat pembuangan akhir.
4. Tingginya laju urbanisasi yang mengurangi lahan terbuka hijau dan meningkatkan limpasan permukaan.
5. Kecamatan Panakkukang memiliki banyak daerah dataran rendah yang rentan terhadap genangan dan banjir saat musim hujan.

Salah satu alasan pemilihan Kecamatan Panakkukang sebagai lokasi penelitian adalah karena wilayah ini memiliki potensi lahan budidaya yang cukup signifikan yang tercantum dalam Rencana Tata Ruang Wilayah (RTRW) Kota Makassar. Lahan budidaya ini berpotensi dimanfaatkan sebagai bagian dari solusi pengendalian banjir dan genangan melalui pemanfaatan waduk mini atau kolam retensi. Lahan yang masuk dalam kawasan budidaya ini memiliki karakteristik yang memungkinkan untuk diterapkannya teknik-teknik pengelolaan air, seperti penyimpanan air hujan untuk keperluan air bersih atau pengelolaan air tanah.

Permasalahan banjir dan genangan di Kota Makassar merupakan sebuah fenomena alam yang sangat kompleks dan sulit dihindari. Salah satu penyebab terjadinya banjir di Kota Makassar adalah pengelolaan tata air yang belum optimal (Karamma., et.al 2021). Banyak saluran drainase di Kota Makassar yang belum terkoneksi dengan baik. Tidak hanya itu, dimensi saluran yang ada saat ini juga

tidak sesuai volume air yang harus ditangani. Dalam hal ini curah hujan ekstrim yang melebihi kapasitas sistem drainase eksisting.

Untuk memperluas saluran atau membuat dimensi baru, kita dihadapkan pada masalah pembebasan lahan permukiman. Selain itu sedimentasi dan sampah turut memperparah kapasitas saluran. Sistem drainase yang tidak tertata secara hierarki (primer-sekunder-tercier) juga merupakan salah satu kendala. Minimnya infrastruktur hijau dan waduk penampung air yang dapat mengurangi volume limpasan secara efektif. Jika masalah ini tidak ditangani dengan pendekatan yang tepat, banjir dan genangan akan terus menerus menjadi masalah tahunan di Kota Makassar.

Pemerintah kota Makassar telah berupaya mengatasi masalah ini dengan berbagai program drainase, namun pengelolaan banjir yang efektif memerlukan pendekatan yang lebih inovatif dan berkelanjutan. Salah satu solusi yang dianggap potensial adalah dengan memanfaatkan waduk mini sebagai salah satu upaya pengendalian banjir dan genangan. Kolam penampungan air hujan merupakan Solusi penting dalam pengelolaan air hujan yang mengatur pembuangan daerah tangkapan air perkotaan ke Sungai. (Goorden, M. A., et al., 2024). Waduk mini dapat menjadi sarana untuk menampung air hujan yang berlebih dan mencegah terjadinya genangan di daerah yang rawan banjir, sekaligus memberikan manfaat ekologis, seperti pemeliharaan sumber daya air dan peningkatan kualitas lingkungan.

Berbagai penelitian dan upaya penanganan yang telah dilakukan pada umumnya masih berfokus pada pembangunan infrastruktur pengendali banjir skala besar di tingkat kota atau DAS, sehingga belum sepenuhnya menjawab kebutuhan tampungan air berskala kecil dan menengah yang dapat disisipkan di kawasan permukiman padat dan koridor kegiatan ekonomi seperti di Kecamatan Panakkukang. Di sisi lain, pemanfaatan lahan budidaya yang masih tersedia dalam RTRW Kota Makassar sebagai ruang potensial untuk pengembangan waduk mini masih belum dikaji secara komprehensif, khususnya yang terintegrasi dengan sistem drainase eksisting. Kajian mengenai waduk mini sebagai infrastruktur hijau yang tidak hanya berfungsi menurunkan debit puncak dan mengurangi genangan, tetapi juga berpotensi menambah ruang terbuka hijau dan cadangan air tanah, juga masih terbatas. Oleh karena itu, diperlukan penelitian yang secara khusus mengkaji inovasi pemanfaatan waduk mini terintegrasi dengan jaringan drainase di Kecamatan Panakkukang berbasis pemodelan

SWMM dan analisis spasial, sebagai dasar perumusan rekomendasi teknis pengendalian banjir dan genangan di Kota Makassar.

## **1.2 Pernyataan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang memuat tentang permasalahan, tantangan dan potensi yang dihadapi dalam menangani limpasan/genangan di Kota Makassar. Di dalam penelitian ini terdapat beberapa rumusan masalah antara lain :

1. Bagaimana karakteristik hidrologi, limpasan permukaan, dan kapasitas drainase eksisting yang menyebabkan genangan di Kecamatan Panakkukang?
2. Di mana lokasi strategis untuk pembangunan waduk mini berdasarkan analisis hidrologi, spasial, dan kondisi saluran eksisting?
3. Seberapa efektif waduk mini dalam mereduksi debit puncak limpasan berdasarkan pemodelan SWMM?

## **1.3 Objektif**

Tujuan penelitian ini sebagai berikut :

1. Menganalisis karakteristik hidrologi, limpasan permukaan, serta kapasitas sistem drainase eksisting yang berkontribusi terhadap terjadinya genangan di Kecamatan Panakkukang..
2. Mengidentifikasi dan menentukan lokasi strategis untuk pembangunan waduk mini berdasarkan parameter hidrologi, spasial, dan pemodelan hidrolika saluran eksisting
3. Mengevaluasi efektivitas waduk mini dalam mereduksi debit puncak limpasan menggunakan pemodelan hidrologi–hidrolika berbasis SWMM.

## **1.4 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah:

1. Penelitian ini dapat berkontribusi meningkatkan Pengelolaan Sumber Daya Air. Waduk mini berfungsi untuk menampung limpasan air hujan dan mengurangi aliran langsung ke saluran drainase, yang dapat mengurangi beban pada sistem drainase dan mencegah kerusakan akibat banjir. Juga dapat digunakan untuk kebutuhan lainnya pada musim kemarau. Dengan

demikian, waduk mini dapat menjadi sumber air cadangan yang berguna untuk kebutuhan domestik di saat pasokan air terbatas.

2. Penerapan waduk mini sejalan dengan prinsip pembangunan berkelanjutan yang mencakup pemanfaatan ruang terbuka hijau. Waduk mini dapat berfungsi juga sebagai ruang terbuka hijau yang memberikan manfaat estetika dan ekologis, seperti penyediaan habitat untuk flora dan fauna serta membantu menjaga keseimbangan ekosistem.
3. Memberikan kontribusi yang signifikan untuk mendorong terciptanya infrastruktur kota yang lebih berkelanjutan dan ramah lingkungan, yang juga dapat meningkatkan nilai properti dan daya tarik investasi di kawasan tersebut.
4. Penelitian ini akan memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan dalam bidang manajemen sumber daya air, teknik lingkungan, dan perencanaan kota, terutama terkait dengan pengelolaan banjir dan genangan di perkotaan. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi untuk penelitian lebih lanjut dalam bidang yang sama.

## **1.5 Sistematika Penulisan**

Agar penelitian ini dapat berjalan efektif dan mencapai tujuan yang diharapkan maka penyusunan sistematika penulisan sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

- 1.1. Latar Belakang : Menyajikan alasan mengapa topik ini penting untuk diteliti, penjelasan mengenai kondisi Kecamatan Panakkukang dan masalah banjir serta genangan yang terjadi. Relevansi dari solusi yang diusulkan dalam penelitian ini
- 1.2. Pernyataan Masalah : Penjabaran mengenai masalah utama yang dihadapi di Kecamatan Panakkukang terkait dengan pengendalian genangan dan banjir
- 1.3. Objektif : Menyampaikan secara jelas apa yang ingin dicapai dalam penelitian ini
- 1.4. Manfaat Penelitian : Menyajikan manfaat yang diharapkan dari penelitian ini untuk berbagai pihak: masyarakat, pemerintah, lingkungan dan akademisi
- 1.5. Sistematika Penulisan : Penyusunan dalam penelitian

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

- 2.1. Landasan Teori : Teori utama yang relevan dengan penelitian
- 2.2. Penelitian Terdahulu : Hasil penelitian sebelumnya yang relevan

## BAB III METODE PENELITIAN

- 3.1. Desain Penelitian : Jenis penelitian, Lokasi penelitian.
- 3.2. Data Penelitian : Populasi dan sampel data yang dibutuhkan dalam penelitian
- 3.3. Teknik Pengumpulan Data : Cara pengambilan data
- 3.4. Teknik Analisis Data : Metode yang digunakan untuk menganalisis data

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

- 4.1. Hasil Analisis Data dan Pembahasan
- 4.2. Implikasi

## BAB V PENUTUP

- 5.1. Kesimpulan
- 5.2. Rekomendasi

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Landasan Teori**

Urbanisasi dan perubahan iklim menimbulkan dua tantangan utama terkait pengelolaan air hujan di perkotaan. Sistem drainase mengumpulkan dan menyalurkan limpasan yang dihasilkan dari daerah permukaan perkotaan yang kedap air, seperti jalan dan jenis tutupan lahan lainnya dan membuang volume yang berlebihan ke muara untuk menghindari banjir perkotaan (Goorden, M. A., et al., 2024). Pengendalian banjir di wilayah perkotaan telah menjadi isu penting dalam perencanaan kota. Banjir dan genangan sering terjadi akibat ketidakseimbangan antara permukaan yang tidak dapat menyerap air (*impervious surfaces*) dan kapasitas sistem drainase yang ada.

Menurut Rita Lopa (2013), sistem drainase berkelanjutan (*Sustainable Drainage System*) melibatkan pengelolaan air hujan yang tidak hanya berfokus pada pembuangan air, tetapi juga pada penyimpanan, infiltrasi, dan peresapan air. Pendekatan ini sangat relevan dengan penerapan waduk mini, yang berfungsi untuk menampung air hujan berlebih dan memperlambat aliran air ke saluran drainase utama.

##### **2.1.1 Siklus Hidrologi**

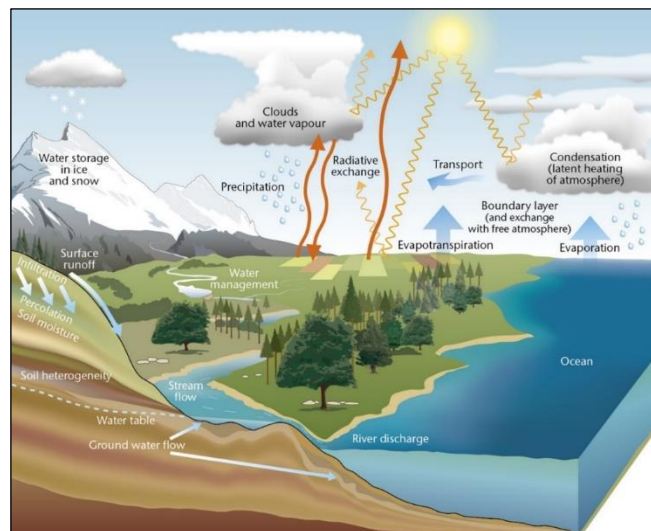
Siklus hidrologi merupakan proses alami yang mengatur pergerakan air di bumi melalui beberapa tahapan seperti penguapan, kondensasi, presipitasi dan aliran air kembali ke laut atau permukaan tanah. Berdasarkan penelitian Koutsoyiannis et al. (2020), siklus ini mengalami peningkatan intensitas akibat perubahan iklim, yang menyebabkan peningkatan kelembapan di atmosfer serta perubahan pola curah hujan dan penguapan di berbagai wilayah. Hal ini berkaitan dengan pemanasan global yang memperkuat proses-proses dalam siklus hidrologi tersebut.

Siklus hidrologi menggambarkan perpindahan air dari lautan ke atmosfer, yang kemudian kembali ke daratan dalam bentuk *presipitasi*, sebelum akhirnya mengalir kembali ke laut. Proses ini dimulai dengan *evaporasi*, di mana panas matahari memicu penguapan air dari lautan, badan air lainnya, serta permukaan

tanah dan vegetasi. Uap air yang terbentuk kemudian terbawa oleh angin, mengalami *kondensasi*, dan turun kembali ke bumi sebagai hujan atau *presipitasi* lainnya. Sebelum mencapai tanah, sebagian air hujan tertahan di kanopi pohon dan daun, sementara sisanya jatuh ke tanah melalui cabang dan batang.

Setelah mencapai permukaan tanah, air hujan mengalami beberapa jalur pergerakan. Sebagian air terserap ke dalam tanah melalui proses *infiltrasi*, yang membentuk kelembapan tanah. Jika tanah jenuh, air mulai bergerak secara lateral atau horizontal, membentuk aliran bawah permukaan (*subsurface flow*) yang akhirnya bermuara ke sungai. Air yang terserap lebih dalam menjadi air tanah (*groundwater*), yang dapat tersimpan di lapisan bawah tanah dan berkontribusi terhadap aliran dasar (*baseflow*) di musim kemarau, yang pelan-pelan mengalir ke sungai atau danau.

Sebagian dari air yang terserap ke tanah dan kelembapan yang ada di permukaan kembali ke atmosfer melalui proses *transpirasi* dan *evaporasi*. Proses ini menjaga keberlanjutan siklus air yang berperan penting dalam ekosistem dan keseimbangan lingkungan. Seperti terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Siklus hidrologi

### 2.1.2 Data Hujan

Data curah hujan digunakan untuk memprediksi jumlah air yang akan masuk ke wilayah studi dalam jangka waktu tertentu. Apabila terdapat kekosongan atau ketidakkonsistenan dalam data curah hujan selama periode tertentu, maka model simulasi curah hujan dapat diterapkan untuk mengisi kekosongan tersebut.

Namun, model ini hanya dapat dilakukan apabila jumlah data hujan yang tersedia cukup untuk digunakan sebagai dasar pembangkitan data yang akurat. Model pembangkitan curah hujan ini bergantung pada data historis yang tersedia, sehingga ketepatan model sangat dipengaruhi oleh kelengkapan dan kualitas data yang telah dikumpulkan.

Guo et al. (2020) juga menyoroti peran penting data curah hujan dalam merancang sistem drainase yang efektif. Data historis curah hujan digunakan untuk memodelkan aliran air dan volume yang perlu ditangani oleh jaringan drainase di daerah dengan peningkatan urbanisasi yang pesat.

Pengukuran curah hujan dilakukan dengan menggunakan alat *Ombrometer* manual atau otomatis, dan dapat pula menggunakan alat *automatic weather station* yang tidak hanya mengukur curah hujan tapi juga mengukur komponen iklim lainnya, yaitu: suhu, kelembaban, lama penyinaran matahari, kecepatan dan arah angin dan lainnya. Data curah di suatu wilayah biasanya hanya tercatat di satu titik saja (*point rainfall*), oleh karena itu, diperlukan lebih dari satu stasiun hujan untuk menghitung curah hujan rencana dengan lebih akurat. Besaran nilai curah hujan dalam suatu wilayah dapat dihitung dengan pendekatan metode rata-rata hitung (aritmatik), metode polygon thiesen dan metode isohyet, dengan ketentuan sebagai berikut:

Tabel 1. Kriteria penentuan metode perhitungan curah hujan (Suripin, 2004)

No	Jenis Kriteria	Metode yang dapat digunakan
1	Jaring - jaring penakar hujan	
	a. Jumlah pos penakar hujan cukup banyak	Aljabar, Thiessen atau Isohyet
	b. Jumlah pos penakar hujan terbatas	Aljabar atau Thiessen
	c. Jumlah pos penakar hujan tunggal	Metode Hujan Titik
2	Luas DAS	
	a. > 5000 km <sup>2</sup>	Isohyet
	b. 500 - 5000 km <sup>2</sup>	Thiessen
	c. < 500 km <sup>2</sup>	Aljabar
3	Topografi DAS	
	a. Pegunungan	Aljabar
	b. Daratan	Thiessen
	c. Berbukit tidak beraturan	Isohyet

Metode Aritmatik

$$P = \frac{P_1+P_2+P_3+\dots+P_n}{n} \quad (1)$$

Dengan:

P = Curah hujan wilayah/daerah (mm)

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>n</sub> = Curah hujan masing-masing stasiun (mm)

n = Jumlah stasiun hujan

Metode Poligon Thiesen

$$P = \frac{A_1 P_1 + A_2 P_2 + A_3 P_3 + \dots + A_n P_n}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (2)$$

Dengan:

A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>n</sub> = Luas pengaruh masing-masing stasiun

Metode Isohyet

$$P = \frac{A_1 \left( \frac{P_1 + P_2}{2} \right) + A_2 \left( \frac{P_2 + P_3}{2} \right) + A_3 \left( \frac{P_3 + P_4}{2} \right) + \dots + A_n \left( \frac{P_n + P_{n+1}}{2} \right)}{A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n} \quad (3)$$

Dengan:

P<sub>1</sub>, P<sub>2</sub>, P<sub>3</sub>, P<sub>n</sub> = Curah hujan masing-masing kontur isohyet (mm)

A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>, A<sub>3</sub>, A<sub>n</sub> = Luas wilayah antara 2 kontur isohyet (km<sup>2</sup>)

Intensitas hujan adalah jumlah curah hujan yang turun dalam rentang waktu tertentu. Secara umum, hujan memiliki karakteristik khusus, yaitu: semakin singkat durasi hujan, maka intensitasnya cenderung meningkat, dan semakin besar periode ulang hujan, semakin tinggi pula intensitasnya. Untuk menggambarkan hubungan antara intensitas, durasi, dan frekuensi hujan, dapat digunakan kurva Intensitas-Durasi-Frekuensi (IDF). Data hujan jangka pendek, seperti 5 menit, 10 menit, 30 menit, 60 menit, atau per jam, diperlukan untuk membangun kurva IDF menggunakan persamaan seperti Talbot, Sherman, Ishiguro, Haspers, dan Mononobe, tergantung pada ketersediaan data pendukung. Jika hanya tersedia data curah hujan harian, intensitas hujan dapat dihitung menggunakan rumus Mononobe dan Haspers (Suripin, 2004)

Persamaan Mononobe

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left( \frac{24}{t} \right)^{2/3} \quad (4)$$

Dengan:

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

R<sub>24</sub> = Curah hujan maksimum dalam 24 jam (mm)

t = Lamanya curah hujan (jam).

### 2.1.3 Limpasan (*Runoff*)

Sebagaimana dijelaskan dalam siklus hidrologi, air hujan yang jatuh dari atmosfer, jika tidak diserap oleh vegetasi atau permukaan buatan seperti atap bangunan atau permukaan kedap air lainnya, akan mencapai permukaan bumi. Sebagian dari air ini akan menguap, meresap (*infiltrasi*), atau tersimpan dalam cekungan-cekungan. Setelah berbagai kehilangan melalui proses tersebut terpenuhi, sisa air hujan akan mengalir di atas permukaan tanah menuju alur aliran terdekat. Dalam konteks perencanaan drainase, perhatian utama difokuskan pada aliran permukaan (*surface runoff*). Sedangkan, untuk pengendalian banjir, perhatian juga meliputi limpasan (*runoff*), yang mencakup kombinasi antara aliran permukaan, aliran tertunda dalam cekungan, dan aliran bawah permukaan (*subsurface flow*). (Suripin, 2004)

Beberapa faktor yang mempengaruhi limpasan (*runoff*) meliputi:

- a. Intensitas hujan: Curah hujan dengan intensitas tinggi cenderung menghasilkan aliran permukaan yang lebih besar, karena tanah tidak memiliki cukup waktu untuk menyerap air dengan cepat.
- b. Durasi hujan: memengaruhi seberapa lama air jatuh ke permukaan; hujan yang berlangsung lebih lama dapat meningkatkan jumlah air yang mencapai tanah, terutama jika terjadi melebihi kapasitas *infiltrasi* tanah, sehingga menghasilkan limpasan yang lebih tinggi.
- c. Distribusi curah hujan: merujuk pada pola penyebaran intensitas hujan selama suatu periode tertentu. Distribusi yang tidak merata, misalnya dengan intensitas tinggi di awal atau akhir hujan, dapat mengakibatkan peningkatan laju aliran permukaan, karena tanah mungkin tidak memiliki cukup waktu untuk menyerap air secara optimal. Kedua faktor ini berkontribusi terhadap volume dan kecepatan limpasan yang bergerak menuju sistem drainase atau aliran permukaan terdekat.
- d. Luas dan bentuk *Catchment Area* (CA): merupakan faktor penting yang memengaruhi limpasan (*runoff*). Luas CA berperan langsung dalam menentukan volume limpasan.
- e. Jenis tanah: Tanah yang jenuh air atau memiliki tingkat *permeabilitas* rendah cenderung meningkatkan aliran permukaan, karena air sulit meresap ke dalam tanah.

- f. Kemiringan lahan: Lereng atau kemiringan tanah memengaruhi kecepatan aliran air di permukaan; lahan yang lebih curam biasanya menghasilkan aliran permukaan yang lebih cepat.
- g. Penutupan lahan: Penutupan lahan seperti rumput atau vegetasi dapat membantu *infiltrasi* air ke dalam tanah, sehingga mengurangi aliran permukaan.
- h. Penggunaan lahan: Lahan yang telah dibangun dengan permukaan keras seperti beton atau aspal cenderung menghasilkan aliran permukaan yang lebih tinggi karena air tidak dapat terserap ke dalam tanah. Aliran permukaan/*runoff* berdampak signifikan pada pengelolaan air dan lingkungan. Aliran permukaan yang besar dapat menyebabkan banjir, erosi tanah, pencemaran air dan efek buruk lainnya. Oleh karena itu, tindakan mitigasi seperti pembuatan saluran air, penanaman vegetasi, dan perencanaan tata guna lahan yang baik dapat membantu mengurangi risiko aliran permukaan yang berlebihan.

Limpasan atau *runoff* memiliki dampak yang besar terhadap pengelolaan sumber daya air dan lingkungan. Tingginya aliran permukaan dapat memicu banjir, erosi tanah, pencemaran air, serta dampak negatif lainnya. Oleh karena itu, upaya mitigasi seperti pembangunan saluran air, penanaman vegetasi dan perencanaan penggunaan lahan yang tepat dapat membantu mengurangi risiko dari aliran permukaan yang berlebihan.

Koefisien limpasan (C) merupakan angka yang menunjukkan persentase curah hujan yang berubah menjadi aliran permukaan dibandingkan dengan yang diserap oleh tanah atau hilang melalui proses lain. Nilai koefisien limpasan berkisar antara 0 hingga 1, dengan nilai yang mendekati 1 menunjukkan bahwa hampir seluruh curah hujan menjadi aliran permukaan, kondisi yang umum terjadi pada permukaan *impermeabel* seperti beton atau aspal. Sebaliknya, nilai yang mendekati 0 mengindikasikan *infiltrasi* yang tinggi, seperti pada area dengan vegetasi lebat. Koefisien ini penting dalam perencanaan sistem drainase dan analisis hidrologi untuk memperkirakan volume limpasan yang dihasilkan oleh suatu wilayah.

Nilai Koefisien Aliran permukaan (C), untuk Persamaan Rasional disajikan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Nilai koefisien aliran (C), untuk persamaan rasional (Triadmojo, 2008)

Tata Guna Lahan	C	Tata Guna Lahan	C
<b>Perkantoran</b>		<b>Jalan Raya</b>	
Daerah Pusat Kota	0.70-0.95	Beraspal	0.70-0.95
Daerah Sekitar Kota	0.50-0.70	Berbeton	0.80-0.95
		Berbatu bata	0.70-0.85
		Trotoar	0.75-0.85
<b>Perumahan</b>		Daerah beratap	0.75-0.95
Rumah Tunggal	0.30-0.50		
Rumah susun	0.40-0.60		
terpisah		<b>Tanah lapang</b>	
Rumah susun	0.60-0.75	Berpasir, datar, 2%	0.05-0.10
bersambung		Berpasir, agak rata, 2-7%	0.10-0.15
Pinggiran kota	0.25-0.40	Berpasir, miring, 7%	0.15-0.20
		Tanah berat, datar, 2%	0.13-0.17
<b>Daerah Industri</b>		Tanah berat, agak rata, 2-7%	0.18-0.22
Kurang padat industri	0.50-0.80	Tanah berat, miring, 7%	0.25-0.35
Padat industri	0.60-0.90		
Taman, kuburan	0.10-0.25		
Tempat bermain	0.20-0.35		
Daerah stasiun KA	0.20-0.40		
Daerah tak berkembang	0.10-0.30		

Hassing (1995) dalam Suripin (2004) menyajikan metode untuk menentukan faktor C dengan mengintegrasikan nilai-nilai yang merepresentasikan berbagai faktor yang memengaruhi hubungan antara hujan dan aliran, yaitu topografi, permeabilitas tanah, penutup lahan, dan penggunaan lahan. Nilai koefisien C ini merupakan hasil kombinasi dari beberapa faktor yang dapat dihitung menggunakan Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Koefisien aliran untuk metode rasional (dari Harsing, 1995); Suripin 2004)

Koefisien aliran $C = C_1 + C_2 + C_3$					
Topografi	$C_1$	Tanah	$C_2$	Vegetasi	$C_3$
Datar (<1%)	0,03	Pasir dan gravel	0,04	Hutan	0,04
Bergelombang (1-10%)	0,08	Lempung dan pasir	0,08	Pertanian	0,11
Perbukitan (10-20%)	0,16	Lempung dan lanau	0,16	Padang rumput	0,21
Pegunungan (>20%)	0,26	Lempung batu	0,26	Tanpa tanaman	0,28

Untuk mendapatkan besaran koefisien limpasan ditetapkan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$C = \frac{\sum Ci Ai}{\sum Ai} \quad (5)$$

Dengan:

$C$  = Nilai rata-rata koefisien limpasan

$Ci$  = Koefisien limpasan pada tiap-tiap daerah

$Ai$  = Luas pada masing-masing daerah (ha)

#### 2.1.4 *Infiltrasi*

*Infiltrasi* menurut Nanda (2022) adalah proses di mana air masuk ke dalam tanah melalui permukaannya dan bergerak ke lapisan-lapisan tanah yang lebih dalam. Proses ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk karakteristik fisik tanah, seperti *porositas* dan *permeabilitas*, serta keadaan permukaan tanah seperti kelembaban awal. Setelah air terserap, air tersebut dapat bergerak secara horizontal sebagai aliran antar lapisan tanah (*interflow*) menuju sumber mata air, danau, atau sungai, atau bergerak secara vertikal, yang disebut *perkolasi*, menuju lapisan air tanah. Proses pergerakan air ini dipengaruhi oleh gaya gravitasi yang menarik air ke area yang lebih rendah dan gaya kapiler yang memungkinkan air bergerak ke berbagai arah, termasuk menuju area yang lebih kering. Tanah yang kering memiliki gaya kapiler lebih kuat dibandingkan tanah yang basah, tetapi gaya ini akan berkurang seiring meningkatnya kelembaban tanah. (Muharomah & Putranto, 2014).

Parameter penting selama proses *infiltrasi* yaitu laju *infiltrasi* dan kapasitas *infiltrasi*. Laju *infiltrasi* ( $f$ ) adalah laju maksimum di mana air dapat meresap ke dalam tanah pada kondisi tertentu, laju *infiltrasi* ini bisa bervariasi selama peristiwa hujan, di mana laju *infiltrasi* cenderung menurun seiring waktu sampai mendekati laju *infiltrasi* konstan. Kapasitas *infiltrasi* ( $f_p$ ) adalah laju maksimum di mana air dapat meresap ke dalam tanah pada kondisi tertentu. Faktor-faktor yang mempengaruhi kapasitas *infiltrasi* meliputi jenis tanah, struktur tanah, kelembaban awal tanah dan penutupan lahan. Ketika laju hujan melebihi kapasitas *infiltrasi*, air akan mulai mengalir sebagai limpasan permukaan. (Nanda, 2022).

Laju *infiltrasi* dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kedalaman genangan dan tebal lapis jenuh, kelembaban tanah, pemadatan oleh hujan, tanaman penutup, intensitas hujan dan sifat-sifat fisik tanah.

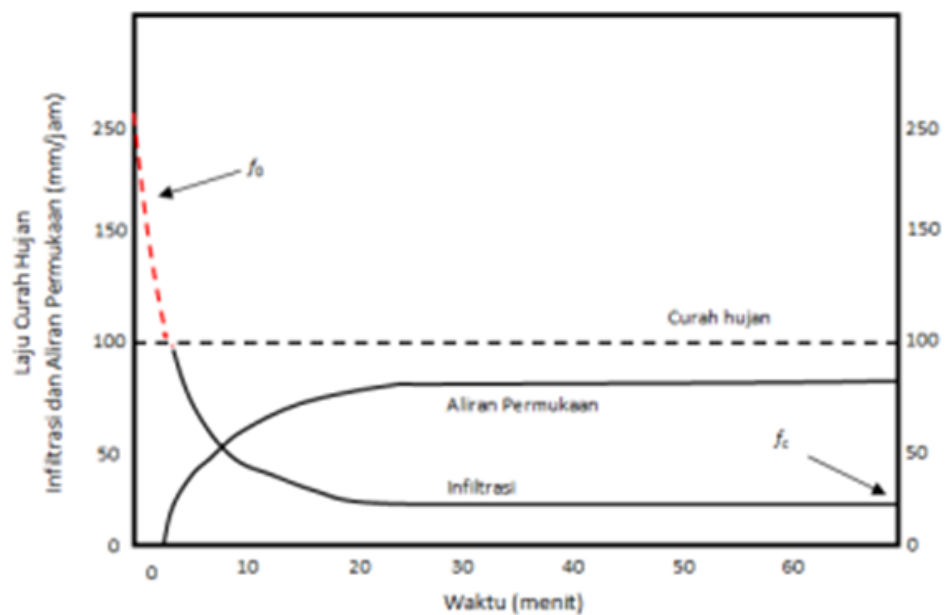
Ketika tanah berada dalam kondisi kering, laju *infiltrasi* cenderung tinggi, namun setelah tanah mengalami kejenuhan air, laju *infiltrasi* akan menurun hingga mencapai tingkat yang stabil. Laju ini diukur sebagai kemampuan tanah dalam menyerap volume air tertentu, yang merupakan parameter tambahan dalam analisis *infiltrasi*. Faktor-faktor seperti karakteristik fisik tanah serta ketersediaan air ( $R$ ) yang masuk ke dalam tanah membatasi besarnya laju *infiltrasi* tersebut.

$$R < f_p, \text{ maka } f = R, \text{ dan } f = f_p,$$

$$R > f_p, \text{ maka } f = f_p, \text{ dan } R > f$$

Ketika curah hujan diperkirakan berlangsung secara konstan, *infiltrasi* terbesar terjadi pada awal hujan ( $f_0$ ), sedangkan aliran permukaan baru terbentuk setelah beberapa waktu ketika intensitas hujan melebihi laju *infiltrasi* tanah. Laju aliran permukaan secara bertahap akan mencapai tingkat maksimum yang stabil, sementara laju *infiltrasi* juga akan mencapai nilai konstan seiring berjalannya waktu (David et al., 2016).

Gambar 2 mengilustrasikan hubungan antara laju *infiltrasi*, aliran permukaan, dan intensitas curah hujan. Pada kondisi curah hujan yang diperkirakan tetap konstan, *infiltrasi* terbesar terjadi pada awal hujan ( $f_0$ ). Aliran permukaan mulai terbentuk setelah hujan berlangsung selama beberapa waktu, yaitu ketika intensitas hujan melebihi laju *infiltrasi* tanah. Pada akhirnya, aliran permukaan akan mencapai tingkat maksimum yang stabil, sementara laju *infiltrasi* juga mencapai nilai konstan seiring berjalannya waktu.



Gambar 2. Hubungan antara *infiltrasi* dengan aliran permukaan dan curah hujan (David et al., 2016)

Model Horton, yang dikembangkan oleh Horton pada tahun 1933 (dalam Nanda, 2022) adalah model *infiltrasi* terkenal dalam bidang hidrologi. Horton menyatakan bahwa kapasitas *infiltrasi* menurun seiring waktu dan akhirnya mendekati nilai stabil. Penurunan ini lebih dipengaruhi oleh faktor-faktor yang bekerja pada permukaan tanah daripada oleh proses aliran air di dalam tanah. (Horton, 1940); ((David et al., 2016).). Laju *infiltrasi* berdasarkan Model Horton dihitung dengan persamaan:

$$f = f_c + (f_0 + f_c)e^{-kt} \quad (6)$$

$$k = \frac{f_0 - f_c}{F_c} \quad (7)$$

Dengan:

$f$  = laju *infiltrasi* (cm/jam)

$f_0$  = laju *infiltrasi* awal (cm/jam)

$f_c$  = laju *infiltrasi* akhir (cm/jam)

$e$  = bilangan dasar logaritma Naperian

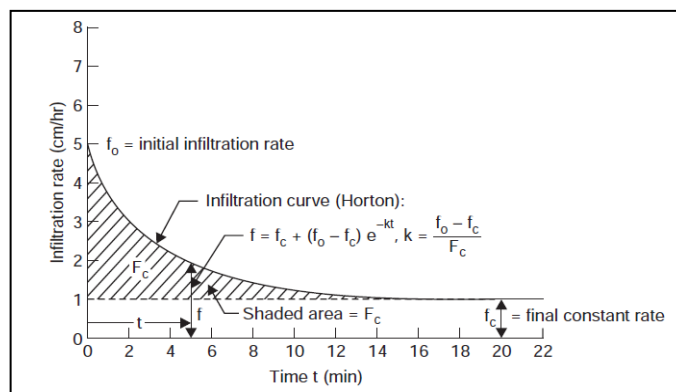
$F_c$  = selisih total volume *infiltrasi* dengan volume *infiltrasi* konstan (cm)

= luas kurva yang diarsir (Gambar 3 di bawah)

$t$  = waktu yang dihitung dari mulainya hujan (jam)

Tabel 4. Perkiraan parameter untuk rumus Horton (Horton, 1941)

Soil and Cover Complex	$f_0$ (mm/jam)	$f_c$ (mm/jam)	K (Menit <sup>-1</sup> )
Standar agricultural (bare)	280	6-220	1,6
Standar agricultural (turfed)	900	20-290	0,8
Peat	325	2-29	1,8
Fine Sandy Clay (bare)	210	2-25	2,0
Fine Sandy Clay (turfed)	670	10-30	1,4



Gambar 3. Kurva *infiltrasi* menurut Horton (Horton, 1941)

### 2.1.5 Waktu Konsentrasi

Waktu konsentrasi ( $T_c$ ) didefinisikan sebagai waktu yang diperlukan bagi aliran permukaan dari titik terjauh di daerah aliran sungai untuk mencapai titik outlet atau titik desain. Parameter ini mencerminkan seberapa cepat suatu daerah aliran sungai merespons peristiwa hujan dan merupakan elemen penting dalam analisis hidrologi. Estimasi yang akurat dari waktu konsentrasi sangat penting karena jika waktu ini diperkirakan terlalu rendah, hasilnya dapat berupa perhitungan debit puncak yang berlebihan, dan sebaliknya. (Sharifi, S., & Hosseini, S. M. 2011).

Waktu konsentrasi ( $T_c$ ) adalah parameter penting dalam analisis hidrologi, digunakan untuk memperkirakan debit puncak yang mencapai outlet suatu DAS akibat curah hujan efektif yang merata secara spasial dan temporal di seluruh daerah aliran.  $T_c$  mencerminkan durasi yang diperlukan bagi tetesan air untuk bergerak dari titik terjauh di dalam DAS menuju titik keluaran melalui jalur aliran terpanjang. Parameter ini memengaruhi desain sistem drainase perkotaan dan infrastruktur hidrolis lainnya, serta penting untuk pengembangan hidro-graf dalam perencanaan operasi infrastruktur tersebut. (Ravazzani, G., et al., 2019)

Metode Kirpich merupakan salah satu metode yang biasa digunakan untuk menghitung waktu konsentrasi (Suripin, 2004), dengan persamaan sebagai berikut:

$$t_c = \left( \frac{0.87 L^2}{1000 S} \right)^{0.385} \quad (8)$$

Dengan:

$t_c$  = Waktu konsentrasi (jam)

$L$  = Panjang lintasan air dari titik terjauh sampai titik yang ditinjau (Km)

$S$  = Kemiringan rata-rata daerah lintasan air

Waktu konsentrasi dapat juga dihitung dengan membedakannya menjadi 2 komponen, yaitu waktu yang diperlukan air untuk mengalir dipermukaan lahan sampai saluran terdekat  $t_o$  dan waktu perjalanan dari pertama masuk saluran sampai titik keluaran  $t_d$ , (Suripin, 2004) dimana rumus yang digunakan sebagai berikut.

$$t_c = t_o + t_d \quad (9)$$

$$t_o = \frac{2}{3} 3.28 L \frac{n}{\sqrt{s}} \quad (10)$$

$$t_d = \frac{L_s}{60 V} \quad (11)$$

Dengan:

$n$  = Angka kekasaran permukaan lahan (dapat diperoleh pada Tabel 5)

$S$  = kemiringan lahan

$L$  = panjang lintas aliran di atas permukaan lahan (m)

$L_s$  = panjang lintas aliran di dalam saluran/sungai (m)

$V$  = kecepatan aliran di dalam saluran (m/detik)

Tabel 5. Angka kekasaran permukaan lahan (Suripin, 2004)

Tata Guna Lahan	N
Kedap air	0.02
Timbunan tanah	0.10
Tanaman pangan/ tegalan dengan sedikit rumput pada tanah gundul yang kasar dan lunak	0.20
Padang rumput	0.40
Tanah gundul yang kasar dengan runtuhan dedaunan	0.60
Hutan dan sejumlah semak belukar	0.80

### 2.1.6 Banjir

Banjir merupakan suatu keadaan dimana air tidak dapat ditampung di dalam saluran pembuang (palung sungai) atau terjadi hambatan aliran air di dalam saluran pembuang sehingga menyebabkan air meluap dan membanjiri wilayah disekitarnya (Naser et al., 2021).

Dampak dari bencana banjir sangat merugikan sebab dapat mengganggu aktivitas perekonomian suatu wilayah, menghentikan aktivitas manusia, merusak harta benda, menyebarkan penyakit dan dapat menimbulkan korban jiwa. Berdasarkan golongannya banjir memiliki beberapa jenis dan kategori. Adapun kategori banjir berdasarkan sumber airnya menurut (Yusra, 2016).

- Banjir yang terjadi ketika curah hujan tinggi dan melebihi kapasitas sistem pengaliran air, baik itu sistem sungai alami maupun sistem drainase buatan manusia.
- Banjir yang terjadi akibat kenaikan muka air sungai yang disebabkan oleh pasang laut atau gelombang laut yang tinggi akibat badai.
- Banjir yang terjadi karena bendungan air yang dibuat oleh manusia, seperti bendungan, tanggul dan bangunan pengendalian banjir mengalami kegagalan.
- Banjir yang disebabkan oleh bendungan alam mengalami kegagalan atau penyumbatan aliran sungai akibat longsor atau runtuhnya tebing sungai.

Jika bendungan atau sumbatan tidak mampu menahan tekanan air, maka dapat terjadi banjir bandang yang mengalir deras.

Terdapat banyak faktor yang dapat menyebabkan banjir, namun secara garis besar penyebab banjir terbagi ke dalam dua kategori, yaitu banjir yang disebabkan oleh faktor alami dan banjir yang disebabkan oleh tindakan manusia (idris et al., 2022); (Kodoatie & Sugiyanto, 2002).

Tabel 6. Penyebab banjir (Kodoatie & Sugiyanto, 2002)

Penyebab Banjir	
Alami	Tindakan Manusia
- Curah hujan	- Pengaruh kondisi DPS
- Pengaruh fisiografi	- Kawasan kumuh
- Erosi dan sedimentasi	- Sampah
- Kapasitas sungai	- Drainase lahan
- Kapasitas drainase yang tidak memadai	- Bendung dan bangunan air
- Pengaruh air pasang	- Kerusakan bangunan pengendali banjir
	- Perencanaan sistem pengendalian banjir tidak tetap

Pemanasan global telah mengubah pola curah hujan secara signifikan meningkatkan kemungkinan banjir di banyak kota. Massa air yang dihasilkan dari limpasan air yang meluap secara alami dan menyebabkan genangan atau aliran besar disebut banjir. Dalam menyusun konsep pengendalian banjir diperlukan besaran atau nilai banjir yang akan dikendalikan, yang disebut dengan banjir rancangan. Banjir rancangan (*design flood*) adalah besaran debit yang secara statistik akan disamai atau terlampaui sekali dalam kala ulang tertentu. Sebagai contoh:  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{25}$ ,  $Q_{50}$ ,  $Q_{100}$  dst. Dengan demikian,  $Q_{100}$  (banjir rancangan 100 tahun) artinya debit yang secara statistik akan terjadi sekali dalam 100 tahun dengan peluang kejadian tiap tahun adalah  $1/100$ . Kala ulang (*return period*) merupakan waktu hipotetik, yang mana hujan atau debit dengan suatu besaran tertentu akan disamai atau dilampaui sekali dalam jangka waktu tertentu (Limantara, 2010).

Analisis debit banjir suatu area tangkapan dapat dihitung berdasarkan data curah hujan rancangan dengan berbagai metode sebagai berikut:

Tabel 7. Metode perhitungan debit banjir (Limantara, 2010)

Input	Metode	Output
Curah hujan rancangan	Analisis banjir non hidrograf - Metode Rasional - Metode Weduwen - Metode Hasper - dll.	Debit puncak banjir (Qp)
Curah hujan rancangan	Analisis banjir dengan hidrograf - HSS Nakayasu - HSS Snyder - HSS Gama - HSS ITB - HSS Limantara - SCS dengan HEC HMS - dll.	Hidrograf banjir

Metode yang paling sering digunakan untuk mengestimasi nilai debit di suatu daerah tangkapan hujan adalah Metode Rasional, dalam hal ini besarnya debit tersebut merupakan fungsi dari luas daerah tangkapan, intensitas hujan, keadaan permukaan tanah yang dinyatakan dalam koefisien limpasan dan kemiringan (Limantara, 2010). Debit banjir dengan Metode Rasional dirumuskan sebagai berikut:

$$Q = 0.278 C.I.A \quad (12)$$

Dengan:

- Q = Debit puncak (m<sup>3</sup>/det)
- C = Koefisien limpasan
- I = Intensitas hujan (mm/jam)
- A = Luas daerah tangkapan (*catchment area*)

### 2.1.7 Mitigasi Banjir

Laju perkembangan di wilayah perkotaan dapat disebabkan oleh pertumbuhan penduduk yang cepat, yang mengakibatkan peningkatan kebutuhan lahan tempat tinggal. Rencana tata ruang berusaha untuk mengatur peruntukan lahan meskipun kepemilikan lahan adalah pribadi untuk kepentingan umum, dalam penetapan guna lahan beberapa hal yang harus dipertimbangkan adalah daya

dukung dan kapasitas tampung lahan (kondisi alamiah), penggunaan lahan yang ada, ketersediaan lahan, dan harmonisasi ruang dengan penggunaan lahan lainnya, infrastruktur, tren perkembangan (demografi dan kawasan), pertumbuhan ekonomi dan lain sebagainya. Selanjutnya, transformasi fungsi lahan di wilayah perkotaan dari nonterbangun menjadi terbangun terkait dengan perluasan wilayah kota secara fisik dan desakan urbanisasi. Adanya dampak keruangan pada hakikatnya sama, yaitu cenderung berkompetisi dalam penggunaan lahan di daerah pinggiran atau sekitar kota yang sebelumnya merupakan lahan pertanian, karena latar belakang pertumbuhan kota secara fisik memiliki banyak karakteristik (Luthfina et al., 2019).

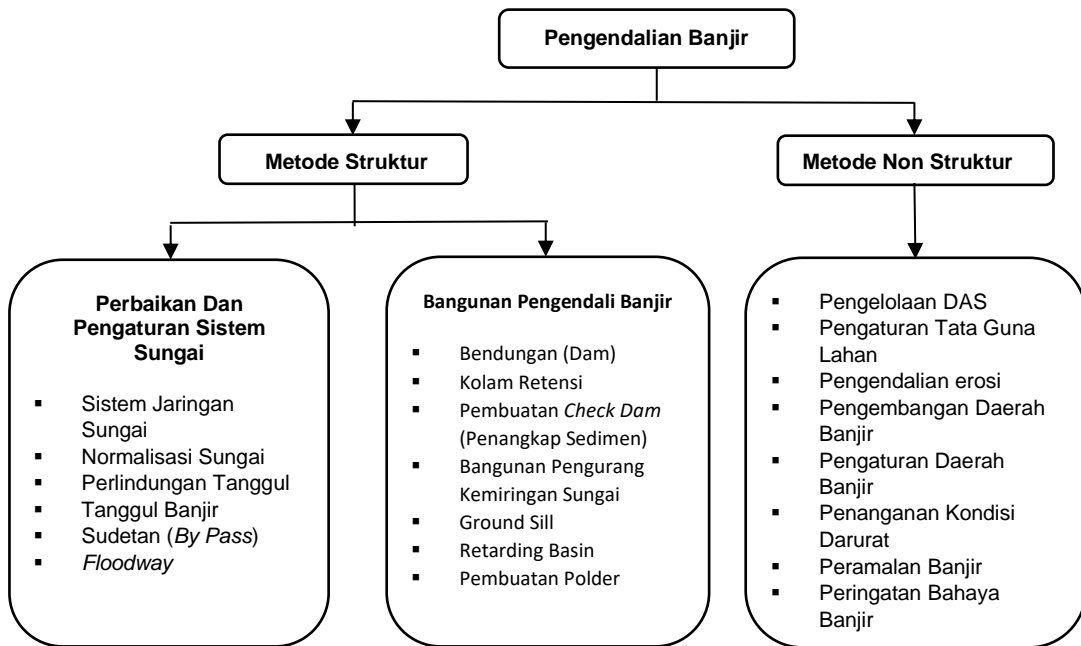
Peningkatan jumlah penduduk akan memiliki dampak yang signifikan terhadap daya dukung lingkungan terhadap kehidupan manusia, seperti yang ditunjukkan oleh peningkatan penggunaan lahan yang digunakan sebagai tempat tinggal. Penggunaan lahan yang tinggi ini dapat mengurangi area atau daerah resapan air perkotaan, akibatnya volume air hujan yang mengalir di permukaan akan lebih besar daripada jumlah air yang dapat meresap ke dalam tanah pada lahan yang tertutup bangunan (Luthfina et al., 2019).

Berdasarkan UU 24 Tahun 2007 tentang penanggulangan bencana, mitigasi dapat didefinisikan sebagai rangkaian tindakan yang bertujuan untuk meminimalisir risiko bencana, baik melalui pembangunan fisik maupun meningkatkan kesadaran kemampuan menghadapi ancaman bencana. Dengan demikian, mitigasi dapat didefinisikan sebagai serangkaian upaya yang dilakukan untuk mengurangi dampak yang timbul akibat terjadinya banjir.

Dalam pengelolaan daerah banjir, terdapat empat strategi dasar yang dapat dilakukan (Kodoatie & Sugiyanto, 2002).

- a. Memodifikasi kerentanan dan kerugian banjir dengan menentukan zona atau mengatur pola guna lahan.
- b. Mengurangi dampak banjir dengan memodifikasi banjir yang terjadi melalui pembangunan struktur pengontrol seperti normalisasi atau waduk.
- c. Memodifikasi dampak banjir dengan menerapkan metode mitigasi seperti asuransi, penghindaran (flood proofing).
- d. Pengaturan peningkatan kapasitas alam dapat dilakukan dengan menjaga kelestariannya melalui kegiatan penghijauan.

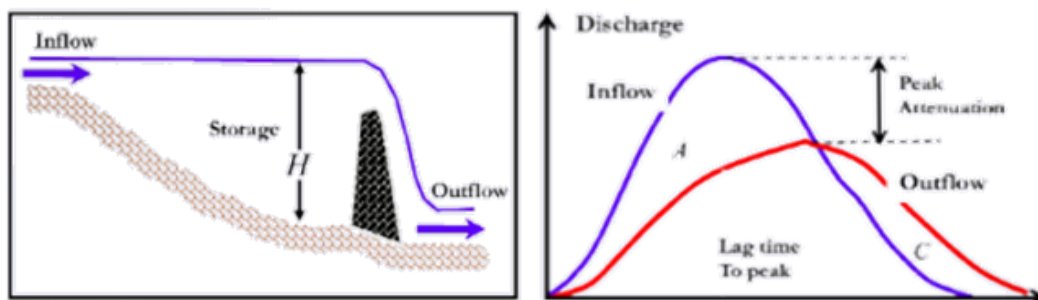
Untuk menerapkan strategi pengelolaan daerah banjir dapat dilakukan kegiatan pengendalian banjir, sebagaimana disajikan pada Gambar 4 berikut:



Gambar 4. Pengendalian banjir metode struktur dan non struktur (Kodoatie & Sugiyanto, 2002)

Dalam mitigasi bencana banjir, terdapat dua klasifikasi pengendalian banjir yaitu secara struktur dan secara non-struktur. Alternatif pengendalian banjir secara struktur adalah dengan menggunakan kolam retensi dan kolam detensi (Abduljaleel et al., 2023); (Satriani et al., 2021).

Kolam retensi merupakan kolam yang berfungsi sebagai penampungan air hujan dalam kurun waktu tertentu. Kolam penampungan (*retention basin*) memiliki fungsi yang sama dengan bendungan yaitu untuk menahan debit aliran sementara guna mengurangi puncak banjir. Tingkat pengurangan risiko banjir dipengaruhi oleh karakteristik hidrograf banjir, kapasitas volume kolam dan dinamika beberapa bangunan *outlet* (Hosseinzadeh et al., 2023).



Gambar 5. Perubahan puncak banjir dengan adanya tampungan

### 2.1.8 Sistem Drainase

Drainase merupakan salah satu fasilitas dasar yang dirancang sebagai sistem guna memenuhi kebutuhan masyarakat dan merupakan komponen penting dalam perencanaan kota (perencanaan infrastruktur khususnya). Drainase yang berasal dari bahasa Inggris yaitu *drainage* mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air (Kodoatie & Sugiyanto, 2002).

Adapun fungsi drainase adalah:

- a. Membebaskan suatu wilayah (terutama yang padat dari permukiman) dari genangan air, erosi dan banjir.
- b. Karena aliran lancar maka drainase juga berfungsi memperkecil resiko kesehatan lingkungan, bebas dari malaria (nyamuk) dan penyakit lainnya.
- c. Kegunaan tanah permukiman padat akan menjadi lebih baik karena terhindar dari kelembaban.
- d. Dengan sistem yang baik tata guna lahan dapat dioptimalkan dan juga memperkecil kerusakan-kerusakan struktur tanah untuk jalan dan bangunan lainnya.

Selain mempertahankan keseimbangan air yang sehat dan alami, area layanan harus aman dari genangan air. Oleh karena itu, gagasan tentang pembangunan drainase perkotaan yang berkelanjutan telah menjadi keharusan untuk sistem pembangunan di Indonesia baik saat ini maupun di masa depan. Oleh karena itu, dalam perencanaan sistem drainase perkotaan, penting untuk mempertimbangkan fungsi drainase sebagai prasarana kota, dan proses ini harus dilakukan sesuai dengan Tata Cara Perencanaan Umum Drainase Perkotaan.

Secara garis besar, ada dua kategori drainase: drainase permukaan adalah sistem drainase yang berkaitan dengan pengendalian aliran air permukaan dan drainase bawah permukaan adalah sistem drainase yang berkaitan dengan pengendalian aliran air di bawah permukaan (Suripin, 2004). Dalam sistem drainase, saluran terdiri dari saluran interseptor, kolektor, dan konveyor (Wesli, 2008) dengan fungsi sebagai berikut:

- a. Saluran interseptor mencegah aliran berpindah dari satu area ke area lain di bawahnya. Biasanya, jalur ini dibangun pada bagian yang sejajar dengan kontur atau garis ketinggian tanah. Output dari saluran ini biasanya mengalir ke saluran kolektor atau konveyor atau mengalir ke sungai atau saluran alamiah.

- b. Saluran kolektor mengumpulkan aliran dari saluran drainase yang lebih kecil. Saluran Interseptor adalah contohnya. Output saluran ini dikirim ke sungai atau ke saluran konveyor. Saluran kolektor ini terletak di bagian terendah lembah area sehingga dapat berfungsi sebagai pengumpul dari anak cabang saluran yang ada.
- c. Saluran konveyor mengangkut seluruh air buangan dari area tertentu ke lokasi pembuangan. Contohnya, saluran kanal banjir atau saluran bypass yang dirancang khusus hanya mengalirkan air dengan kecepatan tinggi ke lokasi pembuangan. Lokasinya dapat menyerupai saluran kolektor atau interseptor.

### **2.1.9 Kolam Retensi**

Kolam retensi adalah suatu bak atau kolam yang menampung atau meresapkan air sementara yang terdapat didalamnya. Konsep dasar dari kolam retensi adalah menampung volume air Ketika debit maksimum di sungai datang, kemudian secara perlahan-lahan mengalirkan Ketika debit di sungai sudah kembali normal.

Untuk merencanakan pembangunan kolam retensi diperlukan analisis hidrologi untuk menentukan besarnya debit banjir rencana akan berpengaruh terhadap besarnya debit maksimum maupun kestabilan konstruksi yang akan dibangun. Kemudian diperlukan data curah hujan untuk rancangan pemanfaatan air dan rancangan bangunan air adalah curah hujan rata-rata di seluruh daerah yang bersangkutan, bukan curah hujan pada suatu titik tertentu (Sosrodarsono, 1993). Selain data tersebut, debit air kotor juga perlu direncanakan untuk memastikan jumlah air yang masuk ke dalam kolam retensi yang akan dibangun.

#### **a. Fungsi Kolam Retensi**

Kolam retensi berfungsi untuk menyimpan dan menampung air sementara dari saluran pembuangan sebelum dialirkan ke sungai sehingga debit banjir dapat dikurangi. Tingkat pengurangan banjir tergantung pada karakteristik hidrograf banjir, volume kolam dan dinamika beberapa bangunan outlet. Wilayah yang digunakan untuk pembuatan kolam penampungan biasanya di daerah yang rendah. Dengan perencanaan dan pelaksanaan tata guna lahan yang baik, kolam retensi dapat digunakan sebagai penampungan air hujan sementara dan penyalur atau distribusi air.

Selain fungsi utamanya sebagai pengendali banjir, manfaat lain yang bisa diperoleh dari kolam retensi sendiri dapat digunakan sebagai sarana pariwisata air dan juga sebagai konservasi air, karena mampu meningkatkan cadangan air tanah setempat.

b. Tipe-Tipe Kolam Retensi

Kolam retensi memiliki berbagai tipe, seperti ;

1) Kolam retensi tipe di samping badan sungai

Tipe ini memiliki bagian-bagian berupa kolam retensi, pintu inlet, bangunan pelimpah samping, pintu outlet, jalan akses menuju kolam retensi, ambang rendah di depan pintu outlet, saringan sampah dan kolam penangkap sedimen. Kolam retensi jenis ini cocok diterapkan apabila tersedia lahan yang luas untuk kolam retensi, sehingga kapasitasnya bisa optimal, Keunggulan dari tipe ini adalah tidak mengganggu sistem aliran yang ada, mudah dalam pelaksanaan dan pemeliharaan.



Gambar 6. Kolam Retensi Tipe di Samping Badan Sungai

2) Kolam retensi di dalam badan sungai

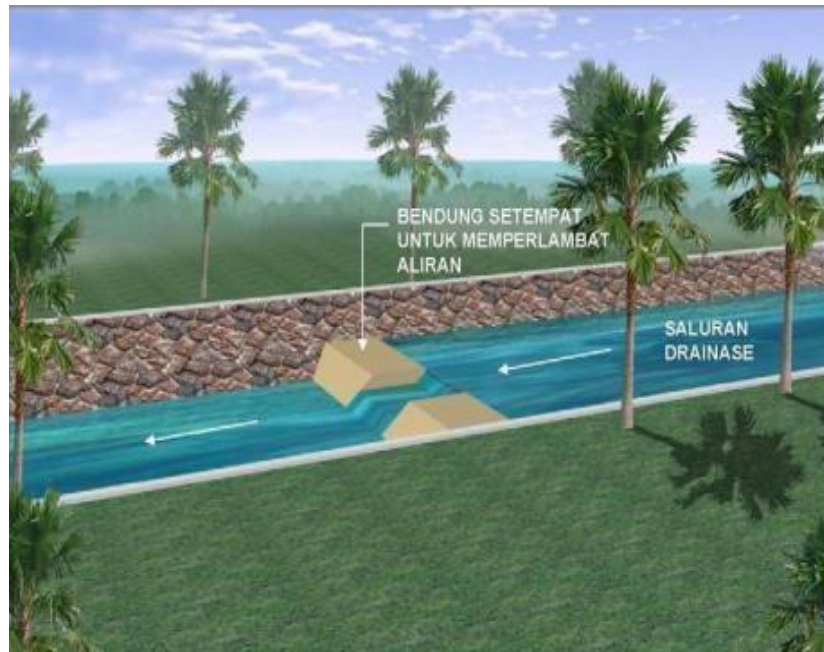
Kolam retensi jenis ini memiliki bagian-bagian berupa tanggul keliling, pintu outlet, bendung, saringan sampah dan kolam sedimen. Tipe ini diterapkan bila lahan untuk kolam retensi sulit didapat. Kelemahan dari tipe ini adalah kapasitas kolam yang terbatas, harus menunggu aliran air dari hulu, pelaksanaan sulit dan pemeliharaan yang mahal.



Gambar 7. Kolam Retensi di Dalam Badan Sungai

### 3) Kolam retensi tipe storage memanjang

Kelengkapan sistem dari kolam retensi tipe ini adalah saluran yang lebar dan dalam serta cek dam atau bendung setempat. Tipe ini digunakan apabila lahan tidak tersedia sehingga harus mengoptimalkan saluran drainase yang ada. Kelemahan dari tipe ini adalah kapasitasnya terbatas, menunggu aliran air yang ada dan pelaksanaannya lebih sulit. Ukuran ideal suatu kolam retensi adalah dengan perbandingan Panjang/lebar lebih besar dari 2.1. Sedang dua kutub aliran masuk (inlet) dan keluar (outlet) terletak kira-kira di ujung kolam terbentuk bulat telur itulah terdapat kedua mulut, masuk dan keluarnya (aliran) air. Keuntungan yang diperoleh adalah bahwa dengan bentuk kolam yang memanjang semacam itu, ternyata sedimen relative lebih cepat mengendap dan interaksi antar kehidupan (proses aktivitas biologis) di dalamnya juga menjadi lebih aktif karena terbentuknya air yang terus bergerak, namun tetap dalam kondisi tenang, pada saatnya tanaman dapat pula menstabilkan dinding kolam dan mendapat makanan (nutrient) yang larut dalam air.



Gambar 8. Kolam Retensi Tipe Storage Memanjang

#### 2.1.10 Kolam Detensi

Kolam detensi, atau *detention basin*, adalah prasarana drainase yang dirancang untuk menampung air hujan secara sementara di suatu wilayah. Setelah menampung limpasan air hujan, kolam ini akan mengendalikan pelepasannya secara bertahap ke hilir setelah puncak banjir berlalu. Karakteristik utama yang membedakannya dari kolam retensi adalah keberadaan bangunan outlet yang dirancang khusus untuk mengatur laju aliran keluar air. Kolam detensi dapat berupa struktur basah (selalu terisi air) atau kering (kosong saat tidak ada hujan), serta dapat dibangun di permukaan tanah atau di bawah tanah, tergantung pada kondisi lokasi dan kebutuhan desain.

Fungsi-fungsi krusial kolam detensi meliputi:

1. Penurunan Debit Puncak Banjir: Tujuan utama kolam detensi adalah untuk menurunkan debit puncak limpasan air hujan. Dengan menampung air sementara dan melepaskannya secara terkontrol, kolam ini mencegah beban berlebih pada saluran drainase di hilir, sehingga secara efektif mengurangi risiko dan dampak banjir. Fungsi ini sangat relevan di daerah pengembangan baru di mana peningkatan luas permukaan kedap air secara signifikan meningkatkan laju limpasan air.

2. Perlindungan Hilir: Kolam detensi berfungsi melindungi daerah hilir dari kerusakan yang mungkin terjadi akibat kapasitas saluran drainase yang tidak memadai untuk menampung debit air yang tinggi dari hulu.
3. Peningkatan Kualitas Air: Meskipun fungsi utamanya adalah pengendalian kuantitas air, kolam detensi juga berkontribusi pada peningkatan kualitas air. Ketika air tertampung sementara, kecepatan aliran air melambat, memungkinkan bahan melayang dan polutan untuk mengendap di dasar kolam. Proses pengendapan ini mengurangi konsentrasi polutan yang dilepaskan ke hilir.

Kolam detensi dapat ditempatkan di berbagai lokasi, termasuk di samping badan sungai, pada badan sungai itu sendiri, atau bahkan sebagai “penyimpanan panjang” (*long storage*) yang memanfaatkan ruas saluran hulu sebagai bagian dari kolam detensi. Penerapan kolam detensi menawarkan beberapa keuntungan signifikan:

1. Pengendalian Puncak Banjir: Kolam ini mampu mengendalikan puncak banjir di hilir agar tetap serupa dengan kondisi sebelum pengembangan lahan, meskipun aliran banjir mungkin terjadi dalam durasi yang lebih lama.
2. Pengurangan Kerusakan Akibat Banjir: Dengan menurunkan puncak banjir, kolam detensi secara langsung mengurangi potensi kerusakan yang disebabkan oleh genangan air.
3. Perbaikan Kualitas Limpasan Air Hujan: Melalui proses pengendapan, kolam detensi membantu memperbaiki kualitas air limpasan sebelum dilepaskan ke lingkungan.

Kolam detensi berperan sebagai strategi manajemen adaptif dalam menghadapi pertumbuhan perkotaan. Kebutuhan akan kolam detensi seringkali muncul di daerah pengembangan baru di mana peningkatan luas permukaan kedap air secara langsung menyebabkan peningkatan laju limpasan. Ini menunjukkan bahwa kolam detensi adalah solusi adaptif yang memungkinkan ekspansi perkotaan yang terkontrol sambil memitigasi konsekuensi lingkungan yang negatif. Desainnya harus cukup kuat untuk menangani limpasan yang meningkat dan berpotensi lebih tercemar, yang menggarisbawahi pentingnya sistem pelapis yang tahan lama dan efektif.

Meskipun fungsi utama kolam detensi adalah pengendalian kuantitas air melalui pengurangan debit puncak, terdapat juga fungsi sekunder yang penting, yaitu peningkatan kualitas air melalui pengendapan polutan. Jika peningkatan kualitas air menjadi tujuan yang signifikan, maka pencegahan pencucian polutan yang mengendap ke dalam tanah menjadi perhatian. Hal ini dapat memerlukan penggunaan lapisan kedap air, bahkan untuk fasilitas penampungan sementara, terutama jika polutan yang terlibat berbahaya.

Meskipun keduanya berfungsi untuk mengelola limpasan air hujan, kolam retensi dan kolam detensi memiliki perbedaan mendasar dalam tujuan, mekanisme kerja, dan durasi penyimpanan air. Pemahaman yang jelas tentang perbedaan ini sangat penting untuk pemilihan desain yang tepat dalam proyek drainase perkotaan. Tabel 8 berikut merangkum perbandingan kunci antara kedua jenis kolam ini:

Tabel 8. Perbedaan Kolam Retensi dan Kolam Detensi

<b>Fitur Kunci</b>	<b>Kolam Retensi (Retention Pond)</b>	<b>Kolam Detensi (Detention Pond)</b>
<b>Tujuan Utama</b>	Konservasi air, pengisian air tanah, peningkatan kualitas air, estetika, habitat akuatik, dan pengendalian banjir jangka panjang.	Pengendalian debit puncak banjir, perlindungan hilir dari kelebihan kapasitas saluran, dan peningkatan kualitas air sementara.
<b>Kondisi Air</b>	Menampung air secara permanen atau semi-permanen, membentuk genangan air.	Menampung air sementara saat hujan dan biasanya kering atau memiliki genangan minimal di antara kejadian hujan.
<b>Mekanisme Pelepasan Air</b>	Terutama melalui infiltrasi ke dalam tanah dan evaporasi. Mungkin memiliki outlet yang sangat terkontrol atau tidak ada sama sekali.	Melalui bangunan outlet yang dirancang untuk mengendalikan laju aliran keluar ke hilir setelah puncak banjir berlalu.
<b>Durasi Penyimpanan Air</b>	Jangka panjang atau permanen.	Jangka pendek, sementara, hanya selama dan segera setelah kejadian hujan.
<b>Keberadaan Outlet</b>	Umumnya tidak ada atau sangat terbatas dan terkontrol ketat untuk mempertahankan volume air.	Selalu memiliki bangunan outlet untuk mengatur aliran keluar.

Sambungan Tabel 8. Perbedaan Kolam Retensi dan Kolam Detensi

<b>Fitur Kunci</b>	<b>Kolam Retensi (Retention Pond)</b>	<b>Kolam Detensi (Detention Pond)</b>
<b>Dampak Terhadap Aliran Hilir</b>	Mengurangi volume total limpasan dan memperlambat aliran secara signifikan melalui infiltrasi dan evaporasi.	Mengurangi debit puncak limpasan tetapi tidak mengurangi volume total secara signifikan; memperpanjang durasi aliran.
<b>Kebutuhan Lahan</b>	Mebutuhkan lahan yang cukup luas untuk kapasitas optimal dan area resapan.	Dapat memerlukan lahan yang luas, namun juga bisa berupa bak bawah tanah atau memanfaatkan ruas saluran.
<b>Potensi Penggunaan Lain</b>	Rekreasi, estetika, habitat satwa liar, sumber air baku.	Umumnya terbatas pada fungsi drainase, meskipun dapat memperbaiki kualitas air.

Dalam penelitian ini, waduk mini didefinisikan sebagai tampungan air buatan berukuran kecil-menengah yang dibangun di dalam kawasan perkotaan untuk menampung limpasan air hujan pada saat puncak hujan, menyimpannya sementara, kemudian melepaskannya kembali secara bertahap ke sistem drainase atau ke dalam tanah ketika debit sudah menurun. Waduk mini bekerja sebagai kombinasi kolam detensi dan kolam retensi, sehingga tidak hanya mengurangi debit puncak dan volume genangan di hilir, tetapi juga berpotensi mendukung resapan dan peningkatan kualitas lingkungan. Berbeda dengan waduk konvensional yang skalanya besar dan umumnya berada di luar kawasan padat, waduk mini memanfaatkan ruang-ruang terbatas seperti lahan budidaya tersisa, ruang terbuka, atau koridor drainase di permukiman untuk berfungsi sebagai kantong tampungan air yang terintegrasi dengan jaringan drainase eksisting di Kecamatan Panakkukang.

### 2.1.11 Hidrolika Saluran

Mempertimbangkan kapasitas tampungan saluran wajib dilakukan Ketika mencoba merencanakan saluran drainase, baik tinjauan hidrolis maupun elevasi kondisi lapangan.

Studi hidrolis ini bertujuan untuk menghitung elevasi kapasitas tampungan saluran debit banjir ulang selama 10 tahun. Pengukuran kondisi lapangan adalah didasarkan pengamatan secara langsung di lapangan agar diketahui bahwa

saluran yang ada mampu mengalirkan air secara clear saat terjadi hujan. Rumus kecepatan rata-rata pada perhitungan dimensi saluran menggunakan rumus Manning:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

Keterangan:

V = kecepatan rata-rata (m/dt)

n = koefisien Manning

R = jari-jari hidrolik

S = kemiringan dari muka air atau gradient energi dari dasar saluran

Nilai koefisien kekasaran manning didapatkan dari material pembentuk dinding saluran tersebut. Nilai koefisien manning diberikan pada Tabel 9 dan Tabel 10 berikut:

Tabel 9. Koefisien Manning untuk Saluran Tertutup

<b>Material Saluran</b>	<b>Manning n</b>
Asbestos-cement pipe	0.011 – 0.015
Brick	0.013 – 0.017
Cast iron pipe	
Cement-lined & seal coated	0.011 – 0.015
Concrete	
Smooth forms	0.012 – 0.014
Rough forms	0.015 – 0.017
Concrete pipe	0.011 – 0.015
Corrugated-metal-pipe (1/2-in. X 2-2/3-in. Corrugations)	
Plain	0.022 – 0.026
Paved invert	0.018 – 0.022
Spun asphalt lined	0.011 – 0.015
Plastic pipe (smooth)	0.011 – 0.015
Vitrified clay	
Pipes	0.011 – 0.015
Liner plates	0.013 – 0.017

Tabel 10. Koefisien Manning untuk Overland Flow

<b>Material Saluran</b>	<b>Manning n</b>
Smooth asphalt	0.011
Smooth concrete	0.012
Ordinary concrete lining	0.013
Good wood	0.014
Brick with cement mortar	0.014
Vitrified clay	0.015

Sambungan Tabel 10. Koefisien Manning untuk Overland Flow

<b>Material Saluran</b>	<b>Manning n</b>
Cast iron	0.015
Corrugated metal pipes	0.024
Cement rubble surface	0.024
Fallow soils (no residue)	0.05
Cultivated soils	
Residue cover <20 %	0.06
Residue cover >20 %	0.017
Range (natural)	0.013
Grass	
Short, prarie	0.15
Dense	0.24
Bermuda grass	0.41
Woods	
Light underbrush	0.60
Dense underbrush	0.80

#### 2.1.12 Aplikasi EPA-SWMM 5.2

Studi Hidrolika ini dijalankan dengan menggunakan aplikasi EPA-SWMM 5.2 (*Enviromental Protection Agency-Storm Water Management Model*). Aplikasi ini ialah aplikasi yang dikembangkan untuk simulasi proses hidrologi dan hidrolika di wilayah perkotaan. Biasa digunakan untuk simulasi limpasan dan uji kelayakan drainase dalam rentang waktu yang terus menerus atau kejadian banjir sesaat. EPA SWMM (*Enviromental Protection Agency-Storm Water Management Model*) adalah sebuah software yang didesain untuk membuat model simulasi hujan-runoff dinamik. Software ini mampu mensimulasikan pengaruh hujan-runoff dari suatu wilayah pada system drainasinya untuk jangka pendek maupun jangka panjang sekaligus memiliki fasilitas alternatif untuk mengantisipasi masalah banjir. Kemampuan EPA SWMM kemampuan ini meliputi:

- a. Tangkai jaringan dengan ukuran tidak terbatas
- b. Menggunakan standar yang luas untuk menutup dan membuka saluran seperti halnya saluran alami
- c. Model khusus seperti penyimpanan, pembagi aliran, pompa, bendungan
- d. Penerapan air dan masukan arus eksternal berkualitas dari permukaan aliran, aliran bawah tanah
- e. Penggunaan gelombang baik kinematik maupun arus gelombang yang penuh

- f. Berbagai macam arus, seperti air yang tertahan karena pasang, pembalikan arus dan permukaan kolam
- g. Menerapkan kendali dinamis untuk menirukan operasi pompa mulut yang membuka dan tingkatan puncak bendungan.

Dalam aplikasi EPA SWMM 5.2 ada beberapa komponen data yang harus di masukkan agar program ini dapat dijalankan.



Gambar 9. Legenda EPA SWMM 5.2

### 1. *Rain gages* (Curah Hujan)

Curah hujan adalah jumlah air hujan yang jatuh selama periode waktu tertentu yang pengukurannya menggunakan satuan tinggi di atas permukaan tanah horizontal yang diasumsikan tidak terjadi infiltrasi, run off, maupun evaporasi.

Definisi curah hujan atau yang sering disebut presipitasi dapat diartikan jumlah air hujan yang turun di daerah tertentu dalam satuan waktu tertentu. Jumlah curah hujan merupakan volume air yang terkumpul di permukaan bidang datar dalam suatu periode tertentu (harian, mingguan, bulanan, atau tahunan).

Curah hujan merupakan jumlah air yang jatuh di permukaan tanah datar selama periode tertentu yang diukur dengan satuan tinggi milimeter (mm) di atas permukaan horizontal. Hujan juga dapat diartikan sebagai ketinggian air hujan yang terkumpul dalam tempat yang datar, tidak menguap, tidak meresap dan tidak mengalir (Suroso 2006).

### 2. *Subcatchment* (Daerah Tangkapan Hujan)

Daerah tangkapan hujan merupakan suatu wilayah daratan yang merupakan satu kesatuan dengan sungai dan anak-anak sungainya, yang berfungsi menampung, menyimpan, dan mengalirkan air yang berasal dari curah hujan ke danau atau ke laut secara alami, yang batas di darat merupakan pemisah topografis yang dapat berupa punggung-punggung bukit atau gunung dan batas di laut sampai sampai dengan daerah perairan yang masih terpengaruh aktivitas daratan.

Daerah aliran sungai, suatu Kawasan berupa cekungan yang dibatasi oleh pembatas topografi berupa igir yang didalamnya terdapat jaringan sungai, dimana hujan yang jatuh kedalam kawasan ini dikeluarkan melalui satu keluaran (outlet) (Linsley et al,1975).

3. *Junction* (Titik pertemuan air)

*Junction* adalah lokasi yang menjadi titik pertemuan antara saluran satu dengan jaringan-jaringan yang lain. Dapat berupa manhole ataupun hanya titik tempat mengalirnya air dari suatu subcatchment.

4. *Conduit* (Drainase)

*Conduit* adalah bahasa yang digunakan aplikasi EPA-SWMM dalam menjelaskan drainase. Dalam EPA-SWMM, titik-titik berupa *junction* dihubungkan oleh garis yang disebut *Conduit*. Conduit ini kemudian dilengkapi dengan data yang telah di input berdasarkan kondisi ril di lapangan.

Untuk menjalankan *conduit* sebagaimana mestinya, conduit ini mesti dihubungkan dengan manhole berdasarkan hulu dan hilirnya.

5. *Outfall* (Jalur Keluar)

*Outfall* adalah titik tempat keluarnya air dari rangkaian yang telah dibuat di aplikasi EPA-SWMM. Ini adalah titik hilir. Oleh karena itu, *Outfall* ini adalah titik dengan elevasi terendah di dalam aplikasi.

Simulasi dilakukan setelah model jaringan drainase dan semua parameter berhasil dimasukkan. Simulasi dapat dikatakan berhasil jika continuity error < 10%. Dalam simulasi SWMM besarnya debit banjir dihitung dengan cara memodelkan suatu system drainase. Aliran permukaan atau limpasan permukaan terjadi ketika intensitas hujan yang jatuh di suatu daerah melebihi kapasitas infiltrasi.

Output dari simulasi ini antara lain *runoff quantity continuity, flow routing continuity, highest flow instability indexes, routing time step, subcatchment runoff, node depth, node inflow, nude surcharge, node flooding, outfall loading, ink flow*, dan *conduit surcharge* yang disajikan dalam laporan statistic simulasi rancangan.

Visualisasi hasil yang ditampilkan berupa jaringan saluran drainase hasil output dari simulasi, profil aliran dari beberapa saluran utama dan yang diketahui tergenang, dan grafik aliran yang terjadi pada saluran.

## **2.2 Penelitian Sebelumnya**

Masalah banjir dan genangan air telah menjadi isu yang terus mendapat perhatian dalam berbagai studi di bidang manajemen sumber daya air. Salah satu pendekatan yang banyak dieksplorasi oleh para peneliti adalah pemanfaatan kolam retensi dan kolam detensi sebagai solusi teknis untuk mengurangi dampak banjir. Beberapa penelitian sebelumnya diuraikan pada Tabel 11 berikut:

Tabel 11. Kajian penelitian terdahulu

No	Judul Penelitian/Jurnal; Penulis	Sumber dan Tahun Terbit	Paramater Penelitian	Metode Penelitian	Output/Hasil Penelitian
1	<i>Evaluation of Urban Inundation under Changing Landcover- Application of EPA SWMM-LID to Andong City in South Korea;</i> (Kang et al., 2019)	<i>World Environmental and Water Resources Congress 2019.</i> Reston, VA: ASCE, 2019	1. Curah hujan. 2. Geometri lahan. 3. Perubahan Tata guna lahan.	Simulasi dengan SWMM dan GIS	Peningkatan banjir/genangan di Kota Andong Korea Selatan sebagai akibat perubahan tutupan lahan menjadi lebih kedap air. Peningkatan banjir sekitar 5% dengan adanya peningkatan tutupan lahan kedap air dari 20% menjadi 80%.
2	<i>Case study: rapid urban inundation forecasting technique based on quantitative precipitation forecast for Houston and Harris county flood control district.</i> (Sikder et al., 2019)	<i>Journal of Hydrologic Engineering, 24</i> (8), 05019017: ASCE 2019	1. Tata guna lahan. 2. Geometri lahan 3. Peningkatan Curah hujan dengan cepat (curah hujan ekstrim).	Simulasi HEC-RAS	Penelitian mengkaji lokasi/area genangan utamanya untuk kondisi peningkatan curah hujan secara ekstrim
3	<i>Detention ponds for managing flood risk due to increased imperviousness: case study in an urbanizing catchment of India;</i> (Sahoo & Pekkat, 2018)	<i>Natural Hazards Review, 19</i> (1), 05017008: ASCE, 2018	1. Curah hujan. 2. Perubahan Tata Guna Lahan 3. Pertambahan jumlah penduduk dan risiko dampak banjir 4. Penggunaan Kolam Detensi	Simulasi Pemodelan dengan SWMM	Penggunaan kolam detensi pada lokasi yang ditinjau sangat efektif dalam mereduksi banjir, yaitu penurunan ketinggian banjir mencapai 46,5% dan area tergenang berkurang 43%

Sambungan Tabel 11. Kajian penelitian terdahulu

No	Judul Penelitian/Jurnal; Penulis	Sumber dan Tahun Terbit	Paramater Penelitian	Metode Penelitian	Output/Hasil Penelitian
4	<i>Integrated methodology for urban flood risk mitigation in Cittanova, Italy;</i> (Scionti et al., 2018)	<i>Journal of Water Resources Planning and Management,</i> 144 (10), 05018013: ASCE, 2018	1. Curah hujan. 2. Perubahan tata guna lahan. 3. Geometri Lahan 4. Alternatif Penggunaan <i>Detention Pond,</i> Perbaikan sistem drainase, <i>Detention Tanks, Dam.</i>	Simulasi model MODCEL+FRI dan dikaitkan dengan area genangan dan Tingkat kerugian dari berbagai alternatif yang diterapkan sebagai mitigasi.	Pemodelan risiko banjir dikaitkan dengan tingkat kerugian sosial dan ekonomi menggunakan model MODCEL + FRI untuk memperkirakan kondisi banjir saat ini dan akan datang serta tingkat risiko ekonomi dan sosial yang ditimbulkan
5	Kajian Efektivitas Kolam Retensi Dalam Mereduksi Banjir Jalan Raya Porong Kabupaten Sidoarjo dengan <i>Storm Water Management Model</i> (Ahmas Hirson Khoiri, Ussy Andawayanti, Riyanto Haribowo)	Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air, Vol. 2 No. 2, 2022	1. Efektivitas kolam retensi dalam mereduksi banjir 2. Volume limpasan hujan dan kapasitas kolam 3. Kondisi geologi dan penurunan muka tanah	Perhitungan hidrologi dengan metode RAPS dan distribusi Gumbel untuk analisa curah hujan. Pemodelan drainase menggunakan SWMM 5.1 dengan area penelitian 148,31 ha. Simulasi dengan data hujan 5 tahun	Kolam retensi eksisting dapat mereduksi banjir sebesar 74,48%. Penambahan kolam alternatif dapat meningkatkan efektivitas hingga 120,17%. Pembuatan SOP untuk optimalisasi penggunaan kolam retensi.

### 2.3 Kesenjangan Penelitian dan Kebaharuan

Berdasarkan rangkuman penelitian terdahulu yang disajikan pada Tabel 11, tampak bahwa sebagian besar kajian lebih menitikberatkan pada analisis banjir dan genangan di kawasan perkotaan melalui pemodelan hidrologi-hidraulik serta penerapan kolam retensi/detensi pada skala makro, seperti di tingkat sungai utama atau sistem drainase primer. Pendekatan tersebut memang efektif untuk menurunkan debit puncak pada skala besar, namun belum sepenuhnya menjawab kebutuhan pengendalian genangan pada kawasan permukiman padat dengan keterbatasan ruang seperti di Kecamatan Panakkukang.

Dari hasil telaah tersebut, dapat diidentifikasi beberapa kesenjangan (gap) penelitian yang menjadi dasar pentingnya studi ini, yaitu:

1. Belum adanya kajian spesifik mengenai konsep waduk mini terdistribusi pada jaringan drainase lingkungan di kawasan perkotaan padat di Kota Makassar. Penelitian terdahulu umumnya menempatkan kolam retensi/detensi pada simpul-simpul besar (sungai, kanal, atau kolam utama), sehingga peran tampungan kecil-menengah yang tersebar di dalam jaringan drainase sekunder dan tersier belum banyak dikaji, khususnya pada konteks Kecamatan Panakkukang.
2. Keterbatasan integrasi antara pemodelan hidrologi–drainase (SWMM) dengan data spasial RTRW dan kondisi aktual tata guna lahan. Sebagian studi sebelumnya masih menggunakan parameter hidrologi umum tanpa secara eksplisit mengaitkan zonasi ruang (misalnya zona lahan budidaya atau ruang terbuka) sebagai dasar penentuan lokasi potensial tampungan air. Padahal, di Kecamatan Panakkukang masih terdapat area yang secara tata ruang dapat dioptimalkan sebagai lokasi pengembangan waduk mini.
3. Minimnya kajian yang menggabungkan evaluasi kapasitas sistem drainase eksisting dengan perancangan waduk mini melalui pendekatan desain iteratif. Penelitian terdahulu cenderung mengevaluasi kinerja kolam retensi/detensi berdasarkan beberapa skenario tetap, tanpa proses penyesuaian berulang terhadap ukuran, jumlah, dan konfigurasi tampungan untuk mencapai kinerja optimal (misalnya pengurangan debit puncak dan volume genangan) pada jaringan drainase yang sama.
4. Kurangnya penekanan pada fungsi waduk mini sebagai infrastruktur hijau multifungsi. Kajian yang ada umumnya memposisikan kolam retensi hanya sebagai bangunan teknik pengendali banjir, sementara potensi waduk mini

untuk berkontribusi terhadap peningkatan ruang terbuka hijau, kualitas lingkungan, dan ketersediaan air pada musim kemarau di kawasan perkotaan masih jarang dikaji secara terpadu.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada:

1. Pengembangan konsep waduk mini terdistribusi yang diintegrasikan dengan sistem drainase eksisting di Kecamatan Panakkukang;
2. Pemanfaatan informasi spasial RTRW dan karakteristik lahan budidaya sebagai dasar penentuan lokasi potensial waduk mini; serta
3. Penerapan pemodelan SWMM yang terintegrasi dengan analisis spasial untuk melakukan evaluasi dan desain iteratif waduk mini dalam upaya menurunkan debit puncak dan mengurangi genangan di kawasan perkotaan padat Kota Makassar.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

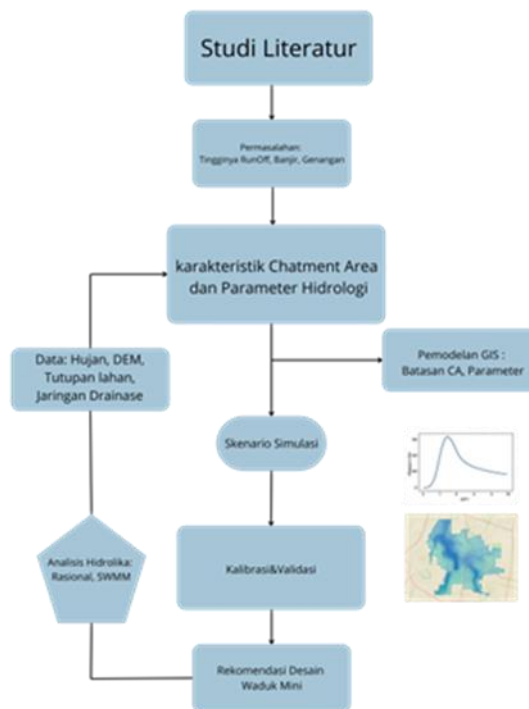
#### **3.1. Desain Penelitian**

Penelitian ini menggunakan pendekatan pemodelan hidrologi-hidrolik terintegrasi berbasis SWMM (*Storm Water Management Model*) yang dikombinasikan dengan analisis spasial menggunakan Sistem Informasi Geografis (GIS). Kerangka metodologi dirancang secara sistematis untuk mengevaluasi efektivitas waduk mini sebagai solusi inovatif dalam pengendalian banjir dan genangan di Kecamatan Panakukang.

SWMM dipilih sebagai platform pemodelan utama karena kemampuannya yang terbukti dalam mensimulasikan proses hidrologi dan hidraulik kompleks di kawasan perkotaan secara dinamis. Model ini mampu merepresentasikan berbagai komponen sistem drainase perkotaan, mulai dari proses hujan-limpasan di permukaan (*rainfall-runoff*), infiltrasi, evaporasi, aliran dalam saluran terbuka maupun tertutup, hingga fenomena hidraulik seperti surcharging, backwater effect, dan flow reversal yang sering terjadi pada kondisi banjir. Keunggulan SWMM terletak pada kemampuannya melakukan simulasi yang dapat menangkap interaksi kompleks antara aliran permukaan dengan sistem drainase bawah tanah, serta kemampuannya memodelkan berbagai jenis struktur kontrol seperti storage unit (kolam retensi/waduk mini) dan pompa dengan aturan operasi yang dapat disesuaikan.

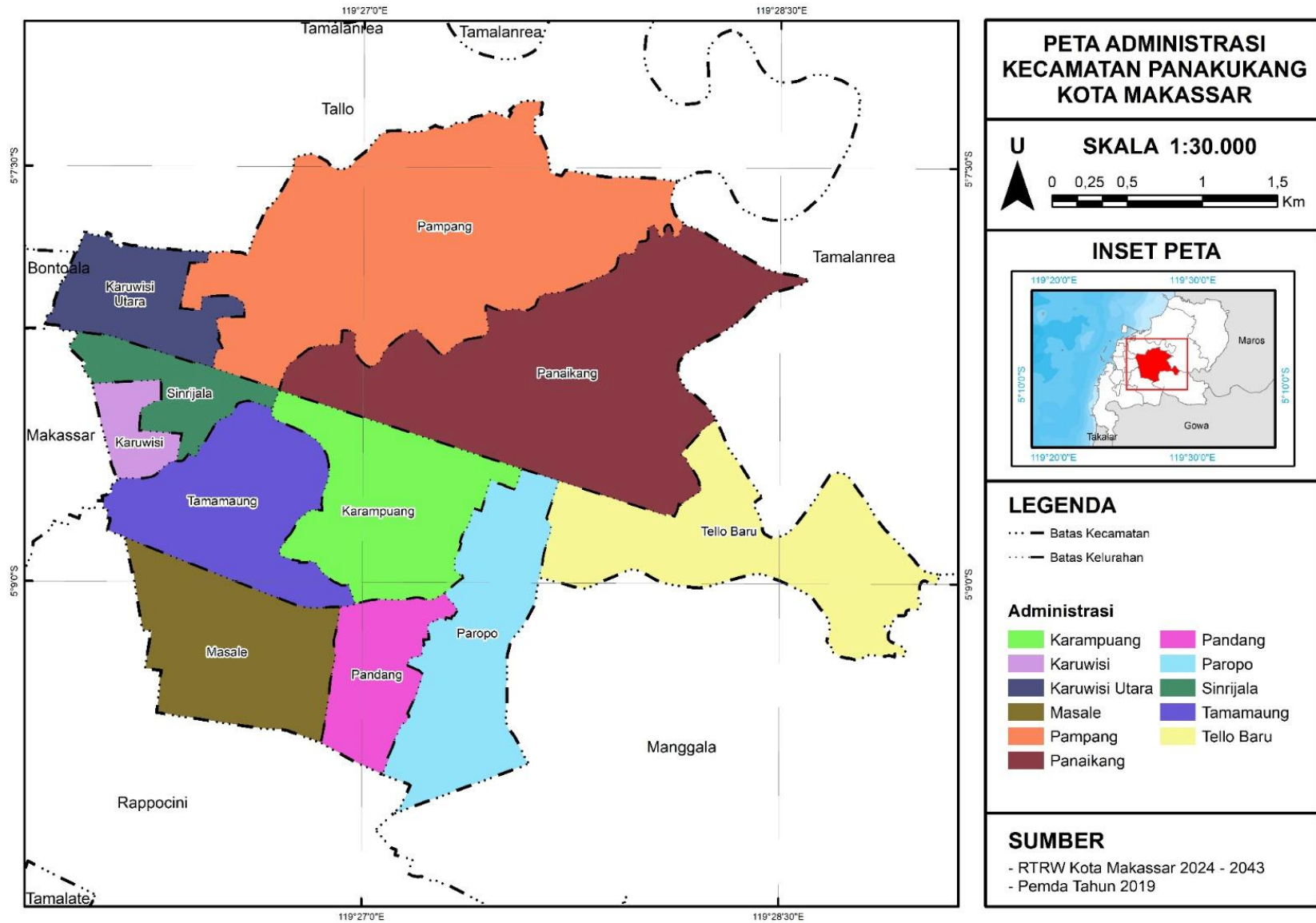
Integrasi SWMM dengan teknologi GIS memberikan nilai tambah signifikan dalam analisis spasial dan visualisasi hasil. GIS berfungsi sebagai platform preprocessing untuk delineasi daerah catchment area, analisis topografi, ekstraksi parameter hidrologi, serta overlay multi-layer untuk penentuan karakteristik tutupan lahan dan persentase area kedap air. Melalui GIS, setiap sub-catchment dapat dikarakterisasi secara detail dengan parameter yang diturunkan langsung dari data spasial, sehingga mengurangi subjektivitas dan meningkatkan akurasi input model. Lebih lanjut, GIS memungkinkan visualisasi hasil simulasi dalam bentuk peta tematik yang mudah dipahami oleh stakeholder, termasuk peta distribusi genangan, peta lokasi kritis, dan peta rekomendasi penempatan waduk mini.

Secara skematis, rancangan penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 10 yang menggambarkan alur utama kegiatan mulai dari tahapan pengumpulan dan kompilasi data (hujan, topografi, jaringan drainase, dan tata guna lahan), pengolahan awal data dalam lingkungan GIS untuk menghasilkan parameter hidrologi dan batas sub-catchment, hingga proses pembangunan model dasar SWMM yang mencerminkan kondisi eksisting di Kecamatan Panakkukang



Gambar 10. Tahapan Rancangan Penelitian

Adapun untuk lokasi penelitian di wilayah Kecamatan Panakkukang Kota Makassar, berdasarkan Gambar 11 berikut:



Gambar 11. Lokasi Kegiatan di Kecamatan Panakukang

### 3.2. Data Penelitian

Rekapitulasi data yang di perlukan dalam penelitian ini disajikan pada Tabel 12 berikut:

Tabel 12. Matrik Kebutuhan Data

No.	Jenis Data	Sumber Data	Fungsi	Keterangan
1	Data Saluran Drainase Ekisting	Survey Lapangan dan PU Kota Makassar	Analisa Hidrolika (kapasitas Saluran Ekisting)	Data Primer dan Data Sekunder
2	Data Arah Aliran	Survey Lapangan dan observasi pengamatan arah aliran	Skema Arah Saluran Drainase	Data Primer
3	Laju infiltrasi	Pengujian lapangan	Analisis penyerapan air	Data Primer
4	Foto Dokumentasi	Dinas pekerjaan umum Kota Makassar dan observasi Lapangan	Kondisi riil daerah studi	Data Primer dan Data Sekunder
5	Peta Topografi	<i>Google Earth</i> dan Dinas PU Kota Makassar	Peta kontur, Daerah Tangkapan Air(DTA)	Data Sekunder
6	Data Curah Hujan	BMKG, BBWSPJ, dan Dinas PU	Analisis Hidrologi	Data Sekunder
7	Data Tata Guna Lahan	BAPPEDA Kota Makassar	Analisis Koefisien limpasan	Data Sekunder
8	Data Kejadian Genangan	Dinas pekerjaan umum dan penataan Ruang Kota Makassar, BPBD	Volume genangan historis	Data Sekunder

### 3.3. Teknik Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini diperlukan data-data pendukung untuk menganalisa daerah studi. Data-data yang diperlukan sebagai berikut :

#### 3.3.1 Data Primer

Data primer adalah data yang diambil secara langsung didaerah studi melalui pengukuran, observasi lapangan baik dengan pengamatan langsung maupun menggunakan foto, ataupun hasil wawancara untuk mengetahui kondisi daerah studi yang sebenarnya. Adapun data primer yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi :

a. Data Drainase Ekisting

Pengukuran atau survey lapangan bertujuan untuk mengetahui dimensi, kondisi, fungsi dari saluran drainase ekisting pada tiap-tiap ruas yang ditinjau daerah studi. Disamping penggunaan informasi data saluran drainase dari instansi terkait (data sekunder).

b. Data Arah Aliran

Batas daerah tangkapan air (DTA) pada daerah studi dapat diketahui dari peta topografi atau peta kontur. Sedangkan peta arah aliran saluran drainase ekisting diperoleh dari pemantauan langsung dilapangan.

c. Laju Infiltrasi

Pengukuran di lapangan dengan Infiltrometer. Pemasangan ring infiltrometer mengikuti prosedur BSN, 2012 tentang Tata cara pengukuran laju infiltrasi tanah di lapangan menggunakan infiltrometer cincin ganda.

d. Dokumentasi Daerah Studi

e. Foto dokumentasi keadaan lapangan sangat diperlukan dalam membuat hipotesa awal penyebab terjadinya genangan di daerah studi, maupun sebagai data pendukung dalam analisa perhitungan.

### 3.3.2 Data Sekunder

Data Sekunder adalah data terkait daerah studi yang diperlukan dari instansi maupun lembaga lain, dan bukan hasil dari pengukuran langsung di lapangan, baik itu berupa uraian, data angka maupun peta terutama yang menyangkut literatur, peraturan, perda, arahan kebijakan yang berhubungan dengan permasalahan sarana dan prasarana jaringan drainase di daerah studi. Data sekunder yang diperlukan dalam penelitian ini meliputi :

a. Peta Topografi

Peta topografi digunakan untuk mengetahui bentuk permukaan kawasan, distribusi elevasi, pola kontur hingga kemiringan lahan sehingga arah aliran dapat diperkirakan dan batasan daerah tangkapan air (*catchment area*) dapat ditentukan.

b. Data Curah Hujan

Data curah hujan diperoleh dari BMKG dan stasiun penakar hujan yang ada di Kota Makassar, Data curah hujan yang tersedia berupa data curah hujan harian minimal 10 (sepuluh tahun terakhir). Data curah hujan ini digunakan dalam analisis hidrologi.

c. Data Jaringan Drainase Ekisting

Data jaringan drainase ekisting digunakan untuk mengetahui dimensi saluran dan digunakan dalam analisis hidrolika,.

d. Peta Tata Guna Lahan

Peta tata guna lahan digunakan untuk mengetahui tutupan lahan ekisting di daerah studi sehingga koefisien pengaliran (C) dapat ditentukan.

e. Data Kejadian Genangan

Data kejadian genangan historis yang pernah terjadi digunakan untuk mengetahui riwayat terjadinya genangan di daerah studi

### 3.4. Analisis Data

Untuk analisis data pada penelitian inovasi pemanfaatan waduk mini untuk pengendalian banjir dan genangan di Kecamatan Panakkukang, Anda dapat mengikuti pendekatan analisis kuantitatif seperti yang telah digariskan dalam metodologi penelitian tersebut. Berikut adalah langkah-langkah yang bisa Anda gunakan dalam menyusun teknik analisis data:

1. Preprocessing Data dengan GIS

Tahap preprocessing merupakan fondasi penting dalam pemodelan hidrologi. Pada tahap ini, seluruh data spasial diolah menggunakan perangkat lunak ArcGIS atau QGIS untuk menghasilkan input yang diperlukan dalam pemodelan. Aktivitas yang dilakukan meliputi:

- a. Delineasi Daerah Catchment Area dan Sub-CA: Menggunakan data DEM untuk melakukan analisis hidrologi otomatis, termasuk penentuan arah aliran (*flow direction*), akumulasi aliran (*flow accumulation*), dan ekstraksi jaringan sungai. Proses delineasi menghasilkan batas-batas sub-CA yang akan menjadi subcatchment dalam model SWMM.
- b. Analisis Tutupan Lahan: Klasifikasi tutupan lahan dari citra satelit menggunakan metode interpretasi visual untuk mengidentifikasi kategori tutupan lahan seperti permukiman padat, permukiman sedang, jalan, ruang terbuka hijau, dan badan air. Setiap kategori tutupan lahan akan diberikan nilai koefisien limpasan (C) yang sesuai berdasarkan literatur.
- c. Identifikasi Komponen Sistem Drainase: Digitalisasi jaringan drainase eksisting meliputi saluran (*conduit*), *junction* (titik pertemuan), *outlet*, dan *storage* (waduk/kolam retensi eksisting jika ada). Data dimensi saluran hasil survei lapangan diintegrasikan ke dalam database spasial.

- d. Penentuan Lokasi Potensial Waduk Mini: Analisis multi-kriteria berbasis GIS untuk menentukan lokasi optimal waduk mini dengan mempertimbangkan faktor-faktor: kemiringan lahan yang relatif datar (0-5%), ketersediaan lahan, kedekatan dengan titik genangan, aksesibilitas, dan dampak sosial minimal.
2. Analisis Hidrologi dengan Metode Rasional

Sebelum melakukan pemodelan dengan SWMM, dilakukan perhitungan debit puncak menggunakan Metode Rasional sebagai benchmark dan validasi awal. Metode Rasional dipilih karena kesederhanaannya dan sering digunakan untuk Catchment Area perkotaan

    - a. Analisis Curah Hujan: Data curah hujan harian maksimum tahunan dianalisis menggunakan distribusi probabilitas (Gumbel, Log Normal, Log Pearson III) untuk menentukan curah hujan rancangan dengan berbagai periode ulang (2, 5, 10 Tahun). Uji kecocokan distribusi dilakukan dengan uji Chi-Square atau Smirnov-Kolmogorov.
    - b. Penentuan intensitas curah hujan: Intensitas Hujan dihitung menggunakan Mononobe
    - c. Perhitungan waktu konsentrasi: Waktu konsentrasi dihitung menggunakan formula Kirpich atau metode lain yang sesuai untuk area perkotaan, dengan mempertimbangkan panjang lintasan aliran dan kemiringan lahan.

Hasil perhitungan Metode Rasional akan dibandingkan dengan output SWMM untuk memastikan konsistensi dan validitas model.
  3. Pemodelan Hidraulik dengan SWMM

SWMM merupakan model dinamis yang mampu mensimulasikan aliran permukaan, aliran dalam saluran, dan proses penyimpanan air dalam sistem drainase perkotaan. Model ini dipilih karena kemampuannya dalam mensimulasikan performa waduk mini dan dampaknya terhadap pengurangan debit puncak.
  4. Kalibrasi dan Validasi Model

Kalibrasi model dilakukan dengan menyesuaikan parameter-parameter sensitif (koefisien Manning, kedalaman depresi, infiltrasi) hingga output model mendekati data observasi (jika tersedia) atau hasil perhitungan Metode Rasional. Validasi dilakukan dengan menjalankan model menggunakan event hujan yang berbeda dan membandingkan hasilnya dengan kondisi aktual atau data historis banjir.

## 5. Skenario Pemodelan

Penelitian ini akan menjalankan beberapa skenario untuk mengevaluasi efektivitas waduk mini:

- a. Skenario Existing: Simulasi kondisi saat ini tanpa waduk mini untuk mengidentifikasi titik-titik genangan dan debit puncak baseline.
- b. Skenario Alternatif Waduk Mini: Simulasi dengan berbagai konfigurasi waduk mini (variasi lokasi, jumlah, dan dimensi) untuk menentukan desain optimal.

Skenario waduk mini disusun sebagai pengembangan dari pemodelan SWMM pada kondisi eksisting, dengan tujuan utama untuk mengevaluasi seberapa jauh penambahan tampungan buatan skala kecil dan menengah dapat menurunkan debit puncak dan mengurangi potensi luapan pada saluran sekunder di Kecamatan Panakkukang. Konsep waduk mini yang digunakan dalam skenario ini mengacu pada definisi dalam kajian ini, yaitu tampungan air buatan yang dibangun di dalam kawasan perkotaan untuk menampung limpasan air hujan pada saat puncak hujan, menyimpannya sementara, kemudian melepaskannya kembali secara bertahap ke sistem drainase atau ke dalam tanah ketika debit sudah menurun. Waduk mini bekerja sebagai kombinasi kolam detensi dan kolam retensi, sehingga tidak hanya berfungsi mereduksi debit puncak dan genangan, tetapi juga mendukung proses resapan dan perbaikan kualitas lingkungan di sekitarnya.

## 6. Desain Konseptual Waduk Mini

Berdasarkan hasil pemodelan dan analisis, disusun desain konseptual waduk mini (Kolam Retensi/kolam Detensi) yang optimal. Melakukan interpretasi terhadap hasil analisis yang telah dilakukan. Memberikan rekomendasi praktis yang bisa diterapkan untuk pengelolaan sistem drainase di Kecamatan Panakkukang. Apakah perlu adanya pengembangan lebih lanjut dalam penerapan waduk mini.

Dengan pendekatan ini, dapat memperoleh analisis yang komprehensif mengenai efektivitas waduk mini dalam mengendalikan banjir dan genangan di Kecamatan Panakkukang.

## BAB IV

### HASIL ANALISIS DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Analisis Hidrologi

Pada kegiatan ini analisis hidrologi dilakukan untuk mengetahui berapa besarnya debit limpasan hujan yang menjadi beban saluran-saluran drainase yang ada di Kota Makassar. Untuk kebutuhan drainase kota limpasan permukaan ini dapat dihitung dengan analisis hujan rancangan yang terjadi di sekitar Kota Makassar disesuaikan dengan catchment area (luas tangkapan) tiap saluran. Sehingga selain data karakteristik lokasi dalam hal ini adalah saluran-saluran yang ada di Kota Makassar, adalah data hujan yang terjadi selama beberapa periode.

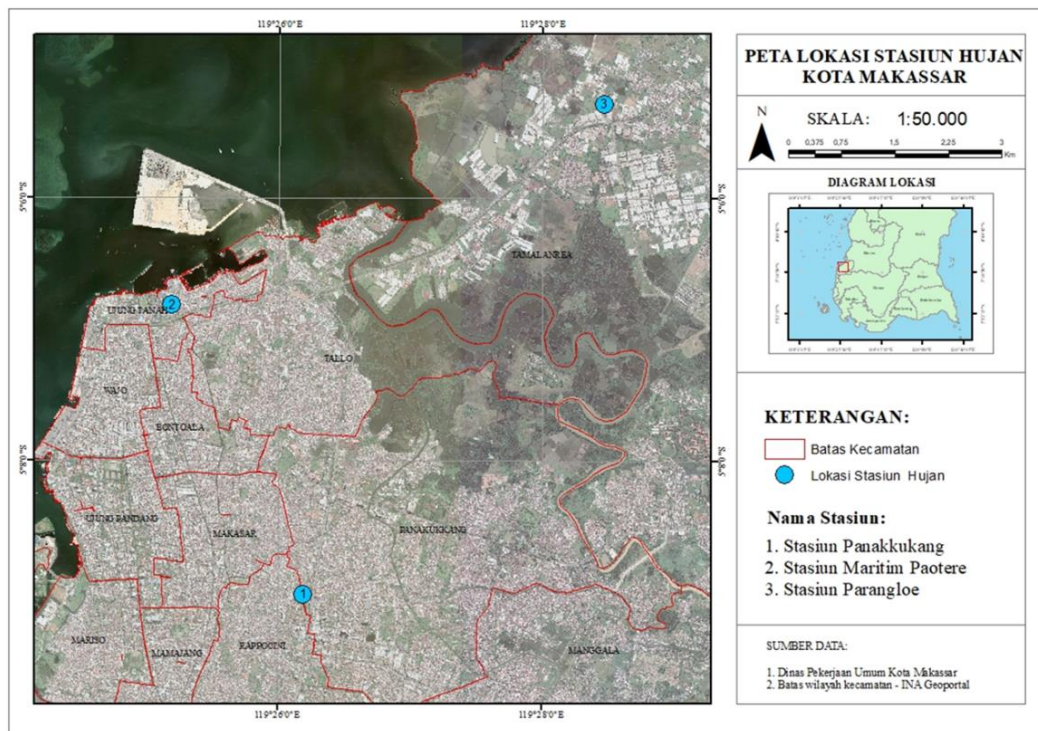
##### 4.1.1 Stasiun Curah Hujan Yang Berpengaruh

Dari data curah hujan yang tercatat pada masing-masing stasiun pengamat hujan dilakukan analisis data. Ada 3 stasiun curah hujan yang digunakan dalam pengamatan ini yaitu Stasiun Paotere, Stasiun Panakkukang, dan Stasiun Parangloe.

Tabel 13. Posisi Stasiun Curah Hujan di Sekitar Kecamatan Panakkukang

No	Nama Stasiun	Letak	Lintang	Bujur
1	Paotere	Ujung Tanah, Kota Makassar	05°06'49.5" LS	119°25'11.4" BT
2	Panakkukang	Panakkukang, Kota Makassar	05°09'01.1" LS	119°26'11.2" BT
3	Parangloe	Tamalanrea, Kota Makassar	05°05'16.62" LS	119°28'27.45" BT

Untuk kebutuhan perhitungan limpasan permukaan pada drainase kota dibutuhkan data yang terupdate dengan rentang data minimal 10 tahun dari tahun 2015 - 2024. Curah hujan rata-rata wilayah kemudian dihitung dengan menggunakan metode Metode Aljabar. Metode ini adalah metode paling sederhana dalam perhitungan hujan kawasan dan untuk luas daerah yang diplot untuk mendapatkan data curah hujan < 500 km<sup>2</sup> sehingga metode ini dianggap memenuhi persyaratan untuk di gunakan. metode aljabar di asumsikan bahwa semua titik penakar hujan mempunyai pengaruh yang setara.



Gambar 12. Peta Lokasi Stasiun Curah Hujan

#### 4.1.2 Curah Hujan Maksimum

Cara yang ditempuh untuk mendapatkan hujan maksimum harian rata-rata Daerah Tangkapan Hujan (DTH) adalah sebagai berikut :

- a. Tentukan hujan maksimum harian pada tahun tertentu di salah satu pos hujan.
- b. Cari besarnya curah hujan pada tanggal-bulan-tahun yang sama untuk pos hujan yang lain.
- c. Hitung hujan *Cathment Area* dengan salah satu cara yang dipilih.
- d. Tentukan hujan maksimum harian (seperti langkah 1) pada tahun yang sama untuk pos hujan yang lain.
- e. Ulangi langkah b dan c setiap tahun.

Dari hasil rata-rata yang diperoleh (sesuai dengan jumlah pos hujan) dipilih yang tertinggi setiap tahun. Data hujan yang terpilih setiap tahun merupakan hujan maksimum harian di wilayah *cathment area* untuk tahun yang bersangkutan (Suripin, 2004)

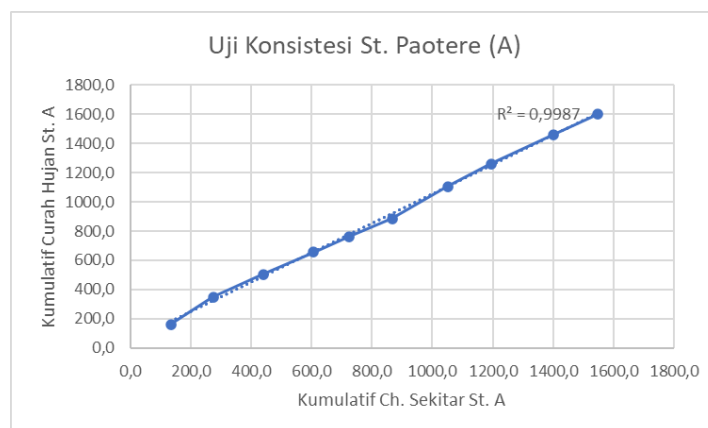
Tabel 14. Curah hujan maksimum harian rata-rata

NO.	Tahun	stasiun Hujan (mm)			Curah Hujan Rata-rata daerah (Aljabar)
		Paotere	panakkukang	Parangloe	
1	2015	160,30	139,00	128,00	142,43
2	2016	188,70	142,00	140,00	156,90
3	2017	156,00	178,00	153,00	162,33
4	2018	152,10	145,00	188,00	161,70
5	2019	107,00	125,00	112,00	114,67
6	2020	122,90	160,00	124,00	135,63
7	2021	213,97	159,57	202,47	192,00
8	2022	151,87	163,01	129,33	148,07
9	2023	195,58	204,34	212,28	204,07
10	2024	136,91	166,46	128,44	143,93
<b>Jumlah</b>		<b>1585,33</b>	<b>1582,38</b>	<b>1517,52</b>	<b>1561,74</b>

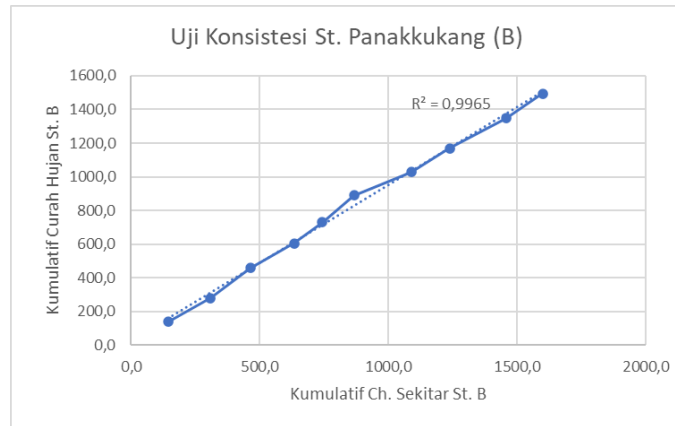
#### 4.1.3 Uji Konsistensi Data Curah Hujan

Sebelum data curah hujan diolah lebih lanjut, dilakukan uji konsistensi terhadap data dari stasiun-stasiun penakar yang digunakan. Pengujian memakai metode kurva massa ganda. Langkah awal adalah menghitung akumulasi curah hujan tahunan pada setiap stasiun yang diuji. Ringkasan data tahunan per stasiun disajikan pada Tabel 14.

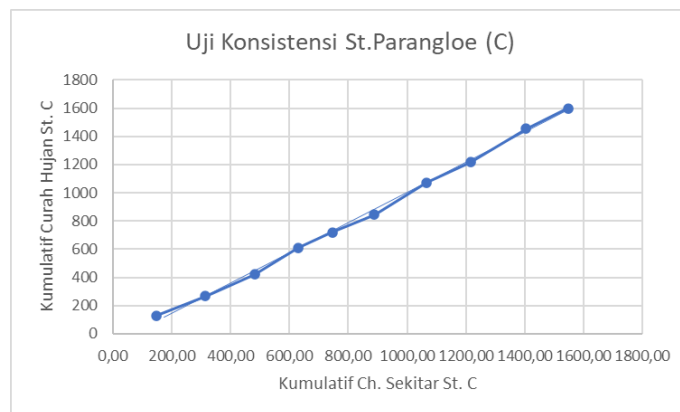
Setelah deret curah hujan tahunan tiap stasiun diperoleh, langkah berikutnya adalah membandingkan catatan stasiun uji dengan catatan stasiun-stasiun pembanding di sekitarnya. Perbandingan dilakukan dengan memplot akumulasi (kumulatif) curah hujan tahunan pada kurva massa ganda (double mass curve).



Gambar 13. Grafik uji konsistensi data curah hujan stasiun paotere



Gambar 14. Grafik uji konsistensi data curah hujan stasiun Panakkukang



Gambar 15. Grafik uji konsistensi data curah hujan stasiun Parangloe

Setelah dilakukan pengujian konsistensi data curah hujan, data curah hujan yang dapat digunakan, pada Tabel 15 berikut:

Tabel 15. Data Hujan Maksimum Harian Hasil Pengujian Kurva Massa Ganda

No.	Tahun	St. Paotere	St. Panakkukang	St. Parangloe
1	2015	160,3	139,0	128,0
2	2016	188,7	142,0	140,0
3	2017	156,0	178,0	153,0
4	2018	152,1	145,0	188,0
5	2019	107,0	125,0	112,0
6	2020	122,9	160,0	124,0
7	2021	214,0	159,6	202,5
8	2022	151,9	163,0	129,3
9	2023	195,6	204,3	212,3
10	2024	136,9	166,5	128,4

#### 4.1.4 Analisis Parameter Statistik

Sebelum dilakukan analisis distribusi data hujan perlu diuji terlebih dahulu menggunakan parameter statistik. Parameter yang diuji adalah koefisien kemencengan (Cs), Koefisien kurtosis (Ck). Hasil perhitungan parameter ini akan menjadi acuan untuk menentukan kesesuaian data dengan kriteria dari berbagai metode distribusi, seperti Log Normal, Gumbel, Normal, dan Log Pearson Tipe III.

Tabel 16. Tabel analisis pemilihan Distribusi Gumbel dan Normal

NO.	TAHUN	X	X-X <sub>i</sub>	X-X <sub>i</sub> <sup>2</sup>	X-X <sub>i</sub> <sup>3</sup>	X-X <sub>i</sub> <sup>4</sup>
1	2023	204,07	47,89	2293,76	109855,66	5261342,37
2	2021	192,00	35,83	1283,60	45987,93	1647625,49
3	2017	162,33	6,16	37,94	233,67	1439,23
4	2018	161,70	5,53	30,54	168,74	932,48
5	2016	156,90	0,73	0,53	0,38	0,28
6	2022	148,07	-8,10	65,66	-532,08	4311,54
7	2024	143,93	-12,24	149,82	-1833,73	22444,62
8	2015	142,43	-13,74	188,81	-2594,33	35647,86
9	2020	135,63	-20,54	421,92	-8666,52	178016,25
10	2019	114,67	-41,51	1722,86	-71511,36	2968247,30
<b>JUMLAH (Σ)</b>		<b>1561,74</b>	<b>Σ</b>	<b>6195,42</b>	<b>71108,37</b>	<b>10120007,42</b>
<b>X<sub>i</sub> (Rata-rata)</b>		<b>156,17</b>	<b>X<sub>i</sub></b>	<b>619,54</b>	<b>7110,84</b>	<b>1012000,74</b>

- Mencari Nilai hujan rata-rata

$$x_i = \frac{1500,04}{10} = 150,00 \text{ mm}$$

- Nilai Standar deviasi

$$Sd = \sqrt{\frac{6195,42}{10 - 1}}$$

$$Sd = 26,24$$

- koefisien kemencengan (Cs)

$$Cs = \frac{71108,37 \cdot 10}{(10 - 1) \cdot (10 - 2) \cdot 26,24^3}$$

$$Cs = 0,579$$

- Koefisien kurtosis

$$Ck = \frac{10120007,42 \cdot 10^2}{(10 - 1) \cdot (10 - 2) \cdot (10 - 3) \cdot 26,24^4}$$

$$Ck = 4,237$$

- Koefisien Variasi (Cv)

$$cv = \frac{26,24}{156,17}$$

$$cv = 0,168$$

Tabel 17. Tabel analisis distribusi log Normal dan Log Pearson tipe III

No.	Tahun	X	LOG X	Log X-Log Xi	(Log X-Log Xi) <sup>2</sup>	(Log X-Log Xi) <sup>3</sup>	(Log X-Log Xi) <sup>4</sup>
1	2023	204,07	2,310	0,122	0,01478	0,0017975	0,00021855
2	2021	192,00	2,283	0,095	0,00905	0,0008606	0,00008185
3	2017	162,33	2,210	0,022	0,00049	0,0000110	0,00000024
4	2018	161,70	2,209	0,021	0,00042	0,0000086	0,00000018
5	2016	156,90	2,196	0,007	0,00006	0,0000004	0,00000000
6	2022	148,07	2,170	-0,018	0,00031	-0,0000056	0,00000010
7	2024	143,93	2,158	-0,030	0,00090	-0,0000271	0,00000081
8	2015	142,43	2,154	-0,035	0,00120	-0,0000413	0,00000143
9	2020	135,63	2,132	-0,056	0,00312	-0,0001739	0,00000971
10	2019	114,67	2,059	-0,129	0,01658	-0,0021342	0,00027478
<b>Jumlah (Σ)</b>		<b>1561,74</b>	<b>21,88</b>	<b>Jumlah (Σ)</b>	<b>0,04690</b>	<b>0,00030</b>	<b>0,00059</b>
<b>X<sub>i</sub></b>		<b>156,17</b>	<b>2,19</b>	<b>X<sub>i</sub></b>	<b>0,004690</b>	<b>0,000030</b>	<b>0,000059</b>

- Mencari Nilai hujan rata-rata

$$x_i = \frac{1561,74}{10} = 156,17 \text{ mm}$$

- Nilai Standar deviasi

$$Sd = \sqrt{\frac{0,0469}{10 - 1}}$$

$$Sd = 0,072$$

- koefisien Skewness (Cs)

$$Cs = \frac{0,00030 \cdot 10}{(10 - 1) \cdot (10 - 2) \cdot 0,072^3}$$

$$Cs = 0,109$$

- Koefisien kurtosis

$$Ck = \frac{0,00058 \cdot 10^2}{(10 - 1) \cdot (10 - 2) \cdot (10 - 3) \cdot 0,072^4}$$

$$Ck = 4,28$$

- Koefisien Variasi (Cv)

$$cv = \frac{0.0753}{156,17}$$

$$cv = 0,00046$$

Kesesuaian suatu distribusi probabilitas dievaluasi menggunakan nilai koefisien kemencengan (Cs) dan Kurtosis (Ck) yang dibandingkan terhadap kriteria teoritisnya dengan hasil perhitungan. Berikut ini kesimpulan dari perhitungan dirangkum pada Tabel 18 berikut:

Tabel 18. Ketentuan pemilihan distribusi curah hujan

N0.	Jenis Distribusi	Syarat	Hasil Perhitungan	kesimpulan
1.	Gumbel	Cs = 1,14	0,547	tidak memenuhi
		Ck = 5,54	4,237	tidak memenuhi
2.	Log Normal	Cs = Cv <sup>3</sup> + 3*Cv	0,006	Tidak memenuhi
		Ck = cv <sup>8</sup> + 6*cv <sup>6</sup> + 15*Cv <sup>4</sup> + 16*Cv <sup>2</sup> + 3	3,000	tidak memenuhi
3.	Normal	Cs = 0	0,109	tidak memenuhi
		Ck = 3	4,237	tidak memenuhi
4.	Log pearson III	tidak ada Syarat Khusus	0,109	Memenuhi

#### 4.1.5 Analisis Hujan Rancangan

Perhitungan hujan rancangan menggunakan metode Log Pearson tipe III. Berikut penjabarannya.

Tabel 19. Analisis Frekuensi Curah Hujan Distribusi Log Person III

Kala Ulang (Tr) (Tahun)	Pr(%)	K	K.Sd <sub>log</sub> x	Log X <sub>rancangan</sub>	X <sub>rancangan</sub> (mm/hari)
2	50	-0,018	-0,0013	2,19	153,77
5	20	0,836	0,0603	2,25	177,23
10	10	1,293	0,0933	2,28	191,21
25	4	1,788	0,1291	2,32	207,60
50	2	2,112	0,1524	2,34	219,10
100	1	2,406	0,1737	2,36	230,09

Dari perhitungan analisis frekuensi yang didapatkan, dilakukan Uji Chi Kuadrat dan Uji Smirnov Kolmogorov untuk dapat dilihat probabilitas yang sesuai dengan hasil uji. Berikut adalah hasil uji pada Tabel 20 dan Tabel 21 dibawah:

Tabel 20. Batas Kelas Uji Chi Kuadrat

	Probabilitas (%)	Tr	K	Log $X_{rencana}$	$X_{rencana}$
1	75	1,33	-0,69188	2,14	137,48
2	50	2,00	-0,01816	2,19	153,77
3	25	4,00	0,673415	2,24	172,50

Tabel 21. Perhitungan Chi Kuadrat

No	Batas Kelas			Jumlah Data		Ej-Oj	(Ej-Oj) <sup>2</sup> /Ej
				Ej	Oj		
1	0	-	137,48	2,5	2	0,5	0,1
2	137,48	-	153,77	2,5	3	-0,5	0,1
3	153,77	-	172,50	2,5	3	-0,5	0,1
4	172,50	-	∞	2,5	2	0,5	0,1
Jumlah				10	10	X <sub>2</sub> hitung	0,4

Kesimpulan dari perhitungan uji Chi Kuadrat di atas untuk x<sub>2</sub> hitung diperoleh **0,4**. Berdasarkan tabel nilai kritis Chi Kuadrat untuk derajat kebebasan 5% dan 1%, dengan nilai **0,635** untuk nilai Kritis 1% dan **3,841** untuk nilai kritis 5% berada di bawah nilai x<sub>2</sub> hitung, maka dari itu data dapat diterima.

Tabel 22. Kesimpulan Hasil Uji Chi Kuadrat

A	X <sub>2</sub> kritis	X <sub>2</sub> Hitung	Keterangan
5%	3,841	0,4	Diterima
1%	0,635	0,4	Diterima

Untuk Uji Smirnov Kolmogorov:

Tabel 23. Hasil Perhitungan Uji Smirnov Kolmogorof

No.	Tahun	X (mm)	Log X	Log X	m	Pe[R]	K	Pt(R)	$\rho t(R)-Pe[R]$
1	2023	204,07	2,31	2,29	1	0,091	1,370	0,090	0,00
2	2021	192,00	2,28	2,28	2	0,182	1,339	0,094	0,09
3	2017	162,33	2,21	2,22	3	0,273	0,479	0,310	0,04
4	2018	161,70	2,21	2,21	4	0,364	0,356	0,348	0,02
5	2016	156,90	2,20	2,16	5	0,455	-0,367	0,639	0,18
6	2022	148,07	2,17	2,14	6	0,545	-0,633	0,736	0,19
7	2024	143,93	2,16	2,13	7	0,636	-0,784	0,792	0,16
8	2015	142,43	2,15	2,11	8	0,727	-1,146	0,871	0,14
9	2020	135,63	2,13	2,09	9	0,818	-1,383	0,927	0,11
10	2019	114,67	2,06	2,07	10	0,909	-1,665	0,957	0,05
jumlah( $\Sigma$ )			21,88						
Rata-rata			2,19						
Banyak data			10			$\Delta_{\max \text{ hitung}}$			<b>0,19</b>
Standar Deviasi (Sd)			0,072						
Cs			0,109						

Tabel 24. Kesimpulan Uji Smirnov Kolmogorof

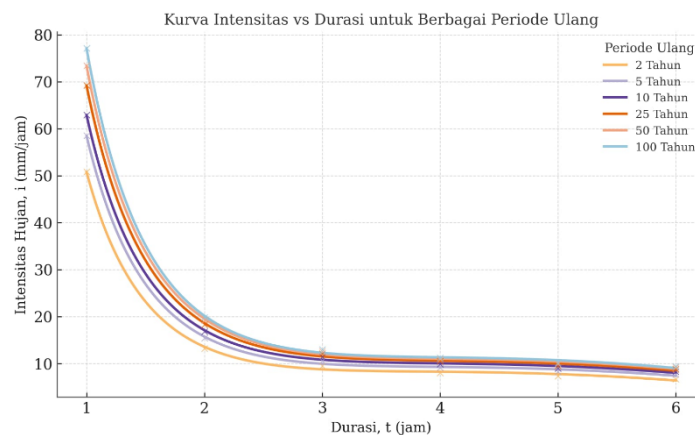
$\alpha$	$\Delta_{\text{kritis}}$	$\Delta_{\text{Hitung}}$	Kesimpulan
5%	0,41	0,19	Diterima
1%	0,49	0,19	Diterima

#### 4.1.6 Analisis Intensitas Hujan

Analisis dilanjutkan dengan menghitung intensitas curah hujan menggunakan pendekatan empiris melalui rumus mononobe. Metode ini digunakan karena data yang tersedia terbatas pada data curah hujan harian. Dengan metode Mononobe ini kita dapat mengestimasi hujan setiap jamnya dari hujan satuan harian yang ada. Untuk perhitungan selengkapnya disajikan pada Tabel 25 berikut:

Tabel 25. Perhitungan Hujan Jam-Jaman Metode Mononobe

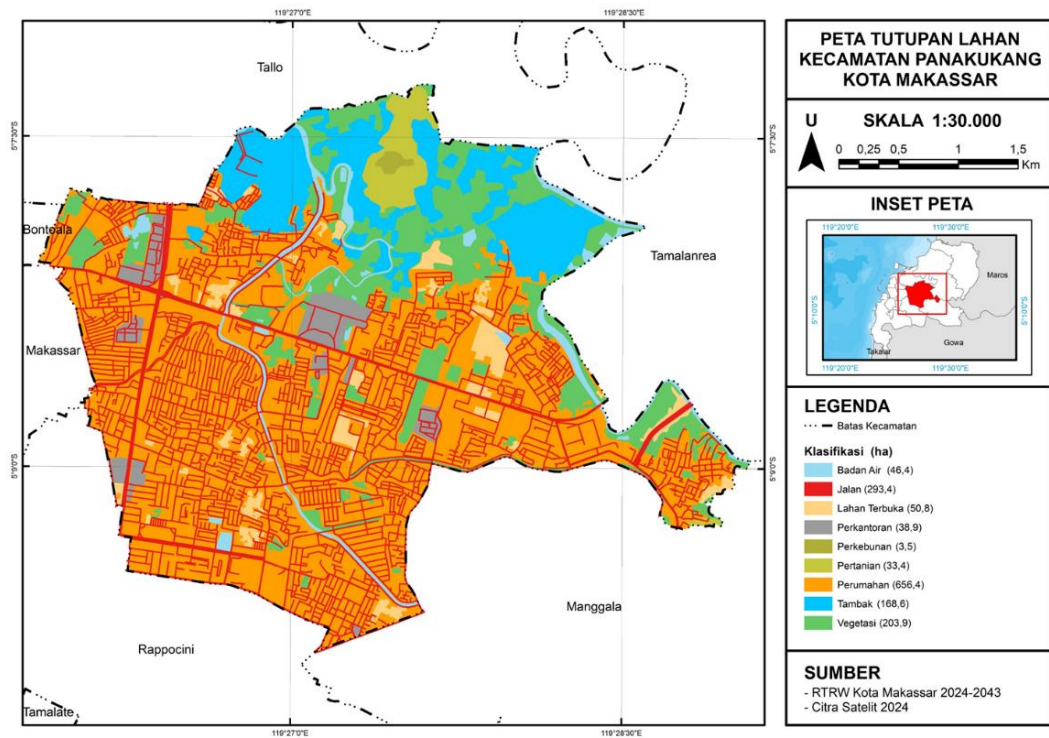
No	Jam Ke t	Persentase Hujan jam ke t	Hujan Rencana pada Periode Ulang (mm/jam)						
			2	5	10	25	50	100	
			Tahun	Tahun	Tahun	Tahun	Tahun	Tahun	
1	1	55,03%	50,77	58,52	63,14	69	72,34	75,97	
2	2	14,30%	13,20	15,21	16,41	18	18,80	19,75	
3	3	10,03%	9,26	10,67	11,51	12	13,19	13,85	
4	4	7,99%	7,37	8,49	9,16	10	10,50	11,03	
5	5	6,75%	6,22	7,17	7,74	8	8,87	9,31	
6	6	5,90%	5,44	6,27	6,76	7	7,75	8,14	
100,00%									
Hujan Netto (Hujan Efektif)			(mm/Hari)	92,26	106,34	114,72	124,56	131,46	138,05



Gambar 16. Grafik Kurva Intensitas

#### 4.2 Analisis Tutupan Lahan

Berdasarkan data geospasial dalam format *shapefile* yang menggambarkan kondisi tutupan lahan tahun 2024 yang berada di wilayah penelitian, pada Gambar 17 berikut:



Gambar 17. Peta Tutupan Lahan Kecamatan Panakukang Kota Makassar

Untuk luasan masing-masing jenis tutupan lahan yang ada di Kecamatan Panakukang, digunakan untuk menentukan nilai koefisien limpasan dengan menggunakan metode Rational, dapat dilihat pada Tabel 26 berikut:

Tabel 26. Koefisien Limpasan berdasarkan tutupan lahan

Jenis Tutupan Lahan	Luas (A) Ha	Koefisien Runoff (C)	C x A
Jalan	293,455	0,95	278,782
Lahan Terbuka	50,812	0,30	15,243
Perkantoran	38,995	0,70	27,297
Perkebunan	3,568	0,40	1,427
Pertanian	33,476	0,10	3,348
Perumahan	656,479	0,75	492,359
Tambak	168,650	0,05	8,433
Vegetasi	203,910	0,22	44,860
<b>JUMLAH</b>	<b>1449,345</b>		<b>871,749</b>

Sehingga untuk nilai koefisien limpasan di Kecamatan Panakukang berdasarkan metode Rational di peroleh:

$$\text{Nilai } C_{ef} = \frac{871,749}{1449,345}$$

$$= 0,60$$

Nilai Koefisien runoff C yang digunakan yaitu 0,60

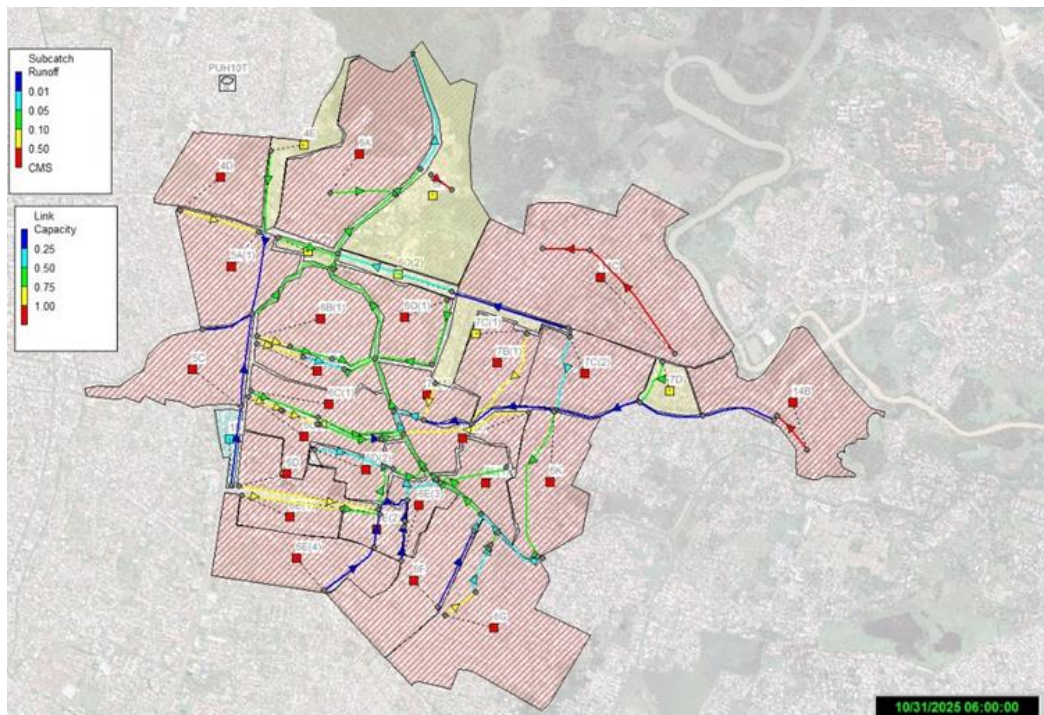
### 4.3 Analisis Hidrolika

#### 4.3.1 Sistem Drainase Eksisting

Lokasi penelitian berada di Kecamatan Panakukang dengan luas tinjauan kegiatan kurang lebih 17,05 km<sup>2</sup>. Adapun saluran sekunder yang ada di wilayah Kecamatan Panakukang, berdasarkan wilayah Cathment Area terdapat pada Tabel 27 berikut:

Tabel 27. Dimensi saluran sekunder eksisting

Zona	Sub Zona	Luas (Ha)	Saluran Sekunder		Kemiringan (S)			Dimensi Saluran (m)		
			Nama Saluran	Elevasi Hulu	Elevasi Hilir	Panjang (Km)	S	Lebar Atas (b)	Lebar Bawah (b')	Tinggi
1	1A	17,52	Jl.Monginsidi Baru	2,95	2,79	0,64	0,00025	2,45	2,45	2,00
4	4D	77,63	Saluran Pinggir Tol Reformasi	2,73	1,84	0,75	0,00119	1,10	1,10	0,80
	4E	48,53	Saluran Pinggir Tol Reformasi	2,64	1,84	0,61	0,00131	1,10	1,00	1,00
5	5A	69,77	Jl. A.P Pettarani	2,79	1,27	0,60	0,00253	2,10	2,10	2,00
	5C	54,09	Jl. Sungai Saddang	2,54	2,21	0,75	0,00044	2,10	2,10	2,00
	6A	166,05	Jl. Pampang 2	2,50	2,12	0,49	0,00078	1,55	1,50	1,00
	6B	77,09	Jl. Pettarani 2	2,71	1,85	0,48	0,00180	1,55	1,65	1,00
	6C	62,87	Jl Abd Dg Sirua	2,86	2,15	0,30	0,00237	0,90	0,86	0,60
	6D	59,54	Jl. Boulevard	3,22	1,26	1,05	0,00187	1,20	1,00	0,80
6	6E	118,42	Jl. Adiyaksa baru	3,37	1,89	0,24	0,00614	3,00	2,80	2,00
	6F	58,09	Jl. Toddopuli Raya	3,03	1,99	0,68	0,00153	3,90	3,90	2,50
	6G	115,81	Jl. Anggrek Raya + Toddopuli 7	2,83	1,76	0,42	0,00257	3,00	2,80	1,49
	6K	60,57	Jl. Batua Raya	3,66	2,34	1,23	0,00107	1,00	1,00	0,80
	6L	58,49	Saslruran Besar Perum Azalea	2,32	1,21	0,61	0,00180	1,90	1,50	1,55
	6O	52,44	Jl. Racing Centre	2,54	2,12	0,54	0,00077	1,35	1,30	1,30
7	6P	96,92	Jl. Pampang 4	1,98	1,68	0,28	0,00107	0,40	0,40	0,50
	7A	37,84	Jl. Masjid Baiturrahman	3,23	2,56	0,31	0,00219	0,50	0,50	0,45
	7B	41,82	Jl. Dirgantara	9,17	6,66	0,95	0,00264	0,60	0,60	0,60
	7C	53,99	Jl. Taman Makam Pahlawan	12,90	6,50	0,63	0,01024	0,50	0,50	0,50
14	7D	16,70	Jl. Cambajawayya	9,40	5,11	0,39	0,01100	0,35	0,35	0,50
	14B	112,20	Jl. Leimena + MRR	7,71	2,69	0,60	0,00837	0,50	0,35	0,50
	14C	186,69	Saluran Besar Kesadaran Raya	3,71	3,06	0,83	0,00079	2,60	2,60	1,60



Gambar 18. Pemodelan Jaringan Drainase

Sistem drainase pada lokasi studi mengandalkan gravitasi yang dibuang pada outlet yaitu kanal yang muaranya menuju sungai/pantai (Sungai Pampang dan Sungai Tallo). Berdasarkan arah aliran sistem drainase di bagi menjadi beberapa sub zona catchment area.

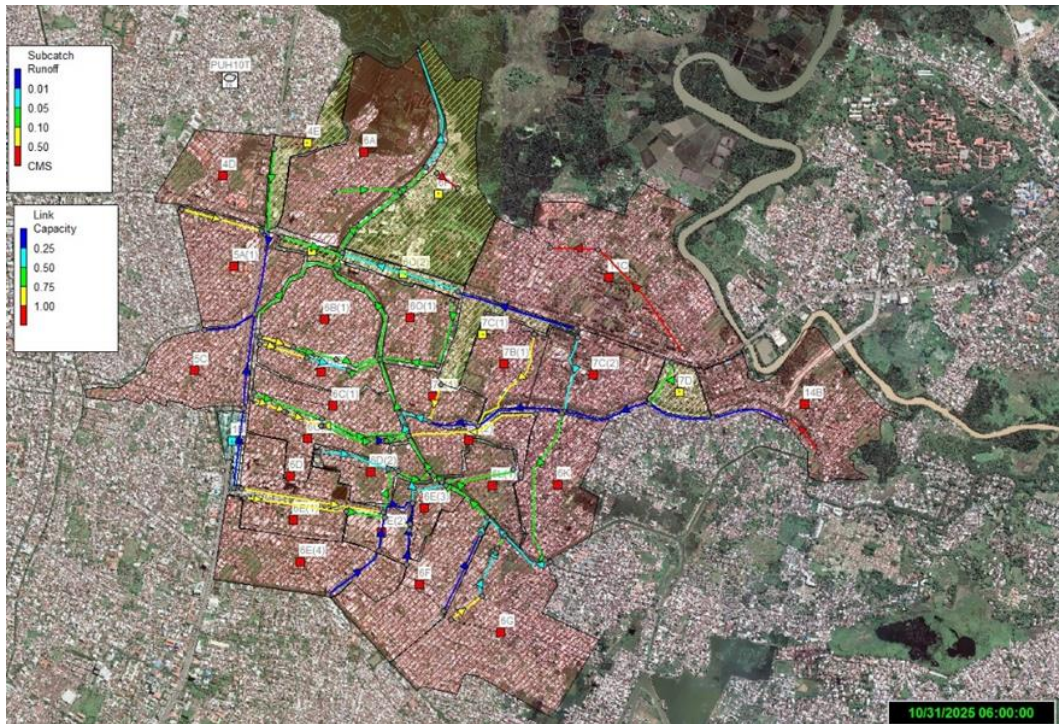
#### 4.3.2 Pemodelan SWMM Sebelum ada Waduk

Pemodelan dalam kajian ini, kapasitas jaringan saluran drainase dievaluasi menggunakan *Storm Water Management Model (SWMM)* versi 5.2. SWMM merupakan model simulasi dinamis yang memodelkan keterkaitan antara curah hujan dan limpasan permukaan. Kerangka kerjanya mentransformasikan hidrograf hujan menjadi hidrograf banjir dengan memanfaatkan skema aliran, data curah hujan, karakteristik daerah tangkapan, serta informasi elevasi dan dimensi saluran. Pembagian subcatchment pada SWMM 5.2 disajikan pada Tabel 28.

Data inputan utama dalam pemodelan meliputi: subcatchment sebagai area penerima hujan dan lokasi terjadinya infiltrasi; node sebagai titik penerima/akumulasi debit limpasan; link sebagai penghubung antarnode; rain gauge sebagai masukan data hujan; serta outfall sebagai titik pembuangan di bagian hilir.

Tabel 28. Data parameter tiap subcatchment

Zona	Sub Zona	Luas (Ha)	Saluran Sekunder		Kemiringan (S)			Dimensi Saluran (m)			n	C
			Nama Saluran	Elevasi Hulu	Elevasi Hilir	Panjang (Km)	S	Lebar Atas (b)	Lebar Bawah (b')	Tinggi		
1	1A	17.52	Jl.Monginsidi Baru	2.95	2.79	0.64	0.00025	2.45	2.45	2.00	0.021	0.6
	4D	77.63	Saluran Pinggir Tol Reformasi	2.73	1.84	0.75	0.00119	1.10	1.10	0.80	0.021	0.6
4	4E	48.53	Saluran Pinggir Tol Reformasi	2.64	1.84	0.61	0.00131	1.10	1.00	1.00	0.021	0.6
	5A	69.77	Jl. A.P Pettarani	2.79	1.27	0.60	0.00253	2.10	2.10	2.00	0.021	0.6
5	5C	54.09	Jl. Sungai Saddang	2.54	2.21	0.75	0.00044	2.10	2.10	2.00	0.021	0.6
	6A	166.05	Jl. Pampang 2	2.50	2.12	0.49	0.00078	1.55	1.50	1.00	0.021	0.6
6	6B	77.09	Jl. Pettarani 2	2.71	1.85	0.48	0.00180	1.55	1.55	1.00	0.021	0.6
	6C	62.87	Jl Abd Dg Sirua	2.86	2.15	0.30	0.00237	1.10	1.10	0.90	0.021	0.6
6	6D	59.54	Jl. Boulevard	3.22	1.26	1.05	0.00187	1.20	1.00	0.80	0.021	0.6
	6E	118.42	Jl. Adiyaksa baru	3.37	1.89	0.24	0.00614	3.00	2.80	2.00	0.021	0.6
6	6F	58.09	Jl. Toddopuli Raya	3.03	1.99	0.68	0.00153	3.90	3.90	2.50	0.021	0.6
	6G	115.81	Jl. Anggrek Raya + Toddopuli 7	2.83	1.76	0.42	0.00257	3.00	2.80	1.49	0.021	0.6
6	6K	60.57	Jl. Batua Raya	3.66	2.34	1.23	0.00107	1.00	1.00	0.80	0.021	0.6
	6L	58.49	Salurkan Besar Perum Azalea	2.32	1.21	0.61	0.00180	1.90	1.50	1.55	0.021	0.6
6	6O	52.44	Jl. Racing Centre	2.54	2.12	0.54	0.00077	1.35	1.30	1.30	0.021	0.6
	6P	96.92	Jl. Pampang 4	1.98	1.68	0.28	0.00107	0.40	0.40	0.50	0.021	0.6
7	7A	37.84	Jl. Masjid Baiturrahman	3.23	2.56	0.31	0.00219	0.50	0.50	0.45	0.021	0.6
	7B	41.82	Jl. Dirgantara	9.17	6.66	0.95	0.00264	0.60	0.60	0.60	0.021	0.6
7	7C	53.99	Jl. Taman Makam Pahlawan	12.90	6.50	0.63	0.01024	0.50	0.50	0.50	0.021	0.6
	7D	16.70	Jl. Cambajawaya	9.40	5.11	0.39	0.01100	0.35	0.35	0.50	0.021	0.6
14	14B	112.20	Jl. Leimena + MRR	7.71	2.69	0.60	0.00837	0.50	0.35	0.50	0.021	0.6
	14C	186.69	Saluran Besar Kesadaran Raya	3.71	3.06	0.83	0.00079	2.60	2.60	1.60	0.021	0.6



Gambar 19. Tampilan simulasi pemodelan SWMM

Dari hasil simulasi aliran drainase pada pemodelan SWMM, disajikan data pada Tabel 29 berikut:

Tabel 29. Output Kapasitas Saluran dari Hasil Pemodelan SWMM

Zona	Sub Zona	Luas (Ha)	Saluran Sekunder		Kemiringan (S)			Dimensi Saluran (m)				Perhitungan Kapasitas Maks Saluran					Q SWMM (2 Tahun)	Q SWMM (5 Tahun)	Q SWMM (10 Tahun)	Keterangan
			Nama Saluran	Elevasi Hulu	Elevasi Hilir	Panjang (Km)	S	Lebar Atas (b)	Lebar Bawah (b')	Tinggi	m	A (m <sup>2</sup> )	P (m)	R (m)	V (m/dt)	Q (m <sup>3</sup> /dt)				
1	1A	17.52	Jl. Monginsidi Baru	2.95	2.79	0.64	0.00025	2.45	2.45	2.00	0.00	4.78	6.35	0.75	0.53	2.51	0.01	0.02	0.02	
4	4D	77.63	Saluran Pinggir Tol Reformasi	2.73	1.84	0.75	0.00119	1.10	1.10	0.80	0.00	0.88	2.70	0.33	0.65	0.58	0.70	0.70	0.70	Meluap
	4E	48.53	Saluran Pinggir Tol Reformasi	2.64	1.84	0.61	0.00131	1.10	1.00	1.00	0.12	0.94	2.71	0.35	0.71	0.67	0.58	0.72	0.81	Meluap
5	5A	69.77	Jl. A.P Pettarani	2.79	1.27	0.60	0.00253	2.10	2.10	2.00	0.00	3.99	5.90	0.68	1.55	6.19	2.78	3.25	3.55	
	5C	54.09	Jl. Sungai Saddang	2.54	2.21	0.75	0.00044	2.10	2.10	2.00	0.00	4.10	6.00	0.68	0.65	2.66	1.19	1.46	1.62	
	6A	166.05	Jl. Pampang 2	2.50	2.12	0.49	0.00078	1.55	1.50	1.00	0.06	1.24	3.10	0.40	0.61	0.75	1.45	1.77	1.98	Meluap
	6B	77.09	Jl. Pettarani 2	2.71	1.85	0.48	0.00180	1.55	1.65	1.00	0.00	1.49	3.46	0.43	0.97	1.44	1.04	1.06	1.08	
	6C	62.87	Jl Abd Dg Sirua	2.86	2.15	0.30	0.00237	1.10	1.10	0.90	0.00	0.83	2.60	0.32	0.91	0.75	0.72	0.74	0.75	Meluap
	6D	59.54	Jl. Boulevard	3.22	1.26	1.05	0.00187	1.20	1.00	0.80	0.31	0.78	2.33	0.34	0.83	0.65	1.18	1.24	1.27	Meluap
6	6E	118.42	Jl. Adiyaksa baru	3.37	1.89	0.24	0.00614	3.00	2.80	2.00	0.10	6.00	6.88	0.87	2.86	17.17	1.82	2.23	3.36	
	6F	58.09	Jl. Toddopuli Raya	3.03	1.99	0.17	0.00597	3.90	3.90	2.50	0.00	8.58	8.30	1.03	3.16	27.10	1.51	1.85	1.31	
	6G	115.81	Jl. Anggrek Raya + Toddopuli 7	2.83	1.76	0.42	0.00257	3.00	2.80	1.49	0.17	3.57	5.23	0.68	1.57	5.61	2.45	2.99	3.32	
	6K	60.57	Jl. Batua Raya	3.66	2.34	1.23	0.00107	1.00	1.00	0.80	0.00	0.80	2.60	0.31	0.60	0.48	1.92	1.92	1.92	
	6L	58.49	Saluran Besar Perum Azalea	2.32	1.21	0.61	0.00180	1.90	1.50	1.55	0.27	2.85	4.73	0.60	1.21	3.45	1.12	1.39	1.57	
	6O	52.44	Jl. Racing Centre	2.54	2.12	0.54	0.00077	1.35	1.30	1.30	0.04	1.69	3.80	0.44	0.65	1.09	1.16	1.16	1.16	Meluap
	6P	96.92	Jl. Pampang 4	1.98	1.68	0.28	0.00107	0.40	0.40	0.50	0.00	0.16	1.20	0.13	0.34	0.05	0.18	0.18	0.18	Meluap
7	7A	37.84	Jl. Masjid Baiturrahman	3.23	2.56	0.31	0.00219	0.50	0.50	0.45	0.00	0.22	1.36	0.16	0.55	0.12	0.27	0.27	0.27	Meluap
	7B	41.82	Jl. Dirgantara	9.17	6.66	0.95	0.00264	0.60	0.60	0.60	0.00	0.35	1.76	0.20	0.70	0.24	0.52	0.52	0.52	Meluap
	7C	53.99	Jl. Taman Makam Pahlawan	12.90	6.50	0.63	0.01024	0.50	0.50	0.50	0.00	0.25	1.50	0.17	1.23	0.31	1.76	2.14	2.39	Meluap
	7D	16.70	Jl. Cambajawayya	9.40	5.11	0.40	0.01073	0.35	0.35	0.50	0.00	0.18	1.35	0.13	1.06	0.19	0.31	0.31	0.31	Meluap
14	14B	112.20	Jl. Leimena + MRR	7.71	2.69	0.60	0.00837	0.50	0.35	0.50	0.30	0.25	1.36	0.18	1.18	0.30	0.80	0.91	0.96	Meluap
	14C	186.69	Saluran Besar Kesadaran Raya	3.71	3.06	0.83	0.00079	2.60	2.60	1.60	0.00	3.64	5.40	0.67	0.86	3.14	2.20	2.75	2.90	

Dari hasil simulasi skenario eksisting (sebelum ada waduk mini), terlihat bahwa beberapa node pada jaringan sekunder mengalami kondisi flooding, yang ditunjukkan oleh lamanya durasi genangan dan tingginya rasio debit maksimum terhadap kapasitas saluran. Hal ini mengindikasikan bahwa, untuk hujan rencana yang digunakan, kapasitas penampang pada ruas-ruas tersebut tidak lagi memadai, sehingga air meluap ke permukaan dan memicu genangan di sepanjang ruas jalan yang bersangkutan.

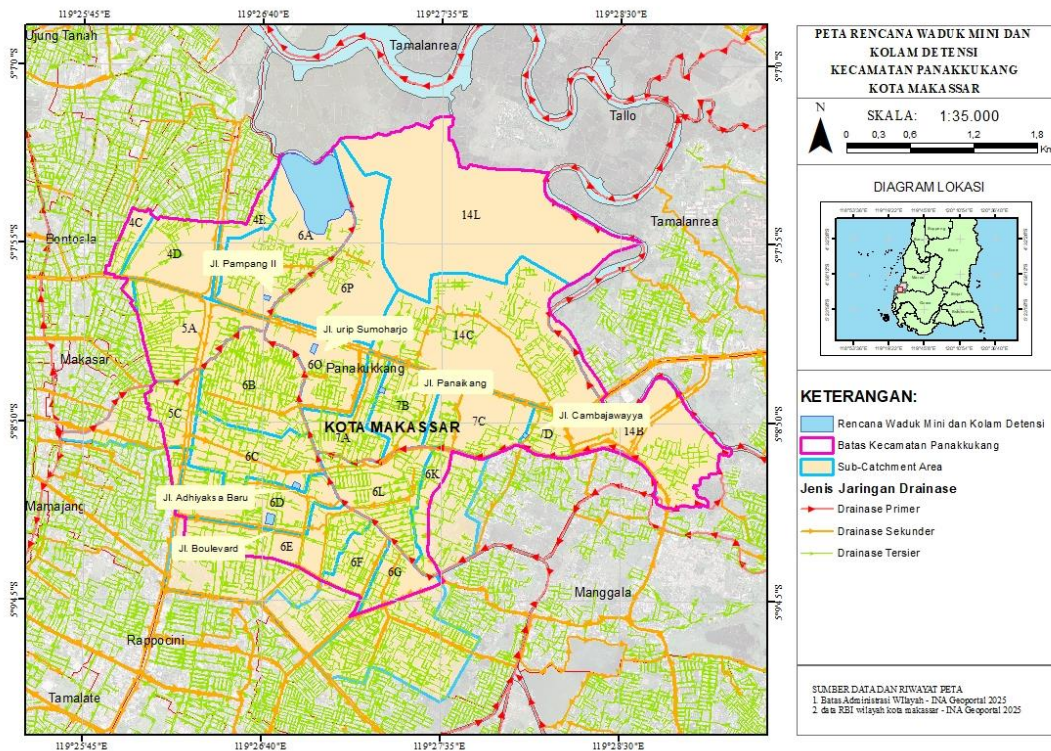
Berdasarkan keluaran SWMM, peningkatan kinerja jaringan diarahkan pada empat intervensi utama, yaitu:

- a. Pertama, pelebaran/normalisasi penampang pada ruas dengan nilai *hours-full* tinggi dan kecepatan guna memulihkan kapasitas hidraulik efektif.
- b. Kedua, penyediaan tampungan sementara berupa kolam retensi/waduk mini, baik inline di dekat *outfall* maupun terdistribusi pada bagian tengah-hulu *cathment area*, untuk mereduksi debit puncak dan menunda waktu kedatangan aliran.
- c. Ketiga, saluran bertangga/peredam energi pada segmen berkemiringan besar untuk mengendalikan rezim superkritis.
- d. Keempat, penerapan *Low Impact Development* (misalnya sumur resapan, perkerasan berpori) untuk menurunkan koefisien limpasan (C) dan memperbaiki respons hidrograf kawasan.

#### **4.3.3 Pemodelan SWMM dengan Penambahan Waduk**

Penempatan waduk mini dalam model dilakukan berdasarkan hasil analisis spasial sebelumnya serta peta rencana lokasi waduk mini pada Kecamatan Panakkukang (Gambar 20). Lokasi-lokasi tersebut dipilih dengan mempertimbangkan beberapa kriteria utama, antara lain: berada pada zona lahan budidaya yang secara tata ruang masih memungkinkan untuk dikembangkan sebagai tampungan, kedekatan dengan titik-titik genangan yang teridentifikasi di lapangan, berada di sekitar ruas saluran sekunder yang pada simulasi eksisting menunjukkan kecenderungan meluap, kemiringan lahan yang relatif datar (0–5%), serta mempertimbangkan aksesibilitas dan dampak sosial yang minimal terhadap permukiman sekitar.

Rencana penempatan waduk mini di Kecamatan Panakkukang disajikan pada Gambar 20 berikut:

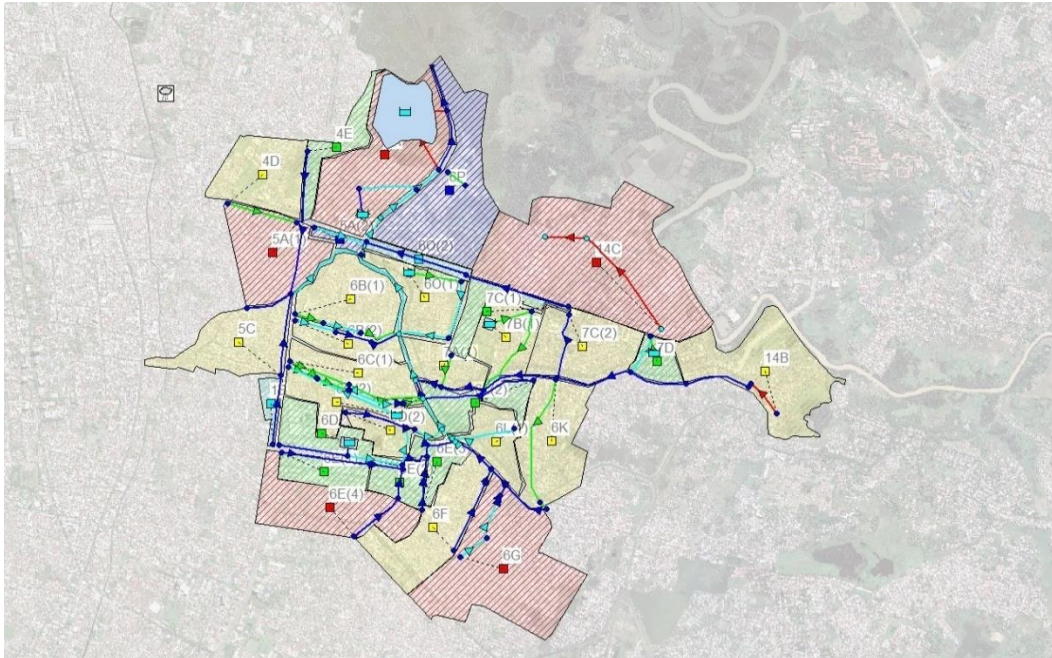


Gambar 20. Lokasi Waduk Mini

Tabel 30. Rencana Luasan Waduk Mini

Rencana Kolam				
Zona	Panjang (m)	Lebar(m)	Luas (m <sup>2</sup> )	Jalan
6A	682.60	446.85	305019.81	Kanal Sungai Pampang
6A	55.81	113.06	6310.37	Jl. Pampang II
6C	48.74	74.81	3646.17	Jl. Adiyaksa Baru
6D	96.19	75.63	7275.00	Jl. Boulevard
6O	81.46	50.82	4139.84	Jl. Urip Sumoharjo
7B	55.81	43.45	2425.08	Jl. Panaikang
7D	43.32	48.25	2090.00	Jl. Cambajawaya

Selanjutnya di lakukan pemodelan pada SWMM setelah ada penempatan waduk mini/kolam dengan kedalaman waduk 3 (tiga) m. Gambar layout pemodelan rencana kolam pada lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 21.



Gambar 21. Layout Pemodelan dengan penempatan waduk mini/kolam

Rencana dimensi kolam retensi ditetapkan berdasarkan luas lahan tersedia pada sub-catchment area yang memiliki potensi limpasan berlebih atau kejadian luapan saluran. Selanjutnya, hidraulik dilakukan untuk menganalisis besarnya reduksi limpasan yang dapat dicapai melalui pengembangan waduk mini dalam sistem drainase.



Gambar 22. Layout Posisi Kolam Pada Zona 6D (Jalan Boulevard)

Pintu air ditempatkan pada sisi kolam yang berhadapan langsung dengan drainase/kanal untuk mengatur mekanisme masuk dan keluarnya air. Ketika debit sungai meningkat, pintu air memungkinkan sebagian limpasan dialihkan ke dalam kolam sehingga mengurangi risiko luapan pada saluran utama. Sebaliknya, pada kondisi normal, kolam dapat melepaskan kembali air secara bertahap sehingga tidak menimbulkan tekanan hidraulik berlebih pada jaringan drainase hilir. Penempatan kolam di sisi saluran juga mempertimbangkan arah aliran dominan, memaksimalkan efisiensi penangkapan limpasan, serta memudahkan pengoperasian struktur.

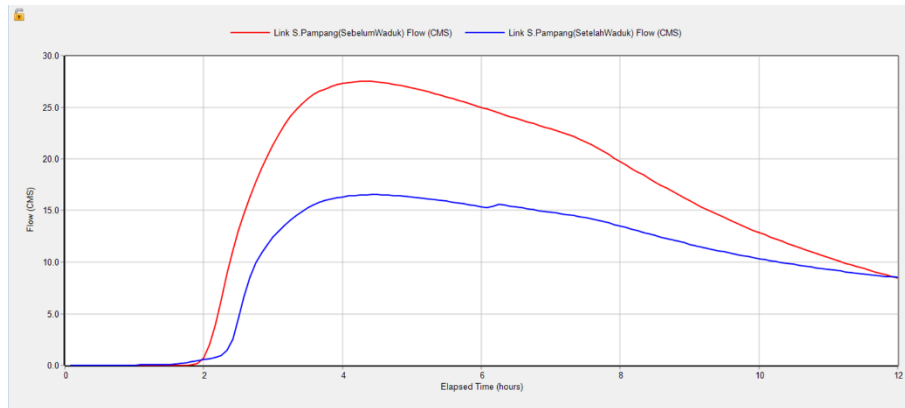
Secara keseluruhan, gambar rencana ini memperlihatkan keterpaduan antara desain kolam dengan sistem drainase alami, sehingga kolam dapat berfungsi sebagai elemen pengendali banjir yang efektif pada kawasan studi.

#### 4.4 Perbandingan Kinerja Sistem Drainase Sebelum dan Sesudah Penerapan Waduk

Setelah hasil simulasi skenario dengan waduk mini diharapkan menunjukkan penurunan nilai debit puncak di ruas hilir, berkurangnya jumlah node yang mengalami *flooding*, serta pergeseran waktu puncak hidrograf yang lebih terlambat dibanding skenario eksisting. Untuk nilai Debit Puncak ( $Q_p$ ) yang di peroleh pada Tabel 31 berikut:

Tabel 31. Debit Puncak Sebelum dan Setelah Ada Waduk Mini

Zona	Saluran Sekunder	Sebelum			Setelah		
		Debit Puncak	Waktu	Kecepatan	Debit Puncak	Waktu	Kecepatan
		m <sup>3</sup> /dtk	jam	m/dtk	m <sup>3</sup> /dtk	jam	m/dtk
6A	Kanal Sungai Pampang	27.54	4:20:00	1.37	16.54	4:25:00	1.87
6A	Jl. Pampang 2	1.99	7:00:00	1.73	1.56	4:55:00	1.44
6C	Jl Abd Dg Sirua	0.7	1:40:00	0.67	0.61	3:15:00	0.58
6D	Jl. Boulevard	1.19	2:50:00	1.27	0.91	5:50:00	1.21
6O	Jl. Racing Centre	1.07	2:00:00	1.09	0.84	4:00:00	0.99
7B	Jl. Dirgantara	0.54	2:00:00	1.65	0.34	5:45:00	1.45
7D	Jl. Cambajawayya	0.31	7:35:00	2.62	0.17	9:05:00	1.73



Gambar 23. Hidrograf Sebelum dan Setelah Ada Waduk Mini S. Pampang

Gambar tersebut memperlihatkan perbandingan hidrograf debit pada Saluran Sungai Pampang antara kondisi sebelum dan sesudah penerapan waduk mini. Pada kondisi sebelum adanya waduk (garis merah), debit puncak mencapai sekitar 27-28 m<sup>3</sup>/det dengan waktu puncak terjadi pada sekitar jam ke-4. Hidrograf menunjukkan kenaikan debit yang sangat cepat setelah hujan mulai masuk ke sistem, menandakan bahwa limpasan permukaan terjadi hampir seketika akibat tingginya proporsi permukaan keadap di daerah tangkapan. Aliran yang tiba secara simultan ke saluran menyebabkan beban hidraulik meningkat dan berpotensi melampaui kapasitas penampang saluran eksisting.

Sebaliknya, pada kondisi sesudah penambahan waduk mini, debit puncak menurun signifikan menjadi sekitar 16-17 m<sup>3</sup>/det, atau setara dengan reduksi limpasan ±40%. Selain itu, waktu puncak bergeser menjadi lebih lambat, yaitu terjadi pada sekitar jam ke-4. Perubahan bentuk hidrograf ini menunjukkan bahwa waduk mini bekerja sebagai tampungan sementara, yang menahan sebagian volume limpasan pada saat intensitas hujan tinggi, kemudian melepaskannya secara bertahap ke dalam jaringan drainase. Akibatnya, aliran yang masuk ke saluran hilir menjadi lebih stabil, tidak menimbulkan lonjakan debit ekstrem, dan mengurangi kemungkinan terjadinya luapan pada titik rawan.

Secara keseluruhan, pola hidrograf setelah penerapan waduk mini tampak lebih landai, stabil, dan memanjang, menggambarkan peningkatan kinerja sistem drainase dalam meredam beban limpasan puncak. Hasil ini memperkuat bahwa penerapan waduk mini di wilayah Panakkukang efektif dalam mengurangi risiko genangan melalui pengendalian debit puncak dan penundaan waktu konsentrasi limpasan.

Perubahan bentuk hidrograf tersebut menunjukkan bahwa waduk mini mampu meningkatkan kinerja sistem drainase melalui beberapa mekanisme utama, yaitu:

1. penurunan debit puncak, sehingga kapasitas saluran hilir tidak terlampaui;
2. penundaan waktu puncak, yang memberikan ruang bagi saluran untuk mengalirkan debit secara lebih stabil; dan

Rekapitulasi lokasi-lokasi potensial pembangunan waduk mini pada berbagai sub zona di Kecamatan Panakkukang. Setiap lokasi dievaluasi berdasarkan kapasitas tampungan yang tersedia, efektivitas reduksi limpasan permukaan, kesesuaian dengan rencana pola ruang, serta status kepemilikan lahannya (Tabel 32). Kapasitas tampungan yang ditampilkan merupakan estimasi luas area efektif (Ha) yang dapat difungsikan sebagai kolam. Nilai reduksi limpasan menunjukkan persentase penurunan debit puncak yang dapat dicapai apabila kolam diterapkan di lokasi tersebut, di mana semakin tinggi nilai reduksi menandakan semakin besar kontribusi kolam terhadap pengendalian banjir.

Tabel 32. Matriks Potensi Pembangunan Kolam/Waduk Mini

Sub Zona	Lokasi	Kapasitas Tampungan (m <sup>3</sup> )	Reduksi Limpasan (%)	Jenis Kolam	Rencana Pola Ruang	Kepemilikan Lahan
6A	Kanal Sungai Pampang	547300	39,9	Retensi	Kawasan Pertahanan dan Keamanan	HAT Kosong
6A	Jl. Pampang 2	6310	21,6	Retensi	Kawasan Perumahan	HAT Kosong
6C	Jl. Abd.Dg. Sirua	10393	54,9	Retensi	Kawasan Perumahan	HAT Kosong
6D	Jl. Boulevard	25946	23,5	Retensi	Kawasan Perdagangan dan Jasa	Hak Guna Bangunan
6O	Jl. Racing Centre	12420	21,5	Retensi	Kawasan Perumahan	Hak Pakai
7B	Jl. Dirgantara	7275	37,0	Detensi	Kawasan Pertahanan dan Keamanan	Hak Pakai
7D	Jl. Cambajawayya	6270	45,2	Retensi	Kawasan Perumahan	Hak Milik

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **5.1 Kesimpulan**

Dari hasil analisis data dan pemodelan hidrologi dan hidrolika pada penelitian ini, didapatkan kesimpulan:

1. Hasil analisis hidrologi menunjukkan bahwa intensitas hujan rencana pada periode ulang 5–50 tahun, nilai hujan efektif yang melebihi 100–138 mm/hari menunjukkan potensi limpasan yang sangat besar dalam satu kejadian hujan, sehingga membebani kapasitas saluran drainase eksisting. Nilai koefisien limpasan yang diperoleh dari analisis tutupan lahan berada pada kisaran  $C = 0,6$  yang mengindikasikan dominasi permukaan kedap air dan rendahnya kemampuan infiltrasi kawasan perkotaan. Tingginya nilai limpasan dan besarnya koefisien limpasan tersebut menyebabkan debit puncak meningkat secara signifikan dan memberikan tekanan pada sistem drainase eksisting,
2. Zona prioritas yang menghasilkan limpasan tinggi dan memiliki keterbatasan kapasitas saluran diidentifikasi pada Zona 6A, 6C, 6D, 6O, 7B, dan 7D.
3. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa penerapan waduk mini merupakan strategi pengendalian banjir yang efektif, adaptif, dan sesuai untuk wilayah perkotaan padat dengan keterbatasan ruang. Waduk mini dapat menurunkan debit puncak hingga 20–55%, memperlambat waktu puncak, dan meningkatkan stabilitas aliran, sehingga dapat menjadi solusi berbasis infrastruktur hijau untuk mendukung pengelolaan banjir di Kota Makassar.

#### **5.2 Saran**

Berdasarkan hasil penelitian dan evaluasi efektivitas waduk mini, beberapa rekomendasi yang dapat diberikan adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan pengembangan waduk mini pada zona prioritas yang memiliki limpasan tinggi dan keterbatasan kapasitas saluran.
2. Pemerintah Kota Makassar perlu mengintegrasikan waduk mini ke dalam Master Plan Drainase sebagai bagian dari sistem drainase berkelanjutan.

Waduk mini dapat berfungsi sebagai infrastruktur penunjang sistem drainase primer dan sekunder, serta mendukung perencanaan ruang terbuka hijau dan resapan air.

3. Diperlukan kajian desain teknis lebih lanjut untuk menentukan kapasitas tampungan optimal, konfigurasi inlet-outlet, serta elevasi penempatan waduk mini.
4. Kajian lanjutan harus memperhatikan:
  - a. potensi tampungan optimal,
  - b. desain bangunan pelimpah,
  - c. kebutuhan perawatan jangka panjang,
  - d. potensi integrasi dengan sistem bioretensi atau LID lainnya.
  - e. Urban desain dan aspek sosial
5. Peningkatan pemeliharaan saluran eksisting sangat penting untuk mendukung efektivitas waduk mini. Upaya seperti pengerukan sedimentasi, pembersihan sampah, perbaikan geometri saluran, dan peningkatan kapasitas lokal perlu dilakukan agar waduk mini dapat berfungsi optimal.
6. Penelitian lanjutan disarankan untuk mensimulasikan beberapa kala ulang hujan serta skenario pengembangan kota. Hal ini penting untuk memastikan waduk mini tetap efektif dalam kondisi ekstrem, seperti hujan dengan periode ulang 10, 25, atau 50 tahun.
7. Model SWMM yang telah disusun perlu dikembangkan sebagai alat bantu perencanaan (*decision support system*). Model ini dapat digunakan oleh Pemerintah Kota Makassar untuk:
  - a. memprediksi potensi genangan di masa depan,
  - b. mengevaluasi penambahan infrastruktur drainase baru,
  - c. menilai dampak perubahan tata guna lahan terhadap sistem drainase.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abduljaleel, Y., Salem, A., ul Haq, F., Awad, A., & Amiri, M. (2023). Improving detention ponds for effective stormwater management and water quality enhancement under future climate change: a simulation study using the PCSWMM model. *Scientific Reports*, 13(1), 1–18. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-32556-x>
- David, M., Fauzi, M., & Sandhyavitri, A. (2016). Analisis Laju Infiltrasi pada Tutupan Lahan Perkebunan dan Hutan Tanaman Industri (HTI) di Daerah Aliran Sungai (Das) Siak. *Jom FTEKNIK*, 3(2), 1–12.
- detik.com. Banjir di Panakkukang Makassar Dipicu Air Kanal Meluap, Warga Ogah Mengungsi. 10 Desember 2024 [Diakses 11 April 2025], diakses dari <https://www.detik.com/sulsel/makassar/>
- Goorden, M. A., Larsen, K. G., Nielsen, J. E., Nielsen, T. D., Qian, W., Rasmussen, M. R., ... & Zhao, G. (2024). Optimal control strategies for stormwater detention ponds. *Nonlinear Analysis: Hybrid Systems*, 53, 101504.
- Guo, J. C., Wang, W. L., & Li, J. Q. (2020). Cascading flow system for urban drainage design. *Journal of Hydrologic Engineering*, 25(7), 04020030.
- Hosseinzadeh, A., Behzadian, K., Rossi, P., Karami, M., Ardeshir, A., & Torabi Haghighi, A. (2023). A new multi-criteria framework to identify optimal detention ponds in urban drainage systems. *Journal of Flood Risk Management*, 16(2), 1–19. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12890>
- Karama, R., Lopa, R. T., & Hatta, M. P. (2021). *The revitalization of Makassar urban drainage system based on eco drainage retention pond*. INTEK: Jurnal Penelitian, 8(1), 47-53
- Kang, D.-H. “D. K. ., Kim, J.-G. “J. G. ., Verma, V., Leon, A. S., & Kang, B. (2019). Evaluation of Urban Inundation under Changing Landcover— Application of EPA SWMM-LID to Andong City in South Korea. *World Environmental and Water Resources Congress 2019*, 1(i), 83–88. <https://doi.org/10.1061/9780784482353.008>
- Khoiri, A. H., Andawayanti, U., & Haribowo, R. (2022). Kajian Efektivitas Kolam Retensi Dalam Mereduksi Banjir Jalan Raya Porong Kabupaten Sidoarjo dengan Storm Water Management Model. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 2(2), 142-155.
- Koutsoyiannis, D. (2020). Revisiting the global hydrological cycle: is it intensifying?. *Hydrology and Earth System Sciences*, 24(8), 3899-3932.
- Kodoatie, R. ., & Sugiyanto. (2002). *Banjir: Beberapa Penyebab dan Metode Pengendaliannya dalam Perspektif Lingkungan*. Pustaka Pelajar.
- Limantara, L. M. (2010). *Hidrologi Praktis.pdf*. Lubuk Agung.

- Luthfina, M. A. W., Sudarsono, B., & Suprayogi, A. (2019). Analisis Kesesuaian Penggunaan Lahan Terhadap Rencana Tata Ruang Wilayah Tahun 2010-2030 Menggunakan Sistem Informasi Geografis Di Kecamatan Pati. *Jurnal Geodesi Undip*, 8(1), 74–82.
- Muharomah, R., & Putranto, D. D. A. (2014). Analisis run-off sebagai dampak perubahan lahan sekitar pembangunan underpass simpang patal Palembang dengan memanfaatkan teknik GIS. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(3), 424-433.
- Nanda, A. R. (2022). *Substitusi Konstanta Horton Untuk Analisis Kapasitas Infiltrasi*. Nas Media Pustaka.
- Naser, M. A., Manaf, M., Budiharto, M., & Tri. (2021). Pengendalian Pemanfaatan Ruang Kawasan Terdampak Banjir Di Perkotaan Sinjai. *Journal of Urban Planning Studies*, 1(2), 147–164. <https://doi.org/10.35965/jups.v1i2.49>
- Ravazzani, G., Boscarello, L., Cislighi, A., & Mancini, M. (2019). Review of time-of-concentration equations and a new proposal in Italy. *Journal of Hydrologic Engineering*, 24(10), 04019039
- Saidah, H., Nur, N. K., Rangan, P. R., Mukrim, M. I., Tamrin, T., Tumpu, M., ... & Sindagamanik, F. D. (2021). Drainase Perkotaan. *Yayasan Kita Menulis*.
- Sahoo, S. N., & Pekkat, S. (2018). Detention Ponds for Managing Flood Risk due to Increased Imperviousness: Case Study in an Urbanizing Catchment of India. *Natural Hazards Review*, 19(1). [https://doi.org/10.1061/\(asce\)nh.1527-6996.0000271](https://doi.org/10.1061/(asce)nh.1527-6996.0000271)
- Satriani, S., Lopa, R., & Maricar, F. (2021). Storage capacity analysis of Nipa Nipa regulation pond using Ripple method. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1098(2), 022054. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1098/2/022054>
- Scionti, F., Miguez, M. G., Barbaro, G., De Sousa, M. M., Foti, G., & Canale, C. (2018). Integrated Methodology for Urban Flood Risk Mitigation in Cittanova, Italy. *Journal of Water Resources Planning and Management*, 144(10). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)WR.1943-5452.0000985](https://doi.org/10.1061/(ASCE)WR.1943-5452.0000985)
- Sikder, M. S., Ahmad, S., Hossain, F., Gebregiorgis, A. S., & Lee, H. (2019). Case Study: Rapid Urban Inundation Forecasting Technique Based on Quantitative Precipitation Forecast for Houston and Harris County Flood Control District. *Journal of Hydrologic Engineering*, 24(8). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HE.1943-5584.0001807](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HE.1943-5584.0001807)
- Sharifi, S., & Hosseini, S. M. (2011). Methodology for identifying the best equations for estimating the time of concentration of watersheds in a particular region. *Journal of irrigation and drainage engineering*, 137(11), 712-719.
- Suripin (2004). *Drainase Perkotaan Yang Berkelanjutan*. Yogyakarta: Andi Offset.

Triatmodjo, B. (2008). *Hidrologi Terapan*. Beta Offset

Wesli, W. (2008). *Drainase Perkotaan*. Graha Ilmu.

Yusra, I. (2016). *Tingkat Kepuasan Masyarakat Terhadap Konstruksi Bangunan Pengendali Banjir Di Kawasan Sungai Batang Nareh*.  
[http://scholar.unand.ac.id/4736/%0Ahttp://scholar.unand.ac.id/4736/5/Skripsi  
Fix Ikhwannul Yusra %281110922090%29.pdf](http://scholar.unand.ac.id/4736/%0Ahttp://scholar.unand.ac.id/4736/5/Skripsi%20Fix%20Ikhwannul%20Yusra%20%281110922090%29.pdf)

## LAMPIRAN

