

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Urbanisasi merupakan salah satu aktivitas manusia yang paling berdampak di Bumi (Fang et al., 2021). Urbanisasi global terjadi dalam skala besar (Liu et al., 2019). Fenomena urbanisasi selalu diiringi dengan pembangunan fasilitas infrastruktur fisik yang masih mengadopsi praktik “infrastruktur abu-abu” seperti pengaspalan dan pembetonan yang masih banyak diterapkan di wilayah perkotaan di seluruh dunia (Dhakal & Chevalier, 2017).

Urbanisasi juga berkontribusi terhadap terjadinya fenomena perubahan iklim, terutama akibat pembukaan lahan hutan untuk dikonversi menjadi lahan terbangun (Dessu et al., 2020). Dalam konteks perubahan iklim, frekuensi dan intensitas kejadian curah hujan ekstrem menunjukkan tren yang meningkat, yang memperparah potensi terjadinya genangan di perkotaan (Hosseinzadehtalaei et al., 2020), dapat menyebabkan kejadian banjir dan kekeringan menjadi semakin sering dan parah (Butler et al., 2017; Sweya et al., 2018).

Intensitas dan frekuensi kejadian curah hujan ekstrem cenderung meningkat dalam konteks perubahan iklim, yang meningkatkan risiko genangan air di perkotaan (Hosseinzadehtalaei et al., 2020). Banjir terjadi ketika drainase gagal berfungsi sebagai jalur untuk mengalirkan kelebihan air. Penggunaan lahan yang tidak diatur semakin memperparah masalah drainase perkotaan. Selain sedimentasi, kondisi saluran yang rusak juga menjadi salah satu penyebab banjir (Luciana & Edijatno, 2013).

Sistem drainase adalah infrastruktur yang mengalirkan air hujan dan limbah dari permukaan tanah ke tempat pembuangan akhir, seperti sungai (Adugna et al., 2019). Sistem drainase sangat penting untuk mengendalikan banjir dan menjaga kualitas air dan ekologi perkotaan. Sistem drainase ini mencakup saluran air, pipa, kolam, pompa, dan struktur pengendali banjir (Teshome Sewnet & Revathi Devi, 2020).

Paradigma sistem drainase baru menempatkan sistem drainase di perkotaan sebagai infrastruktur kota yang didasarkan pada gagasan drainase yang ramah lingkungan atau drainase yang berkelanjutan (Vieira et al., 2014).

Pengembangan konsep drainase berwawasan lingkungan ini diperkuat dengan kebijakan prinsip Zero Delta Q, yang mengharuskan setiap bangunan tidak menyebabkan peningkatan debit air ke dalam sistem drainase atau sistem aliran sungai (Government regulation, 2008).

Saat ini, konsep drainase berwawasan lingkungan sedang dikembangkan. Sistem drainase berkelanjutan adalah bentuk pengelolaan drainase yang dimulai dengan memanfaatkan air hujan, menyimpan limpasan, membiarkan air meresap, mengendapkan sedimen, dan menyerap polutan untuk kemudian dibuang secara perlahan ke badan air (Lopa, 2013).

Tujuan utama drainase perkotaan adalah untuk mengurangi risiko banjir, menjaga kualitas air, dan menjaga keseimbangan ekologi di daerah perkotaan (La Loggia et al., 2020). Oleh karena itu, menahan curah hujan menjadi penting untuk meningkatkan volume air yang meresap ke dalam tanah melalui daerah resapan alami dan buatan (Sedyowati & Suhartanto, 2015). Curah hujan dapat digunakan sebagai pasokan air alternatif dengan mendorong pengumpulan dan penggunaan kembali curah hujan untuk keperluan yang tidak dapat diminum seperti irigasi (Rahman, 2021).

Kota Makassar merupakan salah satu kota di Indonesia yang sering mengalami masalah banjir. Tingginya intensitas curah hujan yang tercatat sebesar 3.722 mm/tahun, kondisi geografis yang dialiri sungai yaitu Sungai Tallo dan Sungai Jeneberang, topografi wilayah yang berkisar antara 0-25 mdpl dan daerah resapan air dalam hal ini Ruang Terbuka Hijau (RTH) yang hanya mencapai 2.422 Ha atau sekitar 13 persen dari luas wilayah Kota Makassar, menyebabkan wilayah ini semakin rentan terhadap bencana banjir (BPS Makassar, 2022).

Banjir dan genangan air masih menjadi momok bagi seluruh warga Makassar. Pengalaman buruk terjadi pada awal tahun 2019, ketika banjir terparah terjadi dalam satu dekade terakhir. Banjir di Kota Makassar selain dipengaruhi oleh intensitas curah hujan yang relatif tinggi, kondisi topografi yang berupa cekungan, debit aliran yang meningkat, dan perubahan pola tata guna lahan serta pasang surut air laut, juga dipengaruhi oleh sistem drainase yang kurang memadai. Meskipun pemerintah kota telah merencanakan dan membangun infrastruktur, banjir masih menjadi masalah yang cukup parah (Karamma et al., 2021).

Pada awal tahun 2020, Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Sulawesi Selatan memetakan daerah-daerah yang dianggap berisiko mengalami bencana pada musim cuaca ekstrem. Terdapat 24 kabupaten atau kota yang dikategorikan sebagai zona merah, termasuk Makassar. Daerah atau titik rawan genangan di Makassar yang dipetakan, antara lain daerah Nipa-Nipa, Perumahan Antang Blok 10, Paccerrakkang, Tamalanrea, dan Panakukang (Disaster study center UNHAS, 2023).

Kelurahan Katimbang merupakan salah satu kelurahan yang berada di Kecamatan Biringkanaya. Wilayah ini baru terbentuk pada tahun 2015 sebagai hasil pemekaran dari Kelurahan Paccerrakkang. Penggunaan lahan terbesar di Kelurahan Katimbang adalah permukiman dengan luasan bangunan terbangun dan tidak terbangun, menandakan bahwa wilayah ini merupakan wilayah yang belum optimal dalam menyerap air ke dalam tanah saat hujan, atau dalam hal ini masih kurangnya daerah resapan air, sehingga terjadi genangan. Tingkat bahaya banjir di Desa Katimbang terbagi menjadi dua tingkat yaitu sedang dan tinggi (Algafari & Surur, 2021).

Desa Katimbang merupakan salah satu wilayah yang terdampak banjir cukup parah pada awal tahun 2019. Setiap musim hujan, tercatat Kelurahan Katimbang terus mengalami permasalahan banjir dan genangan dengan intensitas curah hujan yang tinggi dan intensitas curah hujan yang rendah dengan ketinggian air kurang lebih 1,5 meter (BPBD Makassar, 2019). Akibat dari banjir yang cukup tinggi, mobil-mobil yang melintas mengalami mati mesin karena drainase di sisi lain meluap ke jalan.

Sistem drainase di Desa Katimbang masih dilakukan dengan konsep konvensional dimana ketika melebihi kapasitasnya, air akan meluap menjadi genangan. Dampak langsung dari genangan terhadap bangunan adalah hilangnya fungsi bangunan dan kerusakan fisik, yang keduanya dapat diperhitungkan ke dalam kerugian finansial (ekonomi) karena selain biaya yang harus disediakan untuk perbaikan, juga hilangnya kesempatan untuk melakukan aktivitas lain (Ali, 2010).

Terjadinya serangkaian banjir dan genangan dalam waktu yang relatif singkat dan berulang setiap tahunnya, bahkan terjadi lebih dari satu kali dalam setahun, membutuhkan upaya dan inovasi yang lebih besar untuk mengantisipasinya agar kerugian dapat diminimalisir (Isik et al., 2013).

Sistem drainase vertikal menjadi penting karena merupakan bagian dari upaya untuk meningkatkan efektivitas dan efisiensi sistem drainase dalam menangani masalah banjir di perkotaan (Kanso et al., 2018).

Penerapan teknologi drainase vertikal merupakan salah satu solusi untuk mengurangi genangan dan meningkatkan kualitas lingkungan di Desa Katimbang dan daerah perkotaan lainnya (Stefanakis, 2019).

Dengan adanya permasalahan yang telah diuraikan di atas, kondisi lingkungan yang ada, dan kerugian yang ditimbulkan, maka sangat penting untuk mencari alternatif dan bagaimana efektivitas dari alternatif tersebut untuk mengatasi genangan. Maka dengan ini diangkat judul “Efektivitas Sistem Drainase Horizontal dan Drainase Vertikal Terhadap Genangan Pada Area Permukiman (Studi Kasus Kelurahan Katimbang Kota Makassar)”

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan di atas, maka dirumuskan masalah yaitu :

1. Bagaimana kinerja sistem drainase horizontal di Kelurahan Katimbang Kota Makassar saat ini?
2. Bagaimana efektivitas sistem drainase vertikal terhadap genangan pada Kelurahan Katimbang Kota Makassar?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah :

1. Mengidentifikasi dan mengevaluasi kinerja sistem drainase di Kelurahan Katimbang Kota Makassar saat ini
2. Menganalisis efektivitas sistem drainase vertikal terhadap genangan pada Kelurahan Katimbang Kota Makassar.

1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan tujuan penelitian di atas, maka manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Bagi ilmu pengetahuan, sebagai ilmu yang telah dikembangkan dari teori-teori yang telah ada, sehingga ada hasil dari penelitian inidapat berkontribusi bagi khazanah ilmu pengetahuan
2. Bagi pemerintah, memberi masukan dalam menentukan penanganan genangan di Kelurahan Katimbang Kota Makassar
3. Bagi Mahasiswa, memberikan pengetahuan baru mengenai penanganan genangan dengan pendekatan drainase vertikal dan drainase horizontal
4. Bagi Peneliti, memberikan wawasan serta pengetahuan yang lebih mendalam dibidang Teknik Sipil khususnya terkait masalah genangan dan penanganan dengan drainase berwawasan lingkungan.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada :

1. Daerah penelitian dikhususkan pada Kelurahan Katimbang Kota Makassar
2. Aspek teknis yang dianalisis
 - a. Pengukuran: Lebar saluran, kedalaman saluran, dan penampang saluran
 - b. Tidak menghitung sedimen dalam saluran
 - c. Perhitungan debit banjir menggunakan PUH 5 tahun untuk saluran sekunder dan PUH 2 tahun untuk saluran tersier
3. Aspek lingkungan, alternatif penanganan genangan dengan pendekatan sistem drainase horizontal dan drainase vertikal yang sesuai dengan karakteristik wilayah Kelurahan Katimbang Kota Makassar. Pemilihan alternatif yang akan dikaji adalah sumur resapan dan pemanen air hujan .

1.6 Banjir dan Genangan

Merujuk pada Kamus Besar Bahasa Indonesia, banjir artinya berair banyak dan deras, kadang-kadang disebabkan luapan kali. Banjir juga berarti peristiwa tenggelamnya daratan (yang biasanya kering) karena volume air yang meningkat. Sedangkan, genangan berasal dari kata genang yang artinya terhenti mengalir. Banjir dan genangan merupakan sebuah keadaan alam yang hampir sama yaitu fenomena kelebihan jumlah air pada suatu daerah. Pada deskripsi yang lebih terurai, genangan merupakan keadaan dimana terjadinya penumpukan volume air di suatu tempat karena luapan dari tempat lain atau aliran yang pembuangannya kurang baik, sedangkan banjir merupakan peristiwa kenaikan muka air yang melebihi batas normal.

Perbedaan yang secara jelas menunjukkan ciri masing-masing dari banjir dan genangan adalah pada debit alirannya. Genangan memiliki kecepatan aliran yang sangat kecil, sehingga secara kasat mata, hampir terlihat seakan tidak mengalir, selain kecepatan aliran, genangan juga memiliki kecepatan menguap, dan meresap kedalam tanah, sedangkan banjir memiliki kecepatan aliran yang lebih besar dari genangan, yang secara kasat mata dapat kita lihat dengan jelas, sehingga memungkinkan banjir untuk mengalir dari tempat yang tinggi ke tempat yang lebih rendah dalam satuan waktu tertentu, dengan kata lain banjir memiliki debit aliran yang bisa dihitung.

Tabel 1. Perbedaan banjir dan genangan

No	Uraian	Banjir	Genangan
1	Klasifikasi	Memiliki klasifikasi berdasarkan penyebabnya seperti banjir rob, bandang dll	Tidak memiliki klasifikasi
2	Skala waktu	Durasi > 24 jam	Durasi < 24 jam
3	Skala Ruang	Ketinggian > 40 cm dengan radius > 100 m	Ketinggian < 40 cm dengan radius 100 m
5	Penyebab	Faktor alam dan manusia dengan kombinasi kompleks	Faktor kebiasaan manusia atau saluran drainase yang tidak optimal
6	Dampak	Menyebabkan kerusakan hingga jatuhnya korban jiwa	Tidak memiliki dampak yang signifikan

Sumber: (Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional, 2021)

1.7 Penyebab Banjir dan Genangan

Berdasarkan (Ditjen PPLP, 2011) proses terjadinya genangan dan banjir disebabkan oleh faktor kondisi alam dan ulah manusia.

1. Faktor Kondisi Alam

a. Geografi

Apabila kota dibangun di daerah pegunungan akan menyebabkan lahan resapan air tertutup oleh bangunan dan infrastruktur kota menjadikan debit banjir meningkat yang mengancam kota di bagian hilir

b. Jenis Tanah

Tipe dan distribusi tanah dalam suatu daerah aliran sungai dapat mempengaruhi control aliran bawah permukaan melalui infiltrasi. Jenis tanah yang memiliki tekstur berpasir akan memiliki daya infiltrasi yang lebih tinggi daripada jenis tanah berlempung (Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan RI, 2013).

c. Topografi

Pada kondisi topografi yang bergelombang, kota yang berada pada bagian yang rendah akan rawan terkena banjir dan genangan

d. Geometri Alur Sungai

Kemiringan dasar sungai yang terlalu besar akan menimbulkan gerusan dasar sungai yang menyebabkan konsentrasi sedimentasi pada bagian hilir yang datar, menyebabkan saluran atau sungai cepat menjadi dangkal. geometrik hidrolis seperti bentuk penampang sungai (lebar sungai, kedalaman sungai, material dasar sungai)

e. Curah Hujan

Curah hujan dengan intensitas tinggi merupakan salah satu faktor penyebab terjadinya banjir dan genangan

f. Tinggi Pasang Surut Laut

Air pasang dapat memperlambat laju aliran sungai yang menuju ke laut. Saat terjadi banjir yang bersamaan dengan air pasang maka tinggi genangan akan menjadi lebih tinggi sebab terjadinya aliran balik (back water).

2. Faktor Ulah Manusia

- a. Penyimpangan Rencana Umum Tata Ruang pada bantaran banjir dan Daerah Aliran Sungai yang tidak sesuai dengan peruntukan
- b. Permukiman di bantaran sungai dan di atas saluran drainase
- c. Pengambilan air tanah yang berlebihan, menyebabkan terjadinya penurunan lahan.
- d. Pembuangan sampah oleh masyarakat ke dalam saluran drainase. - Pemeliharaan rutin yang terabaikan menyebabkan saluran cepat menjadi dangkal.

1.8 Sistem Drainase

Sistem drainase secara umum dapat didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan atau membuang kelebihan air (banjir) dari suatu kawasan atau lahan.

Drainase adalah kemampuan tanah mengalirkan dan mengaruskan kelebihan air yang berada dalam tanah maupun permukaan tanah. Drainase secara umum dapat didefinisikan sebagai suatu tindakan teknis untuk mengurangi kelebihan air, baik yang berasal dari air hujan, rembesan, maupun kelebihan air irigasi dari suatu kawasan/lahan, sehingga fungsi kawasan atau lahan tidak terganggu. Drainase dapat juga diartikan sebagai usaha mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan salinitas. Jadi, drainase tidak hanya menyangkut air permukaan tapi juga air tanah (Fairizi, 2015; Suripin, 2004).

Drainase menurut (Masduki, 1998) adalah tindakan teknis untuk mengendalikan kelebihan air hujan, agar dapat tersalurkan menuju ke badan air penerima dengan aman, sehingga dapat dikendalikan kemungkinan adanya kejadian banjir, genangan air, erosi lapisan tanah, dan kerusakan dan gangguan fisik, kimiawi dan biologi terhadap lingkungan.

Banjir dapat berupa genangan lahan yang biasanya kering seperti pada lahan pertanian, permukiman, pusat kota. Banjir dapat juga terjadi karena debit/volume air yang mengalir pada suatu sungai atau saluran drainase melebihi atau diatas kapasitas pengalirannya. Luapan air biasanya tidak menjadi persoalan bila tidak menimbulkan kerugian, korban meninggal, atau luka-luka, tidak merendam pemukiman dalam waktu lama, tidak menimbulkan persoalan lain bagi kehidupan sehari-hari. Bila genangan air terjadi cukup tinggi, dalam waktu lama, dan sering maka hal tersebut akan mengganggu kegiatan manusia.

1.9 Drainase Perkotaan

Drainase perkotaan adalah sistem drainase dalam wilayah administrasi kota dan daerah perkotaan (urban) yang berfungsi untuk mengendalikan atau meringankan kelebihan air permukaan di daerah permukiman yang berasal dari hujan lokal, sehingga tidak mengganggu masyarakat dan dapat memberikan manfaat bagi kehidupan manusia.

Dalam suatu perkotaan drainase berfungsi sebagai pengendali dan mengalirkan limpasan air hujan yang berlebihan dengan aman, dan juga untuk menyalurkan kelebihan air lainnya yang mempunyai dampak mengganggu atau mencemari lingkungan perkotaan. Drainase juga dapat diartikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan salinitas, dimana drainase merupakan suatu cara pembuangan kelebihan air yang tidak diinginkan pada suatu daerah, serta cara-cara penanggulangan akibat yang ditimbulkan oleh kelebihan air tersebut.

Sedangkan drainase permukiman mencakup tentang pengelolaan pengaliran air limpasan (*Run Off*) yang berasal dari hujan yang jatuh pada daerah perkotaan kedalam sistem pembuangan/drainase alamiah seperti sungai, danau, dan laut. Fasilitas waduk retensi/penampung dan pompa drainase adalah bagian dari sistem drainase.

Sistem drainase perkotaan berfungsi untuk mengeringkan daerah becek dan genangan air yang menyebabkan terjadinya banjir. Selain itu sistem drainase perkotaan juga berfungsi mencegah terjadinya erosi tanah, kerusakan jalan, dan lain-lain. Oleh karena itu, sistem drainase perkotaan sangat dibutuhkan masyarakat kota dalam rangka menuju kehidupan kota yang aman, nyaman, bersih, dan sehat. Konsep sistem drainase umumnya terbagi atas 2 (dua) yaitu:

1. Drainase Konvensional

Konsep drainase konvensional berprinsip membuang kelebihan air hujan secepat-cepatnya lalu dialirkan ke badan air. Dampak negatif yang ditimbulkan dari konsep ini adalah tidak membiarkan air meresap ke dalam tanah. Turunnya muka air tanah disebabkan oleh infiltrasi yang rendah. Konsep drainase konvensional sampai saat ini masih banyak digunakan.

2. Drainase Berwawasan Lingkungan

Drainase berwawasan lingkungan adalah pengelolaan drainase yang tidak menimbulkan dampak yang merugikan bagi lingkungan. Menurut (Suripin, 2004) berdasarkan fungsinya terdapat 2 (dua) pola yang dipakai untuk menahan air hujan, yaitu:

- a. Pola detensi (menampung air sementara), yaitu menampung dan menahan air limpasan permukaan sementara untuk kemudian mengalirkannya ke badan air misalnya dengan membuat kolam penampungan sementara untuk menjaga keseimbangan tata air.
- b. Pola retensi (meresapkan), yaitu menampung dan menahan air limpaan permukaan sementara dengan memberikan kesempatan air tersebut untuk dapat meresap ke dalam tanah secara alami antara dengan membuat bidang resapan untuk menunjang kegiatan konservasi air.

Eko-drainase atau drainase berwawasan lingkungan menjadi konsep utama dan merupakan implementasi pemahaman baru konsep ekohidraulik dalam bidang drainase. Konsep ini sifatnya mutlak di daerah beriklim tropis dengan perbedaan musim hujan dan kemarau yang ekstrim seperti di Indonesia.

1.10 Drainase Vertikal

Drainase Vertikal adalah sistem drainase yang bertujuan untuk mengarahkan air ke dalam tanah, misalnya, melalui perkerasan permeabel, taman hujan, soakaway, dan parit resapan, atau untuk mengumpulkan air hujan untuk digunakan kembali, seperti sistem pemanenan air hujan (DSDA, 2021).

Drainase vertikal memiliki beberapa manfaat yaitu:

1. Upaya konservasi untuk mempertahankan atau menambah kapasitas air tanah
2. Menambah kapasitas penampungan air hujan
3. Mengurangi Limpasan aliran permukaan.

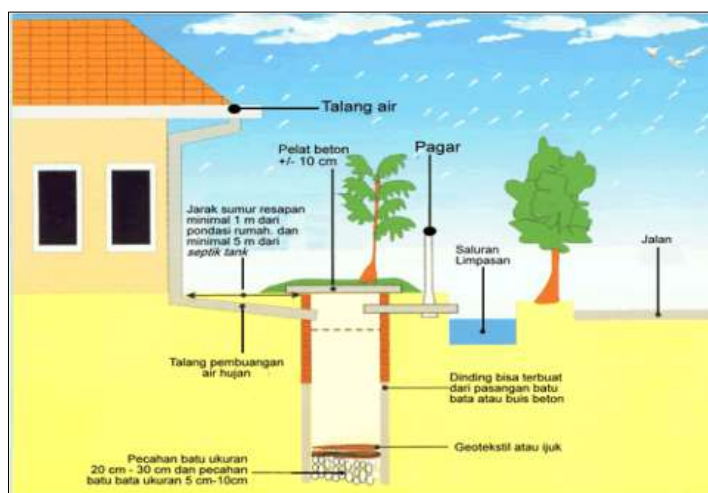
Contoh drainase vertikal sebagai sarana pengelolaan air hujan adalah sumur resapan, kolam/resapan, biopori, vertikal gardan, kolam detensi, tandon air hujan/ *rain harvesting*, dan sebagainya. Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2014 tentang Pengelolaan Air Hujan pada Bangunan Gedung dan Persilnya, Sarana Retensi adalah bagian dari sarana pengelolaan air hujan yang berfungsi sebagai penampung air hujan untuk kemudian diresapkan ke dalam tanah. Sarana Detensi adalah bagian dari sarana pengelolaan air hujan yang berfungsi sebagai penampung air hujan untuk kemudian didistribusikan sesuai dengan tujuan pemanfaatannya.

Drainase vertikal secara umum dapat dibangun di persil bangunan (gedung, rumah, area publik, dan sebagainya) dan di area-area genangan lokal (bukan limpasan dari lokasi lain)

1.11 Sumur Resapan

Sumur resapan merupakan salah satu solusi murah dan cepat untuk masalah banjir. Metode ini merupakan metode praktis dengan cara membuat sumur-sumur untuk mengalirkan air hujan yang jatuh pada atap perumahan atau kawasan tertentu sehingga air hujan dapat masuk ke dalam sumur. Air yang tertampung diresapkan pelan-pelan sebanyak mungkin ke dalam tanah dan dapat dimanfaatkan kembali pada musim kemarau. Sumur resapan hanya di khususkan untuk air hujan.

Penerapan sumur resapan untuk kawasan permukiman akan memberikan keuntungan ganda, selain memperkecil dimensi jaringan drainase juga dapat menambah jumlah air tanah. Penempatan sumur resapan pada daerah permukiman dapat dilakukan secara individu atau kolektif, tergantung segi teknis dan ekonomis.



Gambar 1 Sumur Resapan

Menurut Standar Nasional Indonesia (SNI 8456, 2017) Persyaratan teknis yang harus dipenuhi dalam perencanaan sumur resapan air hujan yaitu:

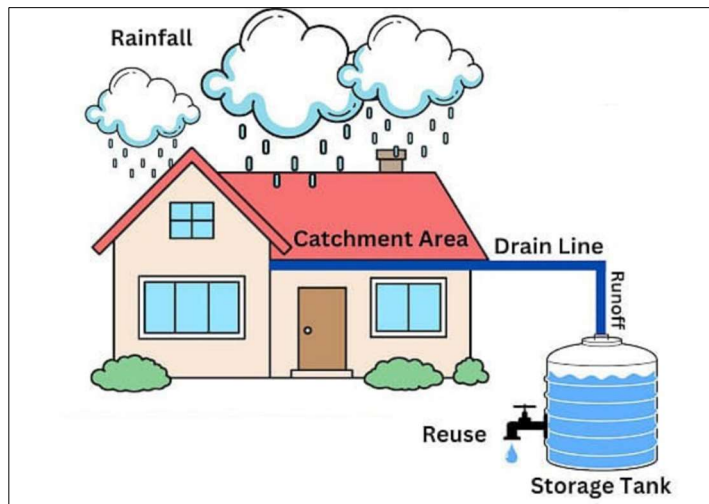
4. Sumur resapan air hujan digunakan untuk kedalaman air tanah > 2 m, jika kedalaman air tanah < 2 m, bisa menggunakan parit resapan air hujan
5. Penampang sumur resapan air hujan berbentuk segi empat atau lingkaran, dimungkinkan untuk bentuk lainnya dengan memperhatikan kemudahan dalam pengerjaan
6. Ukuran sisi penampang sumur resapan air hujan 80 cm sampai 100 cm
7. Periode ulang hujan yang digunakan untuk perencanaan 2 tahun sekali terlampaui
8. Intensitas hujan ditentukan dengan analisis *Intensity Duration Frequency* (IDF) dari daerah lokasi dengan durasi hujan 2 jam
9. Struktur tanah yang dapat digunakan harus mempunyai nilai koefisien permeabilitas tanah > 2.0 cm/jam (artinya, genangan air setinggi 2 cm akan teresap habis dalam 1 jam), dengan tiga klasifikasi, yaitu:
 - a. Permeabilitas sedang, yaitu 2,0 – 3,6 cm/jam.
 - b. Permeabilitas tanah agak cepat (pasir halus), yaitu 3,6 – 36 cm/jam.
 - c. Permeabilitas tanah cepat (pasir kasar), yaitu lebih besar dari 36 cm/jam.

Manfaat sumur resapan yaitu:

1. Menambah jumlah air yang masuk ke dalam tanah.
2. Menjaga keseimbangan hidrologi air tanah sehingga dapat mencegah intrusi air laut.
3. Mereduksi dimensi jaringan.
4. Menurunkan konsentrasi pencemaran air tanah.
5. Mempertahankan tinggi muka air tanah.
6. Mengurangi limpasan air permukaan sehingga dapat mencegah banjir.
7. Mencegah terjadinya penurunan tanah.

1.12 Pemanen Air Hujan

Pemanenan air hujan atau *Rain harvesting* merupakan metode atau teknologi yang digunakan untuk mengumpulkan air hujan yang berasal dari atap bangunan, permukaan tanah, jalan atau perbukitan batu dan dimanfaatkan sebagai salah satu sumber suplai air bersih (Ertop et al., 2023).



Gambar 2 *Rain Harvesting*

Sistem pengumpulan air hujan pada umumnya terdiri dari elemen-elemen berikut:

1. Tangki penyimpanan air
Kapasitas dan lokasinya dapat bervariasi tergantung tujuan dan ruang yang tersedia.
2. Unit control
Memantau ketinggian air di tangki penampung. Beberapa unit memberikan informasi tambahan seperti suhu air dan tekanan pompa.
3. Filter
Mencegah kotoran seperti dedaunan masuk ke dalam akuarium. Tingkat pemfilteran yang diperlukan bergantung pada aplikasi; misalnya air yang digunakan untuk mencuci pakaian harus memiliki kualitas yang lebih baik dibandingkan air yang digunakan untuk berkebun.
4. Sistem perpipaan
Sistem perpipaan khusus harus menghubungkan peralatan seperti toilet, pancuran, dan mesin cuci.
5. Pompa
Mengangkut air ke tempat yang membutuhkannya, dan diperlukan untuk sistem yang terkubur di bawah tanah. Sistem berbasis gravitasi menghindari hal ini dengan tangki penyimpanan yang ditinggikan, namun hal ini tidak umum dilakukan pada instalasi rumah tangga.

Manfaat pemanenan air hujan yaitu:

1. Mengurangi puncak kebutuhan air, menghemat air olahan untuk penggunaan yang lebih penting dan tepat.
2. Air hujan dapat berfungsi sebagai persediaan air cadangan dalam situasi darurat.
3. Mengurangi limpasan air hujan dari suatu properti, mengurangi kontaminasi air permukaan.
4. Sistem pemanenan air hujan dapat membantu memenuhi persyaratan pengelolaan air hujan dari pemerintah kota.
5. Mengganti penggunaan air kota dengan air hujan akan mengurangi jumlah air yang diolah dan dipompa. Hal ini mengurangi biaya layanan air bagi pemerintah kota, terutama biaya energi.
6. Pemanenan air hujan dapat membantu memenuhi standar energi dan peringkat efisiensi air.
7. Tagihan air dapat dikurangi dengan mengganti penggunaan air kota dengan air hujan.
8. Air hujan yang disimpan dapat digunakan untuk proteksi kebakaran. Perusahaan asuransi mungkin menawarkan diskon untuk menyimpan air di tempat.
9. Pemanenan air hujan merupakan sumber air yang layak digunakan di wilayah di mana sumber air lain tidak tersedia, memiliki kualitas air yang buruk, atau terlalu mahal untuk dikembangkan.
10. Air hujan dapat diubah menjadi air minum jika disaring dan didesinfeksi dengan benar. Tidak banyak bahan kimia yang digunakan di instalasi pengolahan kota.

1.13 Standar Teknis yang digunakan

Kriteria yang dipakai sebagai patokan agar suatu kawasan memenuhi syarat terhadap keparahan banjir/genangan ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 2. Hubungan kondisi lahan dengan intensitas curah hujan

Derajat curah hujan	Intensitas curah hujan (mm/jam)	Kondisi
Hujan sangat lemah	< 1,20	Tanah agak basah atau dibasahi sedikit
Hujan lemah	1,20 – 3,00	Tanah menjadi basah semuanya, tetapi sulit membuat puddel
Hujan normal	3,00 – 18,0	Dapat dibuat puddel dan bunyi hujan kedengaran
Hujan deras	18,0 – 60,0	Air tergenang diseluruh permukaan tanah dan bunyi keras hujan terdengar berasal dari genangan
Hujan sangat deras	>60,0	Hujan seperti ditumpahkan, sehingga saluran dan drainase meluap

Sumber: Suripin, 2004

Tabel 3. Periode ulang saluran drainase

No	Jenis Kawasan	Saluran Primer	Saluran Sekunder	Saluran Tersier
1	Permukiman			
	Kota sedang	5-10 tahun	2-5 tahun	2-5 tahun
	Kota kecil	10-20 tahun	2-5 tahun	2-5 tahun
2	Industri	2-5 tahun	2-5 tahun	2-5 tahun
3	Perumahan	5-20 tahun	2-5 tahun	2-5 tahun

Sumber: Suripin, 2004

1.14 Aspek Teknis

1.14.1. Analisis Hidrologi

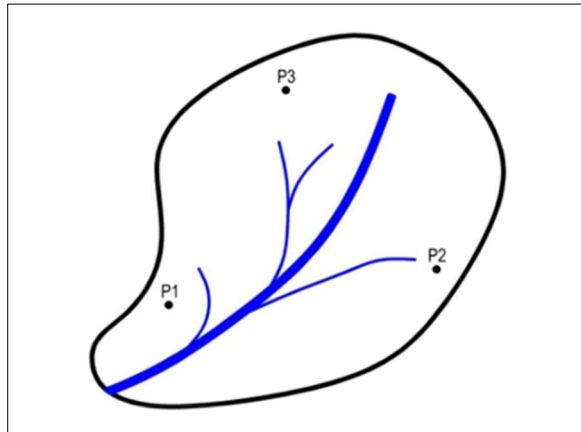
Proses analisa hidrologi umumnya diperlukan untuk memperoleh intensitas curah hujan, menghitung debit banjir rencana serta menentukan perencanaan sistem drainase yang efektif (Zhou et al., 2013).

1.14.2. Analisis Distribusi Curah Hujan Wilayah

Stasiun penakar hujan memiliki fungsi untuk mengukur kedalaman hujan pada lokasi stasiun tersebut. Oleh karena itu, untuk memperkirakan jumlah hujan pada suatu area lebih luas, informasi dari titik pengukuran stasiun harus digunakan. Jika ada beberapa stasiun penakar hujan yang tersebar di suatu wilayah, catatan hujan di setiap stasiun bisa berbeda. Dalam analisis hidrologi, penting untuk menemukan rata-rata pada curah hujan di sekitar wilayah tersebut dengan menggunakan tiga metode: Metode Rerata Aritmatika (Aljabar), Metode Polygon Thiessen, dan Metode Isohyet (Triatmodjo, 2010).

1. Metode Rerata Aritmatika (Aljabar)

Rerata curah hujan menggunakan metode aritmatika diperoleh dengan cara membagi jumlah total curah hujan dari catatan stasiun yang terletak di sepanjang sungai dengan jumlah stasiun. Meskipun metode ini sederhana, namun hasilnya cenderung kurang akurat. Hal ini disebabkan oleh anggapan bahwa setiap stasiun memiliki kontribusi yang sama terhadap perhitungan rata-rata tanpa mempertimbangkan luas wilayah tangkapan air masing-masing stasiun pengukuran.



Gambar 3 Luasan Metode Aritmatika

Cara perhitungannya adalah sebagai berikut (Sosrodarsono, 1983):

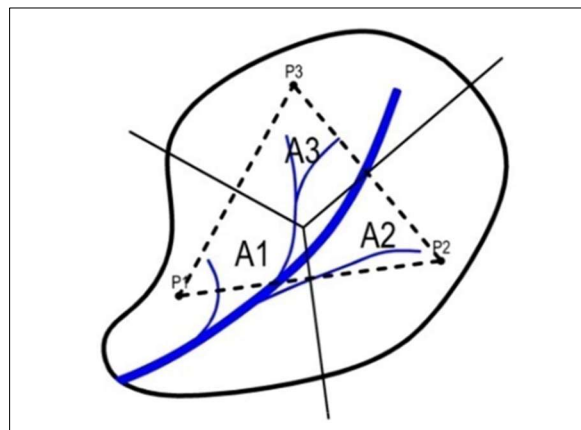
$$P = \frac{p_1 + p_2 + p_3 + p_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{n} \quad (1)$$

Dimana:

- P = Tinggi curah hujan rata-rata daerah (mm)
 P1, P2...Pn = Tinggi curah hujan pada titik pengamatan (mm)
 n = Banyaknya stasiun hujan

2. Metode *Polygon Thiessen*

Cara pendekatan ini mengidentifikasi area yang masing-masing stasiun hujan wakili dan akan menjadi faktor dalam perhitungan rata-rata curah hujan untuk daerah tersebut. Hal ini juga mempertimbangkan besarnya hujan dan jumlah stasiun yang ada dengan menghubungkan stasiun hujan dalam garis diagonal terpendek, terbentuklah polygon gravitasi.



Gambar 4 Luasan Metode *Polygon Thiessen*

Cara perhitungannya adalah sebagai berikut:

$$P = \frac{p1.A1 + p2.A2 + p3.A3 + \dots + pn.An}{A1 + A2 + A3 + \dots + An} \quad (2)$$

Dimana:

- P = Tinggi curah hujan rata-rata daerah (mm)
P1, P2...Pn = Tinggi curah hujan pada titik pengamatan (mm)
A1, A2....An = Luas sub area setiap stasiun hujan (km²)

1.14.3. Analisis Curah Hujan Harian Maksimum Rencana

Digunakan 2 (dua) metode untuk menghitung curah hujan harian maksimum perencanaan yaitu metode *Gumbel* dan Log-Pearson Tipe III. Dari ketiga hasil perhitungan tersebut, dipilih salah satu yang cakupan nilainya paling besar untuk dilakukan uji kecocokan.

1. Metode *Gumbel*

Hujan rencana dengan periode ulang tertentu ditentukan dengan menggunakan metode *gumbel*. Persamaan yang dipakai adalah (Soewarno, 1995)

$$R_T = R + \frac{\sigma R}{\sigma n} (Y_T - Y_n) \quad (3)$$

Dimana:

- R_T = HHM rencana dengan PUH T tahun (mm/24jam)
R = Curah hujan harian maksimum rata-rata (mm/24jam)
 σR = Standar deviasi n tahun (diperoleh dari perhitungan)
 σn = *Expected Standard Deviation*
 Y_T = *Reduced Variate* untuk PUH T tahun
 Y_n = *Expected Mean Reduced Variate*

Tabel 4. Nilai reduced mean (Y_n) dan reduced standard deviation (S_n)

n	Y_n	S_n
10	0,4952	0,9496
11	0,4996	0,9676
12	0,5035	0,9833
13	0,507	0,9971
14	0,51	1,0095
15	0,5128	1,0206
16	0,5157	1,0316
17	0,5181	1,0411
18	0,5202	1,0493
19	0,522	1,0565
20	0,5236	1,0628

Sumber: Suripin, 2004

2. Metode Log-Pearson Tipe III

Ada tiga parameter penting dalam Log-Pearson III, yaitu harga rata-rata, simpangan baku, dan koefisien kemencengan. Yang menarik, jika koefisien kemencengan sama dengan nol, distribusi kembali ke distribusi Log-Normal (Suripin, 2004).

Berikut ini langkah-langkah penggunaan distribusi Log-Pearson III:

Ubah data ke dalam bentuk logaritmis dari X_i menjadi $\text{Log } X_i$.

- a. Mencari nilai rata-rata

$$\text{Log } x = \frac{\sum \log x}{n} \quad (4)$$

- b. Mencari nilai standart deviasi

$$\text{STEDEV} = \frac{\sqrt{\sum (\log X_i - \text{Log } X)^2}}{n - 1} \quad (5)$$

- c. Mencari koefisien Asimetri

$$Cs = \frac{n \sum (X_i - X)^2}{(n - 1)(n - 2)(\sigma x)^2} \quad (6)$$

- d. Untuk nilai Skewness Coefficient (Cs) yang diperoleh dari periode ulang (T), nilai K_x dapat diketahui dari tabel faktor frekuensi K_x .

- e. Mencari curah hujan harian maksimum untuk periode ulang (T)

$$X_T = \bar{X} + K_x \cdot \text{STEDEV} \quad (7)$$

- f. Mencari curah hujan harian maksimum untuk periode ulang (T)

$$RT = \text{antilog } X_T \text{ atau } R_T = 10^{X_T} \quad (8)$$

Tabel 5. Nilai K untuk distribusi Log Pearson III

Koefisien	Periode Ulang. T (tahun)					
Skewness	2	5	10	25	50	100
G	Peluang (%)					
	50	20	10%	4%	2%	1%
3,0	-0,396	0,420	1,180	2,278	3,152	4,051
2,8	-0,384	0,460	1,210	2,275	3,114	3,973
2,6	-0,368	0,499	1,238	2,267	3,071	3,889
2,4	-0,351	0,537	1,262	2,256	3,023	3,800
2,2	-0,330	0,574	1,284	2,240	2,970	3,705
2,0	-0,307	0,609	1,302	2,219	2,912	3,605
1,8	-0,282	0,643	1,318	2,193	2,848	3,499
1,6	-0,254	0,675	1,329	2,163	2,780	3,388
1,4	-0,225	0,705	1,337	2,128	2,706	3,271

Koefisien	Periode Ulang. T (tahun)					
Skewness	2	5	10	25	50	100
G	Peluang (%)					
	50	20	10%	4%	2%	1%
1,2	-0,195	0,732	1,340	2,087	2,626	3,149
1,0	-0,164	0,758	1,340	2,043	2,542	3,022
0,9	-0,148	0,769	1,339	2,018	2,498	2,957
0,8	-0,132	0,780	1,336	1,993	2,453	2,891
0,7	-0,116	0,790	1,333	1,967	2,407	2,824
0,6	-0,099	0,800	1,328	1,939	2,359	2,755
0,5	-0,083	0,808	1,323	1,910	2,311	2,686
0,4	-0,066	0,816	1,317	1,880	2,261	2,615
0,3	-0,050	0,824	1,309	1,849	2,211	2,544
0,2	-0,033	0,830	1,301	1,818	2,159	2,472
0,1	-0,017	0,836	1,292	1,785	2,107	2,400
0,0	0,000	0,842	1,282	1,751	2,054	2,326
-0,1	0,017	0,836	1,270	1,716	2,000	2,252
-0,2	0,033	0,850	1,258	1,680	1,945	2,178
-0,3	0,050	0,853	1,245	1,643	1,890	2,104
-0,4	0,066	0,855	1,231	1,606	1,834	2,029
-0,5	0,083	0,856	1,216	1,567	1,777	1,955
-0,6	0,099	0,857	1,200	1,528	1,720	1,880
-0,7	0,116	0,857	1,183	1,488	1,663	1,806
-0,8	0,132	0,856	1,166	1,448	1,606	1,733
-0,9	0,148	0,854	1,147	1,407	1,549	1,660
-1,0	0,164	0,852	1,128	1,366	1,492	1,588
-1,2	0,195	0,844	1,086	1,282	1,379	1,449
-1,4	0,225	0,832	1,041	1,198	1,270	1,318
-1,6	0,254	0,817	0,994	1,116	1,166	1,197
-1,8	0,282	0,799	0,945	1,035	1,069	1,087
-2,0	0,307	0,777	0,895	0,959	0,980	0,990
-2,2	0,330	0,752	0,844	0,888	0,900	0,905
-2,4	0,351	0,725	0,795	0,823	0,830	0,832
-2,6	0,368	0,696	0,747	0,764	0,768	0,769
-2,8	0,384	0,666	0,702	0,712	0,714	0,714
-3,0	0,396	0,636	0,660	0,666	0,666	0,667

Sumber: Suripin, 2004

1.14.4. Uji Kecocokan

Penentuan kecocokan distribusi frekuensi dari sampel data terhadap fungsi distribusi frekuensi teoritis yang diperkirakan dapat menggambarkan atau mewakili distribusi empiris, diperlukan pengujian secara statistik. Dalam menentukan kesesuaian distribusi frekuensi pada perhitungan statistic hidrologi sering diterapkan dua cara pengujian yaitu:

1. Uji *Chi-Kuadrat*

Uji distribusi data curah hujan yang dianggap paling mudah perhitungannya untuk menguji peluang curah hujan adalah metode chikuadrat tes. Uji chi-kuadrat dimaksudkan untuk menentukan apakah persamaan peluang dapat mewakili dari distribusi sampel data analisis (Suripin, 2004).

$$X_h^2 = \sum_{i=1}^G \frac{(O_i - \epsilon_i)^2}{\epsilon_i} \quad (9)$$

Dimana:

X_h^2 = Paramater Chi-kuadrat terhitung

G = Jumlah sub-kelompok

O_i = Jumlah nilai pengamatan pada sub kelompok ke i

ϵ_i = Jumlah nilai teoritis pada sub kelompok ke i

2. Uji *Smirnov-Kolmogorov*

Uji kecocokan *Smirnov-Kolmogorov* pengujiannya tidak menggunakan fungsi distribusi tertentu (Soewarno, 1995). Metode ini menggunakan selisih perhitungan peluang empiris (P_Xm) dengan peluang teoritis ($P'Xm$). $D = \text{maksimum } [P(Xm) - P'(Xm)]$ Nilai D_o diperoleh dari Tabel 6 Apabila D lebih kecil dari D_o maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi dapat diterima, apabila D lebih besar dari D_o maka distribusi teoritis yang digunakan untuk menentukan persamaan distribusi tidak dapat diterima.

Tabel 6. Nilai kritis D_o untuk uji *smirnov-kolmogorov*

N	Derajat Kepercayaan			
	0,20	0,10	0,05	0,01
5	0,45	0,51	0,56	0,67
10	0,32	0,37	0,41	0,49
15	0,27	0,30	0,34	0,40
20	0,23	0,26	0,29	0,36
25	0,21	0,24	0,27	0,32
30	0,19	0,22	0,24	0,29
35	0,18	0,20	0,23	0,27
45	0,16	0,18	0,20	0,24
50	0,15	0,17	0,19	0,23
N > 50	$(1,07/N^{0,5})$	$(1,22/N^{0,5})$	$(1,36/N^{0,5})$	$(1,63/N^{0,5})$

Sumber: Soewarno, 1995

1.14.5. Perhitungan Intensitas Hujan

Intensitas curah hujan merujuk pada tingkat kepadatan hujan saat air terkumpul dalam suatu waktu, dan biasanya diukur dalam satuan milimeter per jam. Dengan kata lain, intensitas curah hujan juga diartikan ketinggian curah hujan yang terjadi dalam suatu kurun waktu tertentu. Sifat umum hujan mencakup hubungan antara durasi hujan, intensitas hujan, dan periode ulang hujan. Intensitas curah hujan cenderung lebih tinggi ketika hujan terjadi dalam waktu yang singkat. Selain itu, semakin besar periode ulang (interval antara hujan serupa), semakin tinggi intensitas curah hujan tersebut. Penentuan intensitas curah hujan ini dilakukan dengan menganalisis data hujan yang terjadi di masa lampau. Data ini dapat memberikan wawasan tentang pola dan karakteristik hujan di suatu daerah.

Berdasarkan pengamatan observasi hujan di Indonesia, hujan terpusat hanya terjadi maksimal 7 jam dalam satu waktu. Berdasarkan observasi ini dapat diasumsikan bahwa hujan terpusat paling lama terjadi selama 6 jam dalam sehari. Pola sebaran hujan dalam berbagai jam dihitung menggunakan rumus Mononobe. Persamaan Mononobe digunakan untuk mengkonversi curah hujan menjadi intensitas karena informasi curah hujan yang digunakan adalah data harian (Karamma & Pallu, 2018)

$$R_t = \frac{R_{24}}{t} \times \left(\frac{t}{T}\right)^{2/3} \quad (10)$$

Dimana:

- R_t = Intensitas hujan rerata dalam T jam (%)
- R_{24} = Curah hujan efektif harian (dalam 24 jam/mm)
- T = Waktu mulai hujan
- t = Waktu konsentrasi hujan (Jam)

Berdasarkan persentase intensitas hujan rata-rata yang didapat dari persamaan di atas, dilakukan distribusi hujan untuk setiap jam kejadian hujan tersebut terhadap curah hujan efektif 1 hari (R_{24}). Langkah pendekatan persamaan tersebut adalah:

$$R_t = [t \times R_t(R_{24}) \times R_{24}] - [(t - 1) \times (T - 1)] \quad (11)$$

Berdasarkan data-data tersebut curah hujan efektif dapat dihitung dengan

$$R_n = C \times R_{maks} \quad (12)$$

Dimana:

- R_n = Curah hujan efektif (mm/hari)
- C = Koefisien limpasan
- R_{maks} = Curah hujan rancangan

Pada umumnya data hujan yang tersedia pada stasiun meteorologi adalah data hujan harian, artinya data yang tercatat secara kumulatif selama 24 jam. Jika data hujan jam-jaman tidak ter-sedia, maka pola distribusi hujan jam-jaman dapat dilakukan dengan menggunakan pendekatan sebaran dan nisbah hujan jam-jaman dengan menggunakan rumus Mononobe sebagai berikut :

$$I = \frac{R_{24}}{24} \times \left(\frac{24}{t}\right)^{2/3} \quad (13)$$

Dimana:

I = Intensitas curah hujan (mm/jam)
 R_{24} = Curah hujan maksimum harian (mm)
 t = Waktu konsentrasi (jam)

Setelah menentukan intensitas curah hujan dengan menggunakan metode Mononobe selanjutnya dilakukan analisis waktu konsentrasi. Waktu konsentrasi adalah waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari titik yang terjauh ke titik yang akan dihitung debitnya. Metode Kirpich merupakan metode yang biasa digunakan untuk menghitung waktu. Rumus yang digunakan untuk menentukan nilai waktu konsentrasi berdasarkan Metode Kirpich adalah sebagai berikut.

$$t_c = t_o + t_s \quad (14)$$

$$t_o = 0,0195 (L_o)^{0,77} S^{-0,385} \quad (15)$$

$$t_s = \frac{L}{v \times 60} \quad (16)$$

Dimana:

t_c = Waktu konsentrasi
 t_o = Waktu aliran permukaan
 t_s = Waktu aliran saluran
 v = Kecepatan aliran saluran

1.14.6. Perhitungan Debit Banjir Rencana

Debit banjir rencana adalah debit air hujan (Q_{ah}) ditambah debit air kotor (Q_{ak}) (Sosrodarsono dan Takeda, 1987).

$$Q_{rencana} = Q_{ah} + Q_{ak} \quad (17)$$

1.14.7. Debit Air Hujan

Metode yang digunakan adalah metode rasional, karena dapat digunakan untuk perencanaan drainase daerah pengaliran yang relatif sempit. Untuk daerah pengaliran kurang dari 0,8 km², digunakan rumus sebagai berikut (Sosrodarsono dan Takeda, 1987).

$$Q = 0,2778 \cdot C \cdot I \cdot A \quad (18)$$

Dimana:

Q = Debit banjir maksimum (m³/det)
 C = Koefisien pengaliran
 I = Intensitas hujan rerata selama waktu konsentrasi (mm/jam)
 A = Luas daerah pengaliran (Km²)

Sedangkan rumus untuk daerah pengaliran lebih dari 0,8 km² adalah sebagai berikut (Suhardjono, 1984).

$$Q = 0,2778. Cs. I. A ; Cs = \frac{2tc}{2tc + ts} \quad (19)$$

Dimana:

Cs = Koefisien penampung
 tc = Waktu konsentrasi (menit)
 ts = Waktu aliran disaluran (menit)

1.14.8. Koefisien Pengaliran

Koefisien pengaliran adalah perbandingan antara jumlah air yang mengalir di permukaan akibat hujan (limpasan) pada suatu daerah dengan jumlah curah hujan yang turun di daerah tersebut. Besarnya koefisien pengaliran dipengaruhi oleh kemiringan daerah aliran, struktur geologi tanah, jenis permukaan tanah, dan klimatologi (Subarkah, 1980).

Tabel 7. Koefisien Aliran (C)

Tipe Daerah Aliran	C
Rerumputan	
Tanah pasir, datar 2 %	0,05 – 0,11
Tanah pasir, sedang 2-7 %	0,10 – 0,15
Tanah pasir, curam 7 %	0,15 – 0,20
Tanah gemuk, datar 2 %	0,13 – 0,17
Tanah gemuk, sedang 2-7 %	0,18 – 0,22
Tanah gemuk, curam 7 %	0,25 – 0,35
Perdagangan	
Daerah kota lama	0,75 – 0,95
Daerah pinggiran	0,50 – 0,70
Perumahan	
Daerah single family	0,30 – 0,50
Multi unit terpisah	0,40 – 0,60
Multi unit tertutup	0,60 – 0,75
Daerah apartemen	0,50 – 0,70
Industri	
Daerah ringan	0,50 – 0,80
Daerah berat	0,60 – 0,90
Taman, Kuburan	0,10 – 0,25
Tempat bermain	0,20 – 0,35
Daerah tidak dikerjakan	0,10 – 0,30
Jalan	
Beraspal	0,70 – 0,95
Beton	0,80 – 0,95

Tipe Daerah Aliran	C
Batu	0,70 – 0,85
Atap	0,75 – 0,95

Sumber: Triatmodjo, 2010

1.15 Analisis Hidraulika

1.15.1. Kapasitas Saluran

Evaluasi kapasitas saluran drainase yang ada digunakan untuk mengetahui saluran yang sudah tidak dapat lagi menampung debit banjir air hujan sehingga menyebabkan adanya genangan. Kapasitas saluran dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Chow, 1992):

$$Q = V \cdot A \quad (20)$$

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \quad (21)$$

Dimana:

Q = Debit limpasan air hujan (m³ /detik)

V = Kecepatan aliran (m/detik)

A = Luas penampang basah (m²)

n = Koefisien kekasaran *manning*

R = Jari-jari hidrolis (m)

S = Beda elevasi muka air (m/m)

Koefisien kekasaran Manning dapat dilihat pada table 6 dengan memperhatikan faktor bahan pembentuk saluran.

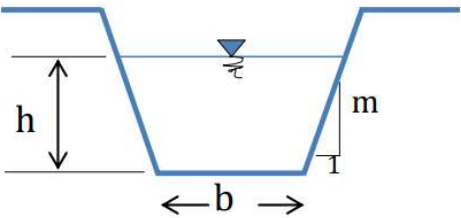
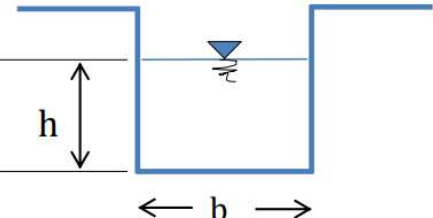
Tabel 8. Nilai koefisien kekasaran *manning* (n)

Tipe Saluran	N
A. Saluran tertutup terisi sebagian	
1. Gorong-gorong dari beton lurus dan bebas kikisan	0,010 – 0,013
Lanjutan Tabel 8	
Tipe Saluran	N
2. Gorong-gorong dengan belokan dan sambungan	0,011 – 0,014
3. Saluran pembuangan lurus dari beton	0,013 – 0,017
4. Pasangan bata dilapisi dengan semen	0,011 – 0,014
5. Pasangan batu kali disemen	0,015 – 0,017
B. Saluran terbuka	
1. Pasangan batu disemen	0,012 – 0,018
2. Beton dipoles	0,013 – 0,016
3. Pasangan batu kali disemen	0,014 – 0,035
4. Pasangan batu kosong	0,020 – 0,035

Sumber: Ven Te Chow, 1992

Dalam hal ini diperlukan data eksisting yang meliputi tipe penampang dan dimensi saluran. Berikut merupakan tipe penampang saluran dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 9. Tipe penampang saluran

Gambar Penampang	Jenis Penampang Saluran
	Penampang saluran trapesium $A = (b + m \cdot h)h$ $P = b + \sqrt{1 + m^2}$ $R = \frac{A}{P}$ $B = b + 2m \cdot h$
	Penampang saluran segiempat $A = b \cdot h$ $P = b + 2h$ $R = \frac{A}{P}$

Dimana:

- A = Luas penampang saluran (m²)
- b = Lebar dasar saluran (m)
- B = Lebar puncak saluran (m)
- h = Tinggi saluran (m)
- R = Jari-jari hidrolis (m)
- P = Keliling basah saluran (m)
- m = Kemiringan talud

1.15.2. Debit Genangan/Limpasan yang terjadi

Debit genangan atau limpasan yang dimaksud adalah selisih antara besarnya debit rancangan drainase yang terdiri dari debit yang berasal dari air hujan dan air limbah penduduk dengan kapasitas saluran drainase yang ada. Apabila debit saluran drainase lebih besar daripada debit rancangan drainase maka tidak terdapat genangan, sebaliknya apabila debit pada saluran drainase lebih kecil daripada debit rancangan drainase maka terdapat genangan sebesar selisih debit rancangan drainase dengan debit saluran drainase.

1.15.3. Debit Air Kotor

Debit air kotor berasal dari buangan hasil aktivitas penduduk yang berasal dari rumah tangga, gedung, pabrik, fasilitas umum, dan sebagainya. Untuk memperkirakan

jumlah air kotor yang akan dialiran ke saluran drainase harus diketahui terlebih dahulu jumlah kebutuhan air rata-rata dan jumlah penduduk daerah perencanaan. Kebutuhan air bersih untuk daerah perencanaan adalah sebesar 150 liter/hari/orang. Air buangan rumah tangga diperhitungkan berdasarkan penyediaan air minumnya. Diperkirakan besarnya air buangan yang masuk ke saluran pengumpul air buangan sebesar 80% dari kebutuhan standar air minum (Suhardjono, 1984).

Untuk proyeksi pertumbuhan penduduk tiap tahun dirumuskan sebagai berikut:

$$P_n = P_o (1 + r)^n \quad (22)$$

Sehingga besarnya air kotor adalah:

$$\begin{aligned} q &= 80\% \times \frac{150 \frac{\text{liter}}{\text{orang}}}{\text{hari}} \\ &= 120 \text{ liter/orang/hari} \end{aligned} \quad (23)$$

$$Q = \frac{(P_n \cdot q)}{A} \quad (24)$$

Dimana:

- Q = Debit limpasan air hujan (m³ /detik)
- V = Kecepatan aliran (m/detik)
- A = Luas penampang basah (m²)
- n = Koefisien kekasaran *manning*
- R = Jari-jari hidrolis (m)
- S = Beda elevasi muka air (m/m)

1.16 Aspek Lingkungan

Permasalahan yang sering terjadi di lingkungan saat ini adalah terjadinya genangan atau banjir pada musim hujan dan menurunnya kuantitas sumber mata air pada musim kemarau, selain itu di beberapa tempat terjadi pula penurunan kemampuan tanah untuk meresapkan air sebagai akibat adanya perubahan lingkungan yang merupakan dampak dari proses pembangunan.

Aspek lingkungan yang dimaksud dalam penelitian ini adalah perlu adanya perubahan konsep sistem drainase konvensional dengan mengupayakan penanganan genangan berwawasan lingkungan pada sistem saluran, sehingga diharapkan analisis tersebut dapat dijadikan alternatif dalam penanganan di Kelurahan Katimbang Kota Makassar.

1.16.1. Sumur Resapan

Metode sumur resapan dapat meningkatkan pemanfaatan air tanah pada saat ini sebagai akibat dari pesatnya perkembangan penduduk. Sumur resapan kebalikan dari

sumur air minum. Sumur resapan merupakan lubang untuk memasukkan air ke dalam tanah, sedangkan sumur air minum berfungsi untuk menaikkan air tanah ke permukaan.

Sumur resapan terdiri dari 2 jenis, yaitu sumur resapan dangkal dan sumur resapan dalam. Sumur resapan dangkal cocok untuk daerah dengan muka air tanah bebas rendah (jauh di bawah muka tanah), sedangkan sumur resapan dalam cocok untuk daerah dengan piezometrik akuifer tertekan rendah yang maka air tanah bebasnya sangat dekat atau bahkan berada pada permukaan tanah akibat genangan.

Sumur resapan merupakan sumur gali yang berbentuk lingkaran atau segi empat dengan kedalaman tertentu sumur resapan berfungsi untuk menampung dan meresapkan air hujan yang diatas permukaan tanah baik melalui atap bangunan, jalan dan halaman.

Sebagai suatu konstruksi yang berfungsi sebagai peresap air ke dalam tanah, sumur resapan memiliki syarat-syarat yang menjadi pertimbangan dalam perencanaannya. Syarat-syarat yang harus dipenuhi antara lain:

1. Mempunyai kedalaman (H) yang cukup, hal ini erat kaitannya dengan keperluan debit resapan
2. Mempunyai bidang luas resap (A) yang cukup, baik pada dinding sumur maupun pada dasar sumur.
3. Mempunyai volume tampung (V) yang cukup bagi air yang akan diresapkan, sehingga tidak sampai terjadi peluberan air.

1.16.2. Perencanaan Pembuatan Sumur Resapan

Untuk menentukan dimensi sumur resapan agar mampu menampung air hujan sebelum diserapkan ke dalam tanah harus diperhitungkan terhadap beberapa hal, antara lain:

1. Lama hujan dominan
Data lama hujan diperhitungkan sangat mempengaruhi kapasitas sumur resapan.
2. Intensitas hujan
Setelah diketahui lama hujan, maka intensitas hujan dapat dihitung. Semakin tinggi intensitas hujan, semakin besar dimensi sumur resapan yang dibutuhkan.
3. Selang waktu hujan
Agar dimensi sumur resapan mampu untuk menampung air hujan yang terjadi berurutan, maka selang waktu hujan harus diperhitungkan.
4. Kondisi air tanah
Pada kondisi permukaan air tanah yang dalam, sumur resapan perlu dibuat secara besar-besaran karena tanah benar-benar memerlukan suplai air melalui sumur resapan. Apabila air tanahnya dangkal maka kurang efektif.
5. Koefisien permeabilitas tanah
Angka koefisien permeabilitas tanah merupakan penentu besarnya volume pada sumur resapan yang akan dibuat serta mempengaruhi kecepatan peresapan.

Tabel 10. Koefisien permeabilitas tanah

Jenis Tanah	K (cm/dt)
Lempung	3×10^{-6}
Lanau	$4,5 \times 10^{-4}$
Pasir sangat halus	$3,5 \times 10^{-3}$
Pasir halus	$1,5 \times 10^{-2}$
Pasir sedang	$8,5 \times 10^{-2}$
Pasir kasar	$3,5 \times 10^{-1}$
Krikil kecil	3

Sumber: Sasrodarsono, 1983

6. Tata guna lahan (*land use*)
Tata guna lahan akan berpengaruh terhadap persentase air yang meresap ke dalam tanah dengan aliran permukaan.
7. Penempatan atau jarak minimum
Penempatan atau jarak sumur resapan air hujan dari bangunan lainnya adalah sebagai berikut:

Tabel 11. Jarak Minimum Sumur Resapan Dengan Bangunan Lainnya

No	Bangunan/ objek yang ada	Jarak minimal dengan sumur resapan (m)
1	Bangunan/rumah	3
2	Batas Pemilikan lahan/kapling	1,5
3	Sumur untuk air minum	10
4	Septic tank	10
5	Aliran air (sungai)	30
6	Pipa air minum	3
7	Pohon besar	3

Sumber: *Cottrel and Norris* dalam Kementrian PU, 2013

8. Kondisi sosial ekonomi masyarakat
Pada kondisi perekonomian yang baik, biaya untuk sumur resapan dapat dibebankan pada masyarakat dan konstruksinya dapat dibuat dari bahan yang benar-benar kuat. Sebaliknya pada kondisi sosial ekonomi masyarakat rendah, sumur resapan harus dibuat dari bahan-bahan yang murah dan mudah didapat serta konstruksinya sederhana.
9. Ketersediaan bahan
Perencanaan sumur resapan harus mempertimbangkan ketersediaan bahan-bahan yang ada di lokasi.

1.16.3. Dimensi Sumur Resapan

Untuk menghitung dimensi sumur resapan dapat digunakan rumus sebagai berikut (Sunjoto, 1991):

$$H = \frac{Q}{Fk} \left[1 - e^{-\frac{F \cdot K \cdot T}{\pi R^2}} \right] \quad (25)$$

Dimana:

- H = Tinggi muka air dalam sumur (m)
 Q = Debit air masuk (m³/det)
 T = Waktu pengaliran (det)
 F = Faktor geometrik (m)
 k = Koefisien permeabilitas tanah (m/det)
 R = Jari-jari sumur resapan (m)

1.16.4. Volume Sumur Resapan

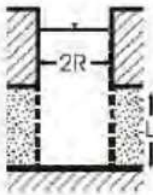
Volume sumur resapan dapat dihitung menggunakan rumus volume tabung sebagai berikut:

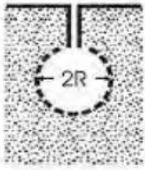
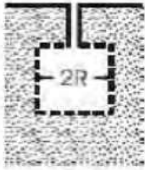
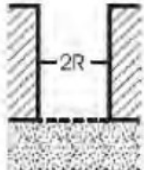
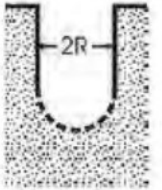
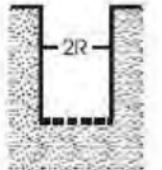
$$V = \pi \times R^2 \times H \quad (26)$$

Dimana:

- V = Volume sumur resapan (m³)
 R = Jari-jari sumur resapan (m)
 H = Tinggi muka air dalam sumur (m)

Tabel 12. Faktor geometrik sumur resapan

No	Condition	Shape Factor of Well (F)	Value of F when R=1; H=0; L=0, except for F _L , L=1	References
1		$\frac{2\pi L}{\ln \left\{ \frac{2(L + 2R)}{R} + \sqrt{\left(\frac{2L}{R}\right)^2 + 1} \right\}}$	2.980	Sunjoto (1989)

No	Condition	Shape Factor of Well (F)	Value of F when R=1; H=0; L=0, except for F _L , L=1	References
2a		$4 \pi R$	12.566	Samsioe (1931) Dachler (1936) Aravin (1965)
2b		$16 R$	18.000	Sunjoto (2002)
3a		$2 \pi R$	6.283	Samsioe (1931) Dachler (1936) Aravin (1965)
3b		$4 R$	4.000	Forchheimer (1930) Dachler (1936) Aravin (1965)
4a		$\pi^2 R$	9.870	Sunjoto (2002)
4b		$5.5 R$	5.500	Harza (1935) Taylor (1948) Hvorslev (1951)
		$2 \pi R$	6.283	Sunjoto (2002)

Sumber: Sunjoto, 2011

Tabel 13. Deskripsi tentang sumur resapan

Kondisi	Deskripsi
1	Resapan pada tanah porus terletak diantara tanah bersifat kedap air di bagian dasar dan bagian atas dengan dinding porus setinggi L.
2.a	Resapan berbentuk bola berdinding porous dengan saluran vertikal kedap air dan seluruhnya berada di tanah yang bersifat porous.
2.b	Resapan kubus berdinding porous dengan saluran vertikal kedap air dan seluruhnya berada di tanah yang bersifat porous.
3.a	Resapan terletak pada tanah bersifat kedap air di bagian atas dan tanah porous dibagian bawah dengan dasar berbentuk setengah bola.
3.b	Resapan terletak pada tanah bersifat kedap air di bagian atas dan tanah porous dibagian bawah dengan dasar rata.
4.a	Resapan terletak pada tanah yang seluruhnya porous dengan dinding resapan kedap air dan dasar berbentuk setengah bola.
4.b	Resapan terletak pada tanah yang seluruhnya porous dengan dinding resapan kedap air dan dasar rata.

Sumber: Sunjoto, 2011

1.17 Software EPA SWMM

Software EPA SWMM pertama kali dikembangkan pada tahun 1971 oleh United States Environmental Protection Agency (US EPA) dan kemudian mengalami beberapa peningkatan sampai dengan saat ini. Perangkat lunak ini bersifat gratis (*public domain*) dan versi terakhirnya yaitu versi 5.2.4 telah beredar sejak 8 Juli 2023 lalu. File instalasi SWMM dapat diunduh pada lama resmi US EPA.

1.17.1. Definisi EPA SWMM

Storm Water Management Model (SWMM) merupakan model dinamik simulasi hujan-aliran (*rainfall-runoff*) yang digunakan untuk simulasi kuantitas maupun kualitas limpasan permukaan terutama dari daerah perkotaan. Limpasan permukaan yang dihasilkan berasal dari daerah tangkapan hujan yang menerima hujan. Beban limpasan permukaan tersebut kemudian dialirkan melalui sistem saluran pipa, saluran terbuka, tampungan, pompa, dan sebagainya.

EPA SWMM menghitung kuantitas dan kualitas limpasan permukaan di setiap daerah tangkapan hujan, dan debit, kedalaman, kecepatan, dan variabel lainnya dalam tiap saluran selama periode simulasi dengan tahapan waktu tertentu. EPA SWMM 5.2 memiliki kemampuan untuk menghitung baik aspek hidrologi maupun hidrolika dari suatu sistem drainase. Perangkat lunak ini dapat menghitung berbagai proses hidrologi untuk menghasilkan limpasan dari daerah perkotaan yang mencakup:

1. Hujan bervariasi fungsi waktu atau hyetograph
2. Evaporasi
3. Akumulasi salju dan pencairannya
4. Intersepsi hujan dari tampungan cekungan
5. Infiltrasi dari lapisan tanah yang tak jenuh
6. Perkolasi dalam lapisan air tanah

7. Aliran antara dari air tanah dan sistem drainase
8. Penelusuran tampungan untuk aliran permukaan
9. Intersepsi dan retensi hujan/limpasan dengan berbagai praktik pembangunan berdampak rendah atau *low impact development* (LID).

EPA SWMM juga dapat menghitung proses hidrolika untuk menelusuri limpasan dan aliran masuk lainnya melalui jaringan sistem drainase pipa, saluran, tampungan/kolam, dan struktur hidrolis lainnya. Kemampuan hidrolika ini mencakup:

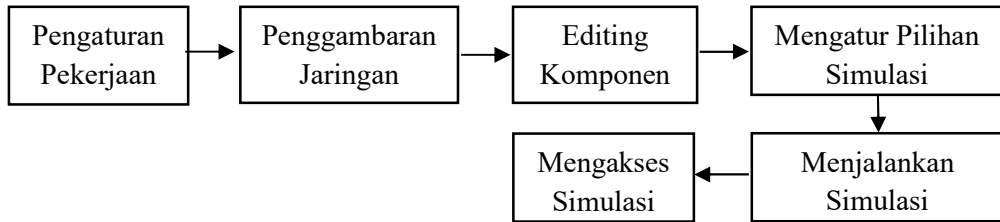
1. Dapat mensimulasikan dengan ukuran jaringan yang tidak terbatas, yaitu jumlah komponen sistem seperti pipa/saluran, tampungan, dan struktur hidrolis lainnya yang tak terhingga
2. Dapat mensimulasikan bentuk penampang saluran yang bervariasi termasuk saluran alami seperti sungai
3. Dapat memodelkan komponen sistem seperti tampungan, pembagi aliran, pompa, bendung, dan peluap
4. Metode penelusuran aliran tersedia untuk aliran mantap, gelombang kinematik, dan gelombang dinamik
5. Mampu memodelkan berbagai rezim aliran seperti aliran terbungkus (*backwater*), penggenangan, aliran balik, dan genangan permukaan
6. Dapat menerapkan operasi pompa, bukaan peluap, dan level dari pelimpah yang dapat diatur secara bebas oleh pengguna (*user*).

EPA SWMM sudah digunakan secara luas dan diterapkan dalam ribuan studi sistem drainase dan limbah di seluruh dunia. Secara umum, SWMM banyak diaplikasikan untuk:

1. Perancangan komponen sistem drainase untuk pengendalian banjir
2. Perencanaan kolam untuk pengendalian banjir dan perlindungan kualitas air
3. Pemetaan genangan banjir dari sistem saluran alami/sungai
4. Perancangan strategi pengaturan untuk meminimalkan luapan dari saluran limbah
5. Evaluasi dampak aliran masuk dan infiltrasi terhadap luapan saluran limbah
6. Perhitungan alokasi beban pencemar yang diizinkan dari suatu lokasi studi
7. Pengendalian limpasan permukaan menggunakan praktik infrastruktur hijau seperti komponen-komponen LID
8. Evaluasi efektivitas praktik manajemen terbaik (*best management practices*) untuk mengurangi beban pencemar.

1.17.2. Tahapan Umum Simulasi EPA SWMM

Tahapan umum yang dilakukan dalam setiap simulasi SWMM secara berurutan adalah pengaturan pekerjaan (*project setup*), penggambaran jaringan dan komponen sistem, editing komponen, mengatur pilihan simulasi, menjalankan simulasi dan mengakses hasil simulasi seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut



Gambar 5 Tahap umum simulasi SWMM

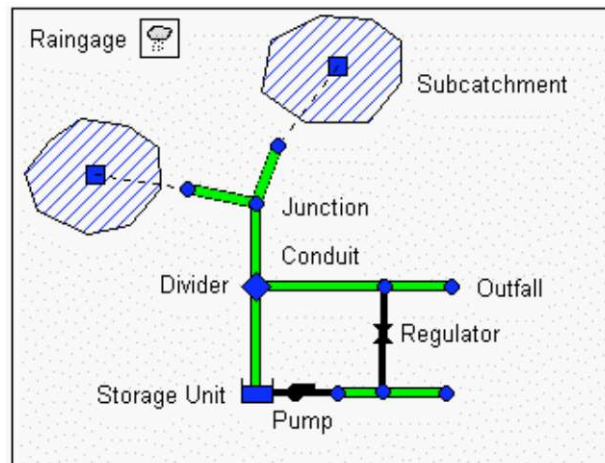
Sumber: (Al Amin, 2020)

1.17.3. Konsep Model dan Persamaan Pengatur

EPA SWMM memodelkan sistem drainase sebagai rangkaian aliran yang melalui empat bagian utama, yaitu di atmosfer, permukaan tanah, bawah permukaan tanah dan jaringan drainase. Penjelasan masing-masing bagian berikut komponen objeknya dijabarkan sebagai berikut:

1. Bagian Atmosfer
Merepresentasikan hujan sebagai input bagi sistem drainase. Hujan tersebut direpresentasikan dalam objek *Rain gage*
2. Bagian permukaan tanah
Merepresentasikan daerah tangkapan hujan yang menerima hujan dari bagian atmosfer kemudian mengalirkannya dalam bentuk infiltrasi ke bagian bawah permukaan tanah dan juga limpasan permukaan untuk bagian jaringan drainase. Bagian ini dimodelkan menggunakan objek *Sub-catchment*
3. Bagian bawah permukaan tanah
Menerima infiltrasi dari bagian permukaan tanah dan mengalirkannya sebagai aliran dasar bagi bagian jaringan drainase. Bagian ini dimodelkan menggunakan objek *Aquifer*
4. Bagian jaringan drainase
Terdiri dari saluran drainase, pompa dan regulator, serta unit tampungan yang mengalirkan air menuju ke saluran buang. Aliran masuk dari bagian ini dapat berasal dari limpasan permukaan, aliran dasar (air tanah), dan aliran masuk lainnya.

Objek-objek dalam setiap bagian di atas, digambarkan secara visual dalam bentuk peta dalam halaman kerja SWMM seperti yang ditunjukkan pada gambar berikut disertai penjelasan dari objek-objek tersebut.



Gambar 6 Visualisasi objek untuk memodelkan sistem drainase
Sumber: (Rossman, 2015)

1. *Rain Gages*

Objek *Rain gages* menyediakan data hujan untuk satu atau beberapa daerah tangkapan hujan dalam wilayah studi. Data hujan tersebut umumnya berupa seri data hujan yang menunjukkan distribusi hujan sebagai fungsi waktu. Sebagai contoh distribusi curah hujan (mm) terhadap waktu (menit atau jam) yang sering diistilahkan sebagai hyetograph.

2. *sub-catchments*

Objek *Sub-catchment* merupakan satuan wilayah/lahan yang dibatasi oleh pemisah topografi dan mengalirkan limpasan permukaan pada satu titik luaran (*outlet*) yang sering disebut sebagai daerah aliran sungai (DAS) atau daerah tangkapan hujan. Penentuan daerah tangkapan hujan ini umumnya dilakukan melalui analisis topografi seperti *digital elevation model* (DEM) suatu wilayah, sehingga dapat ditentukan luasan yang memberikan kontribusi aliran di suatu titik *outlet*.

Objek *Sub-catchment* tersebut dibagi menjadi luasan-luasan lebih kecil yang bersifat lolos air (*pervious*) dan kedap air (*impervious*). Limpasan permukaan dapat terinfiltrasi masuk ke dalam tanah melalui luasan yang lolos air, namun tidak dapat terinfiltrasi pada luasan yang kedap air.

3. *Junction Nodes*

Objek *Junction* merupakan titik/simpul (*node*) dari sistem drainase di mana saluran bertemu. Secara fisik objek tersebut dapat merepresentasikan pertemuan dari saluran terbuka, *manhole* dalam sistem jaringan limbah, dan sambungan pipa. Aliran eksternal dapat memasuki sistem melalui objek *Junction*. Kelebihan air pada suatu *Junction* dapat menunjukkan tingkatan banjir yang terjadi dalam sistem drainase.

4. *Outfall Nodes*

Objek *Outfall* merupakan titik akhir dari sistem drainase perkotaan yang umumnya digunakan untuk merepresentasikan titik *outlet* suatu daerah tangkapan hujan.

Outfall hanya boleh terdiri dari satu saluran masuk saja. Pada *Outfall* juga merupakan input data untuk kondisi batas di hilir sistem drainase

5. *Flow Divider Nodes*

Objek *Flow Divider* merupakan simpul sistem drainase yang mengalihkan aliran masuk kepada saluran tertentu dengan batasan/ketentuan yang ditetapkan. Sebuah *Flow Divider* hanya boleh memiliki dua saluran keluar saja. Terdapat empat jenis. *Flow Divider* yang didefinisikan terhadap bagaimana aliran masuk dialihkan, yaitu:

- a. *Cutoff Divider*, yaitu mengalihkan semua aliran masuk yang besarnya melebihi nilai aliran yang ditentukan
- b. *Overflow Divider*, yaitu mengalihkan semua aliran masuk yang besarnya melebihi kapasitas aliran dari saluran tanpa pengalihan
- c. *Tabular Divider*, yaitu menggunakan tabel untuk menyatakan aliran yang dialihkan sebagai fungsi dari total aliran masuk
- d. *Weir Divider*, yaitu menggunakan persamaan pelimpah bendung untuk menghitung aliran yang dialihkan.

6. *Storage Units*

Objek *Storage Unit* merupakan simpul sistem drainase yang menyediakan volume tampungan. Secara fisik, objek tersebut merepresentasikan bangunan penampung seperti kolam detensi atau retensi dan waduk atau danau. Fungsi tampungan dideskripsikan sebagai fungsi dari luas permukaan tampungan terhadap tinggi air. Fungsi utama *Storage Unit* dalam sistem drainase adalah sebagai penahan dan penunda puncak banjir, di mana tampungan dapat menahan aliran masuk (limpasan permukaan) kemudian mengeluarkannya dengan besaran yang lebih kecil dan waktu yang lebih lama ke dalam sistem.

7. *Conduits*

Objek *Conduit* digunakan untuk merepresentasikan saluran baik saluran terbuka maupun pipa yang mengalirkan air dari satu titik ke titik lainnya dalam sistem drainase. Bentuk penampang melintang saluran dapat ditentukan berdasarkan berbagai variasi bentuk yang telah tersedia untuk saluran buatan maupun ditentukan sendiri oleh *user* untuk saluran alami/sungai. Objek *Conduit* juga dapat merepresentasikan sebuah gorong-gorong. Dalam perhitungannya, aliran dalam gorong-gorong dapat beroperasi dalam *control inlet* atau *control outlet*. Dalam *control inlet*, sebuah gorong-gorong mengatur aliran terhadap rating curve kedalaman yang bergantung pada bentuk, ukuran, kemiringan, dan geometri *inlet* dari gorong-gorong tersebut.

8. *Pumps*

Objek *Pump* (pompa) digunakan untuk mengangkat atau menaikkan air ke elevasi yang lebih tinggi. Kapasitas sebuah pompa direpresentasikan dalam kurva pompa. *Flow Regulator*

Objek *Flow Regulator* merupakan struktur yang digunakan untuk mengatur dan mengalihkan aliran dalam sistem pengaliran.

1.18 Kalibrasi *Root Mean Square Error (RMSE)*

Root Mean Square Error (RMSE) merupakan salah satu cara untuk mengevaluasi model regresi linear dengan mengukur tingkat akurasi hasil perkiraan suatu model.

RMSE adalah cara standard yang populer untuk mengukur kesalahan suatu model dalam memprediksi data kuantitatif yang menunjukkan seberapa tersebar data disekitar garis yang paling cocok (Hodson, 2022). Secara matematis rumus RMSE ditulis sebagai berikut:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{obs} - x_{sim})^2} \quad (28)$$

Dimana:

X_{obs} = Nilai hasil observasi
 X_{sim} = Nilai hasil simulasi
 n = Jumlah data

1.19 Penelitian Terdahulu

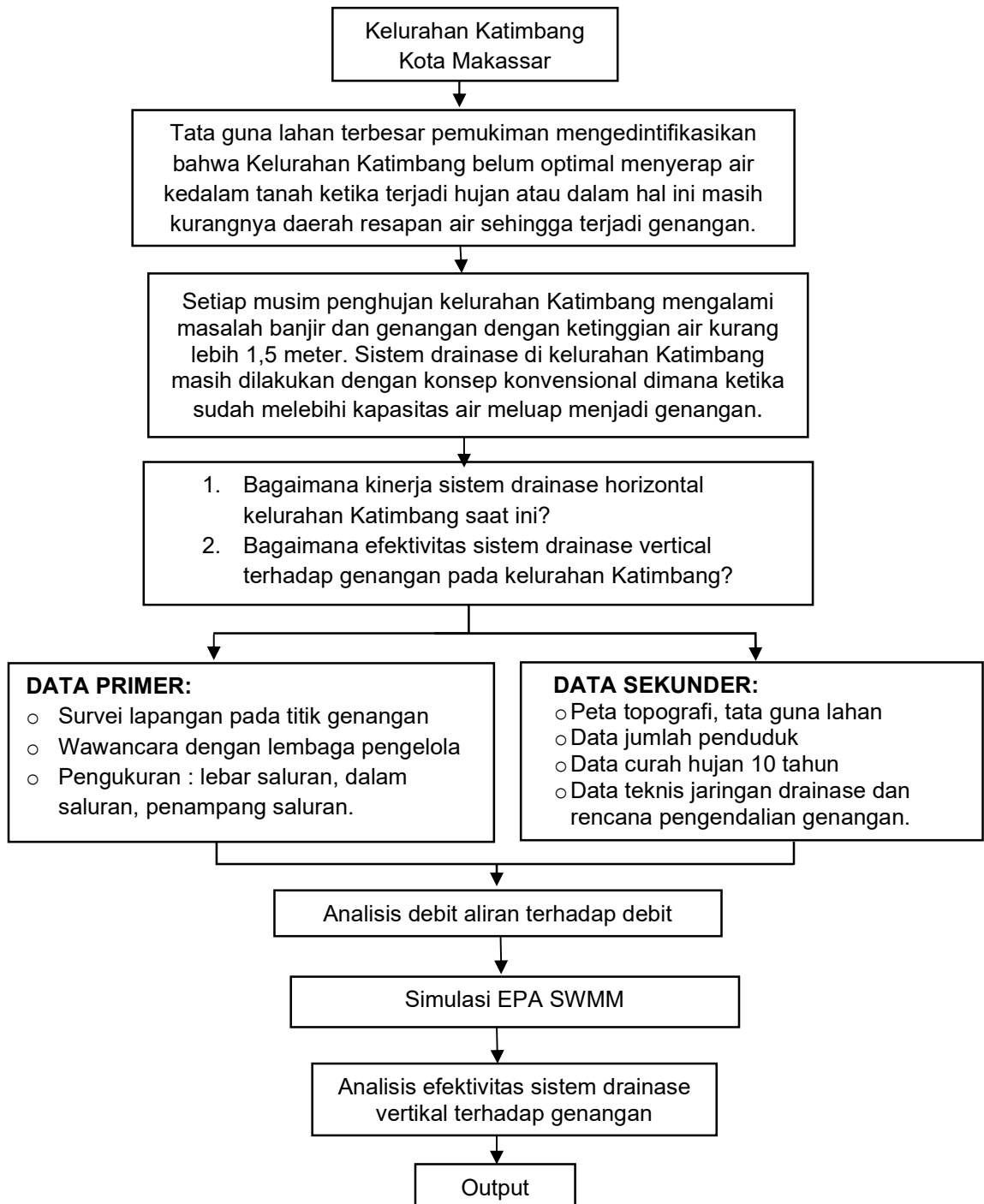
Sebelumnya, telah ada penelitian yang berkaitan dengan penanganan genangan dengan sistem drainase berwawasan lingkungan. Penelitian yang pertama adalah penelitian tentang pengembangan konsep drainase berwawasan lingkungan dengan mengevaluasi sistem drainase melalui perbandingan dengan tanpa konsep drainase berwawasan lingkungan dengan menstimulasikan teknologi sumur resapan. Berdasarkan hasil pemodelan, diketahui bahwa sumur resapan mampu meresapkan air ditandai dengan debit pengaliran yang masuk kedalam saluran menjadi berkurang. Hal ini menandakan bahwa sumur resapan dinilai efektif untuk diterapkan (Wahyuningtyas et al., 2011).

Penelitian tentang sistem drainase yang bertujuan untuk mengevaluasi kondisi eksisting drainase berdasarkan masterplan yang sudah ada serta menentukan alternatif untuk mengatasi banjir dengan melakukan penerapan drainase berwawasan lingkungan menggunakan permodelan EPA SWMM 5.1 dan diperoleh hasil bahwa penerapan sistem drainase berwawasan lingkungan berupa sumur resapan dapat mengurangi genangan (Syahputra, 2023).

Diperkuat dengan penelitian (Furqani et al., 2021) untuk mengetahui kondisi eksisting drainase dan merencanakan alternatif bangunan yang dapat membantu pengendalian genangan berwawasan lingkungan, ditawarkan dua alternatif sistem drainase berwawasan lingkungan. Berdasarkan analisa teknis dan ekonomis dipilih sumur resapan yang dapat mereduksi 22% debit genangan.

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, kita mengetahui bahwa sistem drainase berwawasan lingkungan sangat efektif dalam menanggulangi masalah genangan. Hal ini sesuai dengan penelitian (Yudianto & Roy, 2009) yang menyebutkan bahwa kombinasi pemanfaatan kolam retensi dan sumur resapan dapat menampung volume limpasan dengan periode ulang debit banjir 10 tahun.

1.20 Kerangka Berpikir



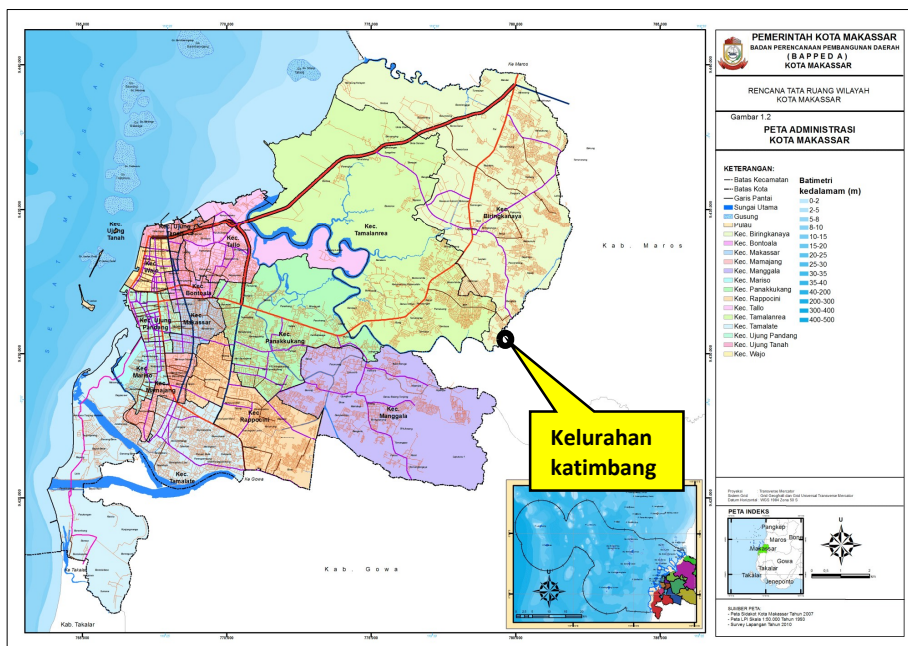
Gambar 7 Kerangka Berpikir

BAB II METODOLOGI PENELITIAN

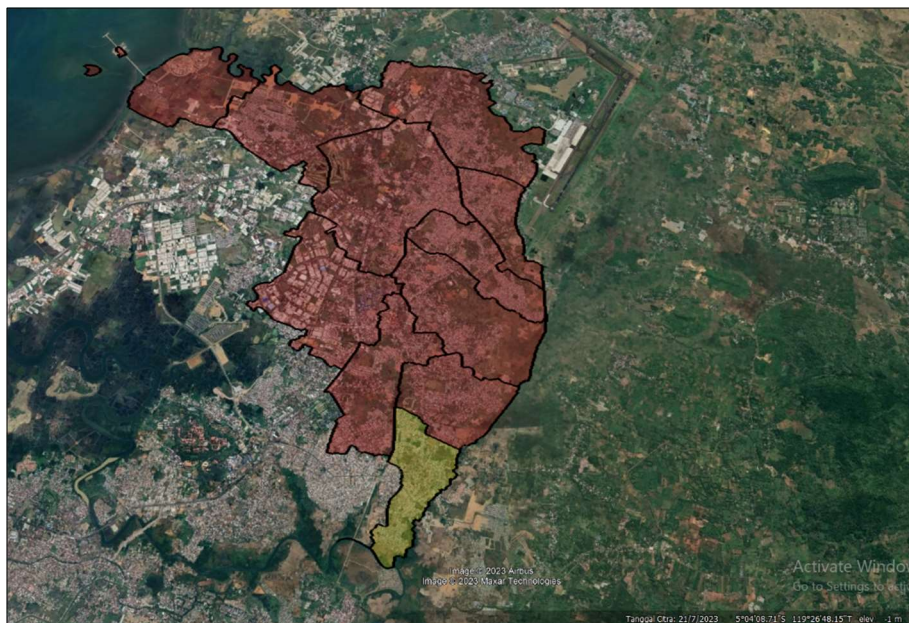
2.1 Lokasi dan Waktu Penelitian

2.1.1 Lokasi Penelitian

Adapun lokasi penelitian yaitu di Kelurahan katimbang, Kecamatan Biringkanaya, Kota Makassar. Kecamatan Biringkanaya sendiri memiliki 11 kelurahan, salah satunya Kelurahan Katimbang dengan luas wilayah 2,11 Km². Kelurahan Katimbang berada pada titik koordinat 05°08'22.40" LS dan 119°31'25.50" BT merupakan kelurahan yang dipilih menjadi lokasi penelitian karena lokasi ini merupakan daerah tergenang pada saat musim hujan.



Gambar 8 Peta administrasi kota Makassar
Sumber: RTRW kota Makassar tahun 2015



Gambar 9 Geospasial Kecamatan Biringkanaya



Gambar 10 Geospasial Kelurahan Katimbang

2.1.2 Waktu Penelitian

Adapun waktu penelitian dilaksanakan pada bulan Agustus 2023 sampai Mei 2024.

Tabel 14. Time schedule penelitian

No	Kegiatan	2023					2024				
		AGS	SPT	OKT	NOV	DES	JAN	FEB	MAR	APR	MEI
1	Pengumpulan Data										
2	Pengolahan Data										
3	Analisis Data										

2.2 Rancangan Penelitian

Dalam penyusunan tesis ini, pendekatan yang digunakan adalah pendekatan deskriptif yaitu survei dan penjelasannya. Penelitian ini dilakukan untuk mengkaji pendekatan sistem drainase horizontal dan drainase vertikal dalam penanganan genangan.

Kegiatan yang dilakukan dalam penyusunan tesis ini adalah dengan melakukan survei data, pengamatan lokasi, menganalisis dan menginterpretasikan data yang diperoleh untuk mendapatkan solusi dan pemecahan dari permasalahan yang ditemukan di lapangan.

Data-data yang digunakan berasal dari informasi masyarakat sedangkan data yang bersifat kuantitatif berupa angka-angka atau hitungan yang diolah berdasarkan informasi masyarakat, lembaga terkait, badan pengelola serta fakta lapangan yang diperoleh selama proses penelitian.

2.3 Metode Pelaksanaan

Mengidentifikasi masalah yang terjadi di Kelurahan Katimbang Kota Makassar dilakukan untuk menemukan masalah yang kemudian digunakan untuk mencari solusi dan tindakan perbaikan sesuai dengan karakteristik wilayah. Melakukan penelusuran dan pengumpulan literatur terkait penelitian yang diperoleh dari peraturan/undang – undang yang berlaku, penelitian terdahulu seperti tesis, jurnal, *book chapter*, maupun *proceeding*.

2.4 Langkah-langkah penelitian

Adapun langkah-langkah dalam penelitian sebagai berikut:

2.4.1 Persiapan

1. Melakukan studi pustaka yang berkaitan dengan judul ini dan memahami materi yang akan digunakan dalam penelitian ini.
2. Mengajukan surat izin kepada instansi terkait untuk memperoleh data primer dan sekunder yang dibutuhkan

2.4.2 Pengumpulan Data

1. Identifikasi Lokasi
Identifikasi lokasi bertujuan untuk mengetahui dimensi saluran drainase dan kondisi di lapangan yang digunakan untuk memperkirakan pemecahan masalah genangan air yang terjadi di lokasi tersebut (Singh et al., 2021).
2. Data Primer
Data primer adalah data yang diperoleh dari hasil wawancara dengan sumber dan melakukan survei lapangan pada titik genangan serta dilakukan pengukuran seperti

lebar saluran, kedalam saluran, penampang saluran, terkait dengan sistem drainase eksisting di Kelurahan Katimbang kota Makassar (Fajri et al., 2022)

3. Data Sekunder

Data sekunder yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu:

- a. Peta topografi/kontur, rencata tata guna lahan, rencana pengembangan kota dan pengembangan wilayah yang bisa diperoleh dari Dinas Tata Ruang Kota Makassar.
- b. Data jumlah penduduk diperoleh dari Badan Pusat Statistik Kota Makassar.
- c. Data curah hujan 10 tahun dari Balai Besar Wilayah Sungai Jeneberang
- d. Master plan drainase dan data pola sistem drainase Kota Makassar tahun 2010-2025 didapat dari Dinas Pengairan Kota Makassar.

2.4.3 Analisis Data

Data yang diperoleh pada tahap pengumpulan data kemudian akan diolah untuk mendapatkan hasil sesuai dengan tujuan penelitian. Analisis data dilakukan berdasarkan 3 (tiga) aspek, aspek teknis, aspek lingkungan, dan aspek ekonomi.

1. Aspek Teknis

Analisis data pada aspek teknis antara lain:

- a. Menghitung curah hujan maksimum rerata daerah
- b. Analisis curah hujan rancangan
- c. Melakukan uji kesesuaian distribusi
- d. Perhitungan Intensitas Hujan
- e. Perhitungan Debit Banjir Rancangan
- f. Debit Air Hujan
- g. Analisis kapasitas saluran eksisting
- h. Evaluasi kapasitas saluran

2. Aspek Lingkungan

Analisis pada aspek ini mengkaji beberapa alternatif pemilihan penanganan genangan untuk mengurangi genangan dengan melengkapi konsep drainase horisontal & drainase vertikal. Tujuannya adalah agar limpasan air hujan dapat meresap ke dalam tanah, melakukan konservasi, dan melakukan pengisian muka air tanah. Dalam mengkaji kondisi eksisting yang perlu diperhatikan yaitu:

- a. Mengevaluasi tinggi muka air tanah, untuk mengetahui kedalaman yang cukup tersedia pada lokasi.
- b. Mengevaluasi jenis tanah pada kedalaman tertentu, untuk mengetahui nilai permeabilitas tanah.
- c. Analisis debit resapan, untuk mengetahui besar debit genangan yang dapat direduksi dari alternatif yang dipilih.

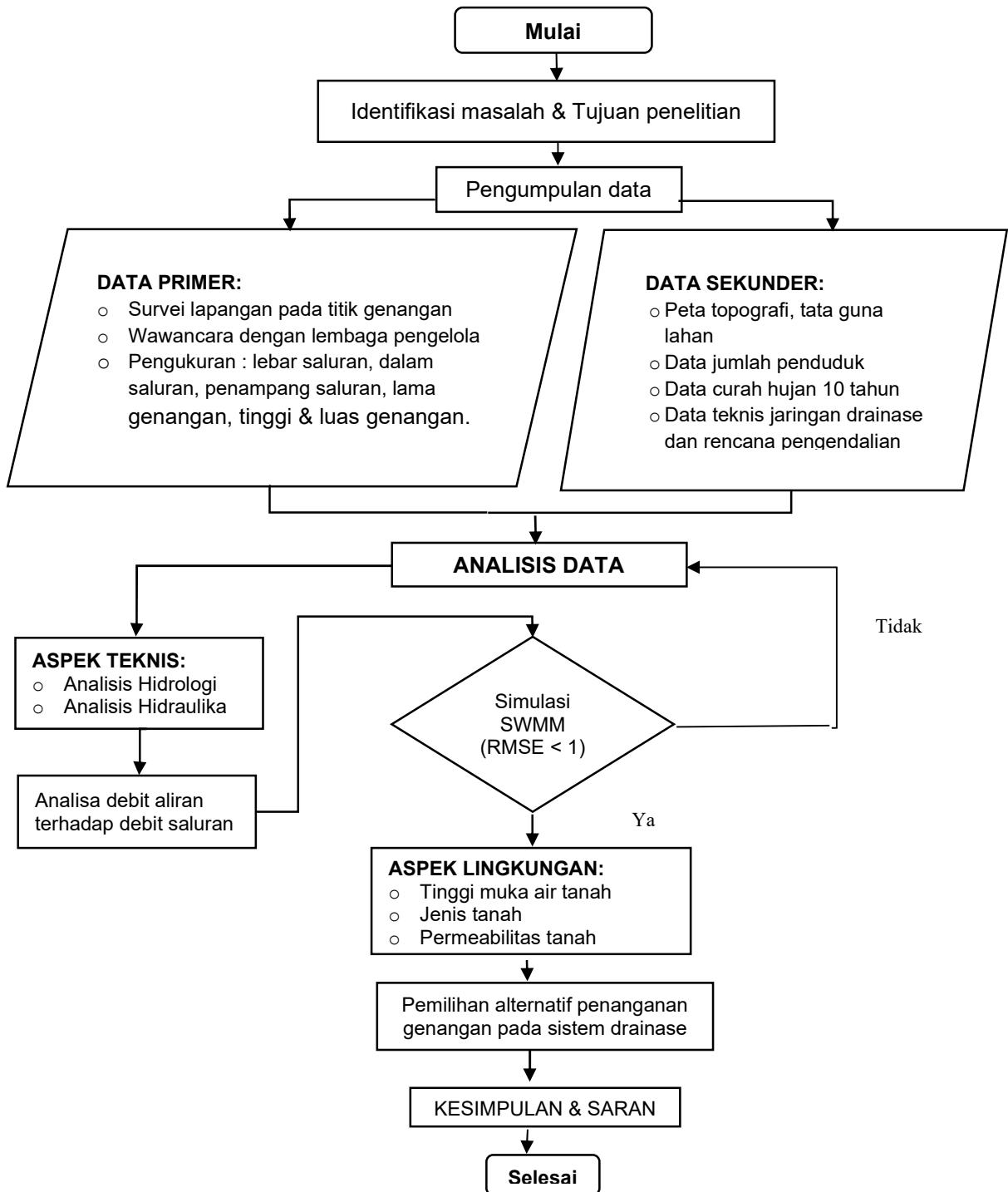
Alternatif pemilihan dilakukan dengan beberapa aspek yang dinilai seperti lebar saluran, dalam saluran, penampang saluran, tinggi sedimen, tinggi genangan, luas genangan dan lama genangan sesuai dengan karakteristik wilayah penelitian. Dari beberapa alternatif pemilihan akan dipilih satu alternatif yang paling layak untuk diterapkan di Kelurahan Katimbang kota Makassar.

2.4.4 Verifikasi menggunakan SWMM

Verifikasi alternatif penanganan menggunakan SWMM dilakukan setelah perhitungan manual hasil observasi di lapangan. Verifikasi hasil dengan SWMM secara sistematis dapat memastikan bahwa model drainase yang dibuat telah mencerminkan kondisi lapangan dengan baik dan dapat digunakan untuk mendesain solusi yang efektif dalam mengatasi genangan air di Kelurahan Katimbang, Kota Makassar. Langkah pengerjaan sebagai berikut:

1. Pengaturan *project Setup Default* yang bertujuan untuk mempermudah dalam memasukkan data setiap objek dalam sistem
2. Memasukkan gambar objek lokasi penelitian melalui menu *Backdrop*
3. Menggambar objek yaitu *subcatchment, junction, conduit, divider, dan outfalls*
4. Mengganti nilai default sesuai dengan kondisi objek melalui jendela *property editor*
5. Setelah semua data dimasukkan maka dilanjutkan dengan menjalankan simulasi pada menu *run simulation*
6. Setelah proses *running* berhasil, simulasi dapat dilihat melalui menu *report*
7. Apabila saluran yang dievaluasi tetap terjadi genangan maka dilakukan pemodelan ulang dengan cara mengubah dimensi sampai saluran tidak terjadi genangan
8. Selesai.

2.5 Alur Penelitian



Gambar 11 Diagram alur penelitian