

REVITALISASI SISTEM DRAINASE KOTA MAKASSAR



DISUSUN OLEH:
DR. ENG. MUKHSAN PUTRA HATTA, ST., MT
DR. IR. RISWAL K, ST., MT.

MAKASSAR

2021

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan hidayah-Nya sehingga kami dapat menyelesaikan penelitian yang berjudul **Revitalisasi Sistem Drainase Kota Makassar** ini tepat pada waktunya.

Kami mengucapkan terima kasih kepada Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah (BALITBANGDA) Kota Makassar yang telah mengundang kami dalam kegiatan Penelitian Revitalisasi System Drainase Kota Makassar.

Kami juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan informasi, data sekunder, kajian terdahulu sebagian acuan dalam melakukan kajian analisis yang terkait hidrologi, hidrolika, dan pola guna lahan.

Kami menyadari bahwa penelitian ini masih memerlukan kajian lanjutan sehingga dapat mendudukkan masalah drainase Kota Makassar secara terintegrasi dalam rangka melakukan pengelolaan system tata air.

Makassar, Oktober 2021

Penulis

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR	i
DAFTAR ISI	ii
DAFTAR TABEL	IV
DAFTAR GAMBAR	ii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Maksud Dan Tujuan.....	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA.....	5
2.1 Gambaran Umum Lokasi	5
2.2 Hidrologi	6
2.2.1. Analisa Hidrologi	6
2.2.2. Periode Ulang.....	7
2.2.3. Curah Hujan Rencana	9
2.2.4. Waktu Konsentrasi	11
2.2.5. Intensitas Curah Hujan	11
2.2.6. Daerah Aliran Sungai	12
2.2.7. Koefisien Limpasan	14
2.2.8. Debit Banjir Rancangan.....	16
2.3 Hidrologi Saluran	20
2.3.1 Penghantar Aliran	20
2.3.2 Elemen Gepmetri	20
2.3.3 Debit Aliran (Discharge)	21
2.3.4 Kecepatan (Velocity)	21
2.3.5 Kriteria Aliran	21
2.3.6 Sifat Aliran	22
2.3.7 Tipe Aliran	22
2.3.8 Kemiringan Titik	23
2.3.9 Energi Dalam Saluran Terbuka	23

2.4 Sistem Drainase Kota	23
2.5 Drainase Berwawasan Lingkungan.....	25
2.6 Pengendalian Banjir.....	26
2.6.1 Pengendalian Banjir Secara Struktur	28
2.6.2 Pengendalian Banjir Secara Non Struktur	28
2.7 Penelitian Terdahulu	40
BAB III METODOLOGI	43
3.1.Jenis Penelitian.....	43
3.2.Lokasi Penelitian	43
3.3.Waktu Penelitian	45
3.4.Bagan Alir Penelitian	45
3.5.Penjabaran Garis Besar Penelitian	46
3.5.1. Studi Pendahuluan	46
3.5.2. Pengumpulan Data	46
3.5.3. Analisis Hidrologi	47
3.5.4. Hidrologi HECRAS	51
3.5.5. Alternatif Penanggulangan	53
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	54
4.1 Analisis Hidrologi	54
4.1.1. Curah Hujan Rata-Rata	54
4.1.2. Perhitungan Curah Hujan Rancangan	57
4.1.3. Analisis Intensitas Curah Hujan	63
4.1.4. Perhitungan Debit Banjir Rencana	65
4.2 Kinerja Kondisi Eksisting Sungai Tallo	71
4.3 Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan Untuk Mengatasi Banjir Kota Makassar	73
BAB V PENUTUP	77
5.1 Kesimpulan.....	77
5.2 Saran	77
DAFTAR PUSTAKA	79

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Periode Ulang Hujan Rencana	9
Tabel 2.2 Keadaaan Curah Hujan dan Intensitas Hujan.....	12
Tabel 2.3 Nilai Koefisien Limpasan	16
Tabel 2.4 Hubungan Debit dan Lebar Penyangga.....	30
Tabel 4.1 Data Curah Hujan Maksimum.....	54
Tabel 4.2 Curah Hujan Rata – Rata Sub DAS Tallo Hulu.....	55
Tabel 4.3 Curah Hujan Rata – Rata Sub DAS Mangalarang	56
Tabel 4.4 Urutan Data Curah Hujan Rata – Rata Sub DAS Tallo Hulu.....	57
Tabel 4.5 Uji Chi-Kuadrat Log-Pearson III Data Curah Hujan Sub DAS Tallo Hulu.....	58
Tabel 4.6 Uji Smirnov-Kolmogorov Log Pearson III Data Curah Hujan Sub DAS Tallo Hulu.....	58
Tabel 4.7 Uji Chi-Kuadrat Gumbel Data Curah Hujan Sub DAS Tallo Hulu .	59
Tabel 4.8 Uji Smirnov-Kolmogorov Gumbel Data Curah Hujan Sub DAS Tallo Hulu	59
Tabel 4.9 Rekapitulasi Uji Distribusi Sub DAS Tallo Hulu.....	60
Tabel 4.10 Rekapitulasi Uji Distribusi Sub DAS Mangalarang	60
Tabel 4.11 Pehitungan Distribusi Log Pearson III Sub DAS Tallo	61
Tabel 4.12 Curah Hujan Rancangan Log Pearson III Sub DAS Tallo	61
Tabel 4.13 Pehitungan Distribusi Gumbel Sub DAS Mangalarang	62
Tabel 4.14 Curah Hujan Rancangan Gumbel Sub DAS Mangalarang.....	63
Tabel 4.15 Distribusi Jam – Jaman Curah Hujan Pada Sub DAS Tallo Hulu	63
Tabel 4.16 Rasio Distribusi Curah Hujan Pada Sub DAS Tallo Hulu	64
Tabel 4.17 Curah Hujan Efektif Sub DAS Tallo Hulu Berbagai Kala Ulang..	65
Tabel 4.18 Curah Hujan Efektif Sub DAS Mangalarang Berbagai Kala Ulang.....	65
Tabel 4.19 Debit Banjir Rencana Kala Ulang 5 Tahun Sub DAS Tallo Hulu	66
Tabel 4.20 Rekapitusi Debit Banjir Rencana Sub DAS Tallo Hulu.....	67
Tabel 4.21 Rekapitusi Debit Banjir Rencana Sub DAS Mangalarang	70
Tabel 4.22 Luas Daerah Terdampak Banjir Sungai Tallo	72
Tabel 4.23 Luas Daerah Terdampak Banjir Sungai Tallo Sebelum dan Setelah Adannya Kolam Retensi Hilir	76

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Administrasi dan Topografi Kota Makassar	6
Gambar 2.2 Pola Daerah Aliran Sungai	14
Gambar 2.3 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu	20
Gambar 2.4 Pengendalian Banjir Metode Struktur dan Non Struktur.....	27
Gambar 2.5 Sketsa Pengendalian Banjir Metode Struktur	28
Gambar 2.6 DAS yang masih berupa hutan (masih baik).....	30
Gambar 2.7 Bagian wilayah suatu DAS yang mulai dirubah pola guna lahannya.....	31
Gambar 2.8 Bagian wilayah suatu DAS yang sudah tak ada tanaman (sudah rusak)	31
Gambar 2.9 Terasering	33
Gambar 2.10 Buffer Strip (Garis Penyangga).....	33
Gambar 2.11 Rotasi penananaman (perubahan pola tanam)	33
Gambar 2.12 Crop cover atau penutupan lahan (dengan tanaman lebat) mengurangi erosi.....	34
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian	44
Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian	45
Gambar 3.3 Bagan Alir Analisis Hidrologi.....	48
Gambar 3.4 Bagan Alir Model Hidrolika HECRAS.....	53
Gambar 4.1 Poligon Thiessen Sub DAS Tallo Hulu dan Mangalarang	55
Gambar 4.2 Hidrograf Banjir Sub DAS Tallo Metode Nakayasu	69
Gambar 4.3 Hidrograf Banjir Sub DAS Mangalarang Metode Nakayasu	71
Gambar 4.4 Peta Daerah Banjir Sungai Tallo.....	72
Gambar 4.5 Rencana Kolam Retensi Hilir.....	73
Gambar 4.6 Potongan Melintang Pelimpah Kolam Retensi.....	74
Gambar 4.7 Potongan Menjang Pelimpah Kolam Retensi.....	74
Gambar 4.8 Potongan Melintang Tanggul Kolam dan Tanggul Sungai	75
Gambar 4.9 Peta Daerah Banjir Sungai Tallo Setalah Adanya Kolam Retensi Hilir	75

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Sejak awal peradaban manusia, air merupakan kebutuhan utama untuk memenuhi berbagai macam kebutuhan manusia dan syarat penting dalam rangka meningkatkan taraf hidup manusia. Manusia sangat membutuhkan air, baik dikonsumsi untuk air minum maupun untuk aktifitas dan keperluan yang lainnya. Namun selain, dapat memberikan manfaat yang besar, air juga dapat menimbulkan bencana – bencana dan kerugian - kerugian harta dan jiwa apabila manusia tidak lagi memperhatikan keseimbangan alam dalam bertindak dan berbuat. (Herlambang W.S., 2015)

Pertumbuhan penduduk dan kepadatan penduduk yang cepat menimbulkan tekanan terhadap ruang dan lingkungan untuk kebutuhan perumahan, kawasan industri/jasa dan fasilitas pendukungnya, yang kemudian mengubah lahan terbuka dan/atau lahan basa menjadi lahan terbangun. Perkembangan kawasan terbangun yang sangat pesat sering tidak terkendali dan tidak sesuai lagi dengan tata ruang maupun konsep pembangunan yang berkelanjutan, mengakibatkan banyak kawasan-kawasan rendah yang semula berfungsi sebagai tempat penampungan air sementara (retarding pond) dan bantaran sungai menjadi tempat hunian penduduk. (Dwijaya A, 2014).

Kota Makassar diapit dua buah sungai yaitu Sungai Tallo yang bermuara disebelah utara kota dan Sungai Jeneberang yang bermuara di bagian selatan kota. Salah satu masalah kota besar termasuk Kota Makasar yaitu jumlah penduduk terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Hal ini yang membawa dampak

kepada peningkatan kebutuhan lahan dan permintaan akan pemenuhan kebutuhan pelayanan dan prasarana kota yang dapat berdampak pada menurunnya kualitas lingkungan seperti degradasi lingkungan dan bencana alam. Salah satu2 permasalahan yang sering terjadi setiap tahunnya adalah masalah banjir. Hampir setiap tahun bencana banjir di Makassar terjadi pada setiap datangnya musim penghujan (Mahardy A.I., 2014).

Banjir terparah dalam satu dekade terakhir di Kota Makassar terjadi pada tahun 2019 yang merendam 4 kecamatan yaitu Kecamatan Panakukang, Kecamatan Manggala, dan Kecamatan Biringkanaya setinggi 50 cm hingga 200 cm. Penyebab utama dari banjir tersebut akibat intensitas curah hujan relatif tinggi pada tanggal 21 dan 22 Januari 2020 sehingga Sungai Tallo dan Jeneberang tidak mampu menampung debit banjir. Bencana banjir yang telah melanda Kota Makassar ini telah menghambat aktifitas ekonomi dan sosial masyarakat dan tidak jarang membuat infrastruktur seperti jalan, jembatan, dan perumahan menjadi rusak (BNPB, 2020).

Banjir di Kota Makassar selain dipengaruhi oleh intensitas curah hujan yang relatif tinggi, kondisi topografi yang berbentuk cekungan, debit aliran air meningkat, perubahan pola guna lahan dan pasang surut air laut, juga dipengaruhi oleh kurang memadainya sistem drainase yang ada, meskipun pemerintah kota telah memprogramkan serta membangun infrastruktur namun persoalan banjir masih saja menjadi masalah serius (Zubair A., dkk, 2020)

Mengingat salah satu penyebab permasalahan banjir di Kota Makassar adalah karena tata kelola sistem drainase yang belum maksimal. Oleh karena itu diperlukan penataan sistem drainase yang tepat untuk membebaskan Kota Makassar dari masalah banjir.

Berdasarkan hal tersebut diatas maka dibutuhkan lagi lebih jauh sebuah penelitian yang berjudul: “**Revitalisasi Sistem Drainase Kota Makassar**”

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, maka yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kinerja drainase Kota Makassar pada saat ini?
2. Bagaimana cara mengatasi banjir dengan sistem drainase berwawasan lingkungan di Kota Makassar?

1.3. Maksud dan Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah diatas, maka maksud dari penelitian ini adalah untuk mengetahui cara penataan sistem drainase berwawasan lingkungan untuk mengatasi wilayah yang terdampak banjir. Sedangkan, tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisi kinerja sistem drainase Kota Makassar pada saat ini.
2. Menganalisis cara mengatasi banjir dengan sistem drainase berwawasan lingkungan di Kota Makassar

1.4. Manfaat Penilitian

Adapun manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah:

1. Memberikan informasi kondisi dan fungsi sistem drainase perkotaan sebagai masukan kepada pemerintah/instansi pengelola untuk meningkatkan kinerja sistem drainase di Kota Makassar
2. Memberikan solusi dalam mengatasi bencana banjir dengan penerapan sistem drainase berwawasan lingkungan di Kota Makassar

1.5. Batasan Masalah

Untuk menghindari meluasnya permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini, hanya meninjau makro drainase pada Kota Makassar yaitu Sungai Tallo.

1.6. Sistematika Penulisan

Sebagai kerangka ilmiah dalam penyusunan tugas akhir ini, secara sistematis diuraikan sebagai berikut :

BAB I : Merupakan pendahuluan yang memberikan gambaran inti yang meliputi latar belakang, rumusan masalah, maksud dan tujuan, manfaat penulisan, dan sistematika penulisan.

BAB II : Tinjauan Pustaka yang berisikan teori-teori pendukung yang berhubungan dengan penelitian ini.

BAB III : Metode, menguraikan tentang metode-metode yang dilakukan serta konsep langkah penelitian pada penelitian ini.

BAB IV: Analisis dan Pembahasan, menyajikan data-data yang diperoleh berupa data primer dan data sekunder yang kemudian diolah menjadi informasi yang dibutuhkan untuk menganalisis pokok permasalahan.

BAB V : Kesimpulan dan Saran, merupakan bagian penutup dari tulisan ini. Berupa kesimpulan yang diperoleh dari hasil yang dicapai dan saran-saran yang berkaitan dengan pengembangan ilmu dari tulisan ini.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

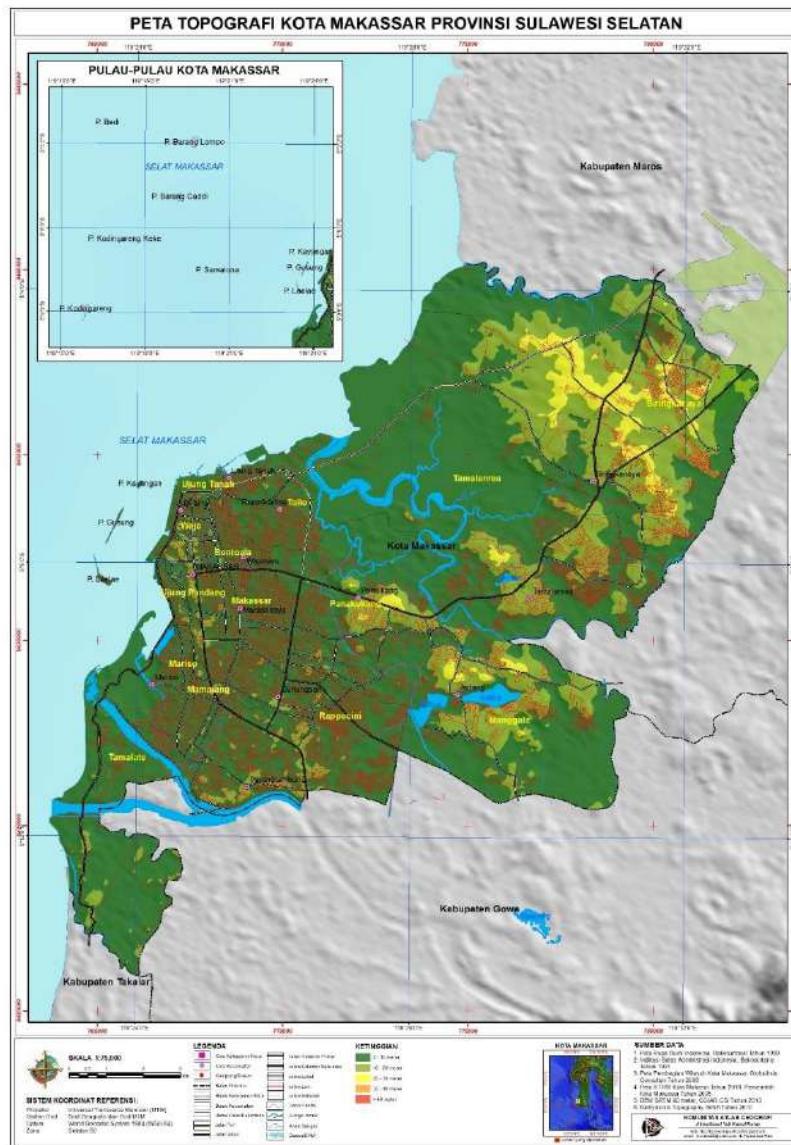
2.1. Gambaran Umum Lokasi

Makassar adalah Ibu Kota Provinsi Sulawesi Selatan, yang terletak di bagian Selatan Pulau Sulawesi yang dahulu disebut Ujung Pandang, terletak antara $119^{\circ}24'17''$ Bujur Timur dan $5^{\circ}8'6''$ Lintang Selatan. Berdasarkan posisi geografisnya Kota Makassar memiliki batas - batas sebelah utara dengan Kabupaten Maros, sebelah timur Kabupaten Maros, sebelah selatan Kabupaten Gowa dan sebelah barat adalah Selat Makassar. Luas Wilayah Kota Makassar tercatat 175,77 km persegi terdiri dari 15 kecamatan yaitu Kecamatan Mariso, Kecamatan Mamajang, Kecamatan Tamalate, Kecamatan Rappocini, Kecamatan Makassar, Kecamatan Ujung Pandang, Kecamatan Wajo, Kecamatan Bontoala, Kecamatan Ujung Tanah, Kecamatan Kep. Sangkarrang, Kecamatan Tallo, Kecamatan Panakukang, Kecamatan Manggala, Kecamatan Biringkanaya, dan Kecamatan Tamalanrea. Pada tahun 2019, jumlah kelurahan di Kota Makassat tercatat memiliki 153 kelurahan.

Kota Makassar memiliki topografi dengan kemiringan lahan 0-2°(datar) dan kemiringan lahan 3-15° (bergelombang). Kota Makassar memiliki kondisi iklim sedang hingga tropis memiliki suhu udara rata-rata berkisar antara 26°C sampai dengan 29°C.

Kota Makassar terletak di dekat dengan pantai yang membentang sepanjang koridor barat dan utara dan juga dikenal sebagai "Waterfront City" yang didalamnya mengalir beberapa sungai (Sungai Tallo, Sungai Jeneberang, dan Sungai Pampang) yang kesemuanya bermuara ke dalam kota. Kota Makassar merupakan hamparan daratan rendah yang berada pada ketinggian antara 0-25 meter dari permukaan laut. Dari kondisi ini menyebabkan

Kota Makassar sering mengalami genangan air pada musim hujan, terutama pada saat turun hujan bersamaan dengan naiknya air pasang (BPS, 2020).



Gambar 2.1 Peta Administrasi dan Topografi Kota Makassar
(Sumber : Komunitas Atlas Geografi,2010)

2.2. Hidrologi

2.2.1. Analisis Hidrologi

Pengetahuan tentang curah hujan harian maksimum dan curah hujan periode adalah topik penting dalam rekayasa khususnya dalam bidang pertambangan. Bahaya banjir dapat dikaitkan dengan

satu atau sebuah kombinasi curah hujan, geologi dan topografi (Meddi,2015). Analisis hidrologi diperlukan untuk memperoleh besarnya debit banjir rencana suatu wilayah. Debit banjir rencana merupakan debit maksimum dengan periode ulang tertentu yaitu besarnya debit maksimum yang rata-rata terjadi satu kali dalam periode ulang yang ditinjau. Untuk mendapatkan debit banjir rencana dapat dilakukan melalui dua cara yaitu melalui pengolahan data debit dan melalui pengolahan data hujan. Data curah hujan didapatkan dari stasiun hujan yang tersebar di daerah pengaliran sungai. Data yang tercatat merupakan data curah hujan harian, yang kemudian akan diolah menjadi data curah hujan harian maksimum tahunan. Salah satu hal penting dalam analisis hidrologi adalah menafsirkan probabilitas suatu kejadian yang akan datang berdasarkan data hidrologi yang diperoleh pada pencatatan yang telah lampau. Untuk maksud tersebut digunakan konsep probabilitas dalam analisis data hidrologi (Soewarno, 1995).

2.2.2. Periode Ulang

Curah hujan yang jatuh pada periode waktu tertentu pada suatu daerah sangat bervariasi dari tahun ke tahun yang bergantung pada tipe iklim dan panjangnya periode waktu tersebut. Secara umum, semakin kering iklim akan semakin besar pula variabilitas hujan pada periode tersebut. Karena variabilitas tersebut, perancangan dan pengelolaan sarana penyaliran tidak didasarkan pada nilai rata-rata jangka panjang dari data hujan tetapi pada peluang (probabilitas) tingkat curah hujan tertentu yang mungkin akan terjadi pada periode waktu tertentu.

Probabilitas yang menjadi perhatian adalah probabilitas keterlampauan (Probability of exceedence) yang menggambarkan kemungkinan hujan aktual yang terjadi pada periode tertentu akan sama atau lebih besar daripada curah hujan yang diestimasi.

Probabbility of exceedance (P_x) didefinisikan sebagai peluang terjadinya curah hujan lebih besar daripada suatu nilai X_p dan dinyatakan dalam pecahan dalam skala 0 sampai 1 atau dalam persentasi dengan skala 0 – 100%. (Gautama,2019)

Curah hujan biasanya terjadi menurut pola tertentu, curah hujan biasanya akan berulang pada suatu periode tertentu, yang dikenal dengan Periode Ulang Hujan. Periode Ulang Hujan adalah periode (tahun) ketika suatu hujan dengan tinggi intensitas yang sama kemungkinan bisa terjadi lagi. Kemungkinan terjadinya adalah satu kali dalam batas periode tertentu (tahun) ulang yang ditetapkan.

Penentuan periode ulang hujan dilakukan dengan menyesuaikan data dan keperluan pemakaian saluran yang berkaitan dengan umur tambang serta tetap memperhitungkan resiko hidrologi (Hydrology Risk). Dapat pula dilakukan perhitungan dengan metode distribusi normal menggunakan konsep peluang. Persamaan yang digunakan untuk menentukan Resiko Hidrologi (Hydrology Risk).

$$P_t = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_t}\right)^{\text{TL}} \quad \dots \quad (1)$$

Keterangan:

P_t : Risiko Hidrologi yaitu kemungkinan suatu kejadian akan terjadi minimal satu kali pada periode ulang tertentu (%)

T_t : Periode Ulang (dalam rancangan ini digunakan periode ulang 3 tahun)

T₁ : Umur sarana (5 tahun)

Penentuan periode ulang hujan dilakukan dengan menyesuaikan data dan keperluan pemakaian saluran yang berkaitan dengan umur sarana. Penetapan periode ulang hujan (PUH) lebih ditekankan pada masalah kebijakan yang perlu diambil sesuai dengan perencanaan (Verworn, et al., 2011). Menurut

(Kite,1997) acuan untuk menentukan PUH dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2.1. Periode Ulang Hujan Rencana

Keterangan	Periode Ulang Hujan
Daerah Terbuka	0,5
Sarana penyaliran	2-5
Lereng-lereng Tambang dan Penimbunan	5-10
Sumuran Utama	10-25
Pemindahan Aliran Sungai	100

(Sumber: Kite, 1997)

2.2.3. Curah Hujan Rencana

Pengolahan data curah hujan dimaksudkan untuk mendapatkan data curah hujan yang siap pakai untuk suatu perencanaan sistem penyaliran. Pengolahan data ini dapat dilakukan dengan beberapa metode, salah satunya adalah metode Gumbell, yaitu suatu metode yang didasarkan atas distribusi normal. Distribusi Gumbell adalah dianggap paling tepat karena dilengkapi dengan curah hujan harian maksimum untuk variasi periode waktu dan periode hujan berulang (Nigam,2014). Gumbell beranggapan bahwa distribusi variable-variabel hidrologis tidak terbatas, sehingga harus digunakan distribusi dari harga-harga yang terbesar (harga maksimal). Rumus perhitungan curah hujan rencana dengan persamaan Gumbell:

1. Perhitungan curah hujan harian rata rata

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{n} \dots \dots \dots \quad (2)$$

2. Perhitungan standard deviation (Sd)

$$Sd = \sqrt{\frac{\sum (Xi - X)^2}{n-1}} \quad \dots \dots \dots \quad (3)$$

Perhitungan Reduced Mean (Yn), Reduced Variate (Yr),
Reduced Standard Deviation (Sn)

$$Yn = -\ln \left[-\ln \left\{ \frac{(n+1)-m}{n+1} \right\} \right] \quad \dots \dots \dots \quad (4)$$

$$Yr = -\ln \left[-\ln \left\{ \frac{T-1}{T} \right\} \right] \quad \dots \dots \dots \quad (5)$$

$$Sn = \sqrt{\frac{\sum (Yni - Yn)^2}{n-1}} \quad \dots \dots \dots \quad (6)$$

3. Perhitungan Coeficient of dispertion

$$k = (Yr - Yn) / Sn \quad \dots \dots \dots \quad (7)$$

4. Penentuan Nilai Curah Hujan Rencana

$$Xt = \bar{X} + \frac{Sx}{Sn} (Yr - Yn) \text{ atau } Xt = \bar{X} + k \cdot Sd \quad \dots \dots \dots \quad (8)$$

Keterangan :

Xt : Curah Hujan Rencana Maksimum (mm/hari)

\bar{X} : Curah Hujan Rata – Rata (mm/hari)

Xi : Curah hujan maksimum tahunan (mm/hari)

n : Jumlah sampel (tahun)

m : Urutan sampel dari nilai terbesar ke terkecil

T : Periode ulang (Tahun)

Sn : Reduced Standard Deviation

Yn : Reduced Mean

Yr : Reduced Variate

Sd : Standard Deviation

K : Coefficient of dispersion

2.2.4. Waktu Kosentrasi

Waktu konsentrasi dapat juga dihitung dengan membedakannya menjadi dua komponen (Wesli, 2008), yaitu:

- a. Inlet time (to), yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir di ataspermukaan tanah menuju saluran drainase.
 - b. Conduit time (td), yaitu waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir disepanjang saluran sampai titik kontrol yang ditentukan di bagian hilir.

Perencanaan dimensi saluran drainase, saluran pembawa air limbasan tambang ke settling pond, durasi hujan dapat didekati dengan waktu konsentrasi. Waktu Konsentrasi merupakan waktu yang diperlukan oleh air hujan yang jatuh di bagian hulu hingga sampai ke titik kontrolnya. (Suripin,2004)

Waktu konsentrasi dapat dihitung dengan persamaan Kirpich (Chow et al., 1988):

$$tc = 0,0663 \times L 0,77 \times S - 0,385 \quad \dots \dots \dots \quad (9)$$

Keterangan:

tc = waktu konsentrasi (jam)

L = panjang saluran utama dari hulu sampai penguras (km)

S = kemiringan (%).

2.2.5. Intensitas Curah Hujan

Intensitas Curah Hujan adalah jumlah ujan per satuan waktu yang relatif singkat, biasanya satuan yang digunakan adalah mm/jam. Intensitas Curah hujan biasanya dinotasikan dengan huruf

"I". Keadaan curah hujan dan intensitas menurut Takeda dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Sosrodarsono dan Takeda, 2003):

Tabel 2.2. Keadaan Curah Hujan dan intensitas hujan

Keadaan Curah Hujan	Intensitas Curah Hujan (mm)	
	1 jam	24 jam
Hujan sangat ringan	< 1	< 5
Hujan Ringan	1-5	5-20
Hujan Normal	5-10	20-50
Hujan Lebat	10-20	50-100
Hujan sangat lebat	> 20	> 100

(Sumber : Sosrodarsono dan Takeda, 2003)

Intensitas curah hujan ditentukan dengan rumus Mononobe, karena data yang tersedia di daerah penelitian hanya terdapat data curah hujan harian.

Keterangan :

| : Intensitas Curah Hujan (mm/jam)

T : Lamanya Curah Hujan / Durasi Curah Hujan (jam)

R₂₄ : Curah Hujan Rencana dalam satu periode ulang yang nilainya didapat dari tahapan sebelumnya (tahapan analisis frekuensi).

2.2.6. Daerah Aliran Sungai

Daerah Aliran Sungai (DAS) adalah daerah yang dibatasi oleh punggung-punggung gunung atau pegunungan dimana air hujan yang jatuh di daerah tersebut akan mengalir menuju sungai utama pada titik atau stasiun yang ditinjau. DAS ditentukan dengan menggunakan peta topografi yang dilengkapi dengan garis-garis

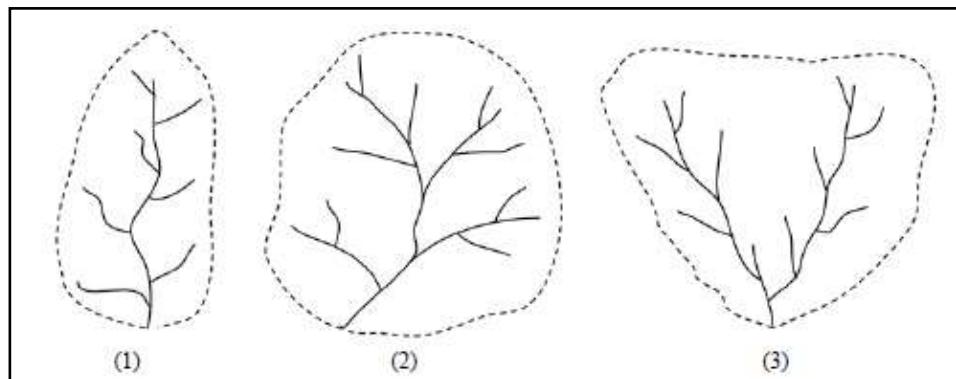
kontur. Garis-garis kontur tersebut untuk menentukan arah limpasan permukaan. Limpasan berasal dari titik-titik tertinggi dan bergerak menuju titik-titik yang lebih rendah dalam arah tegak lurus dengan garis-garis kontur (Triatmodjo, 2008).

Pola sungai menentukan bentuk suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Bentuk DAS memengaruhi waktu konsentrasi air hujan yang mengalir menuju outlet. Menurut (Roche, 1963) sebuah DAS dapat dianggap mempresentasikan bentuk persegi disebut persegi equivalen. Titik keluaran DAS ada pada sisi lebar persegi ekuivalen dan garis kontur sejajar terhadap sisi tersebut.

Semakin bulat bentuk DAS berarti semakin singkat waktu konsentrasi yang diperlukan, sehingga semakin tinggi fluktuasi banjir yang terjadi. Sebaliknya semakin lonjong bentuk DAS, waktu konsentrasi yang diperlukan semakin lama sehingga fluktuasi banjir semakin rendah. Menurut Sosrodarsono dan Takeda (2003) berdasarkan perbedaan debit banjir yang terjadi, bentuk DAS dapat dibedakan menjadi tiga bentuk yaitu:

1. DAS berbentuk bulu burung memiliki bentuk yang sempit dan memanjang, dimana anak sungai (sub DAS) mengalir memanjang di sebelah kanan dan kiri -sungai utama. Umumnya memiliki debit banjir yang kecil tetapi berlangsung cukup lama karena suplai air datang silih berganti dari masing-masing anak sungai.
2. DAS berbentuk radial Sebaran aliran sungai membentuk seperti kipas atau menyerupai lingkaran. Anakanak sungai mengalir dari segala penjuru DAS dan tetapi terkonsentrasi pada satu titik secara radial. Akibat dari bentuk DAS yang demikian, debit banjir yang dihasilkan umumnya akan besar, dengan catatan hujan terjadi merata dan bersamaan di seluruh DAS tersebut.
3. DAS berbentuk paralel Sebuah DAS yang tersusun dari percabangan dua sub-DAS yang cukup besar di bagian hulu, tetapi menyatu di bagian hilirnya. Masing-masing sub-DAS tersebut dapat memiliki

karakteristik yang berbeda, ketika terjadi hujan di kedua sub-DAS tersebut secara bersamaan, maka akan berpotensi terjadi banjir yang relatif besar.



Gambar 2.2 Pola Daerah Aliran Sungai
(Sumber : Sosrodarsono dan Takeda, 2003)

2.2.7. Koefisien Limpasan

Limpasan adalah apabila intensitas yang jatuh di suatu DAS melebihi kapasitas infiltrasi, setelah laju infiltrasi terpenuhi air akan mengisi cekungan pada permukaan tanah. Atau limpasan permukaan terjadi ketika laju hujan lebih besar dari pada laju infiltrasi dan persamaan limpasan permukaan selalu dikembangkan berdasarkan pada kondisi tersebut.

Nilai koefisien limpasan berkisar antara 0 sampai 1. Nilai 0 menunjukkan bahwa semua air hujan terdistribusi masuk kedalam tanah, sedangkan nilai koefisien air larian 1 menunjukkan bahwa semua air hujan mengalir sebagai air larian. Hal ini berarti semakin besarnya nilai koefisien air larian dan tidak terserap kedalam tanah. Nilai koefisien air larian juga menentukan bagian curah hujan yang akan mengalir sebagai air larian. Besar kecilnya nilai koefisien limpasan tergantung pada permeabilitas dan kemampuan tanah dalam menampung air. Nilai koefisien limpasan kecil menunjukkan bahwa sebagian besar air ditampung untuk waktu tertentu,

sementara daerah dengan nilai C besar menunjukkan bahwa hampir semua air hujan akan menjadi air larian. (Asdak,2010)

Koefisien limpasan merupakan bilangan yang menunjukkan perbandingan besarnya limpasan permukaan dengan intensitas curah hujan yang terjadi pada tiap-tiap daerah tangkapan hujan. Beberapa faktor yang harus diperhatikan dalam penentuan koefisien limpasan antara lain (Hidayat,2002):

1. Kerapatan vegetasi

Daerah dengan vegetasi yang rapat, akan memberikan nilai C yang kecil, karena air hujan yang masuk tidak dapat langsung mengenai tanah, melainkan akan tertahan oleh tumbuh-tumbuhan, sedangkan tanah yang gundul akan memberi nilai C yang besar.

2. Tata guna lahan

Alih fungsi lahan mengakibatkan adanya perubahan limpasan permukaan (Overlandflow) dan fluktuasi aliran sungai (Setyowati,2010). Perubahan tata guna lahan menyebabkan perubahan sifat biofisik suatu daerah aliran sungai (Sucipto,2008). Lahan persawahan atau rawa-rawa akan memberikan nilai C yang kecil daripada daerah hutan atau perkebunan, karena pada daerah persawahan misalnya padi, air hujan yang jatuh akan tertahan pada petak-petak sawah, sebelum akhirnya menjadi limpasan permukaan.

3. Kemiringan tanah

Sudut lereng menentukan kesetimbangan antara limpasan permukaan dan infiltrasi. Sudut lereng semakin besar berakibat pada dominasi jumlah limpasan permukaan besar terhadap infiltrasi. Wilayah dengan liyrjutmpasan permukaan besar dan kecepatan aliran permukaan tinggi memiliki ancaman erosi yang besar (Sartohadi,2013).

Koefisien limpasan tiap-tiap daerah berbeda (Tabel 2.3). Dalam penentuan koefisien limpasan faktor-faktor yang harus diperhatikan adalah (Perry,1967):

Tabel 2.3 Nilai Koefisien Limpasan

Kondisi Daerah	Nilai C
Pegunungan yang curam	0,75 – 0,90
Pegunungan tersier	0,70 – 0,80
Tanah bergelombang dan hutan	0,50 – 0,75
Tanah dataran yang ditanami	0,45 – 0,60
Persawahan yang dialiri	0,70 – 0,80
Sungai di daerah pegunungan	0,75 – 0,85
Sungai kecil di dataran	0,45 – 0,75
Sungai besar di dataran	0,50 – 0,75

(Sumber : Perry, 1997)

2.2.8. Debit Banjir Rancangan

Untuk mencari hubungan antara hujan yang jatuh dan debit yang terjadi maka dilakukan pengalih ragaman dari data hujan menjadi debit aliran. Dikarenakan tidak tersedianya debit pengamatan banjir di lokasi, maka analisis debit banjir digunakan pendekatan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) dan Metode Rasional.

Penentuan debit banjir menggunakan metode Rasional terdiri dari:

1. Metode Melchior
2. Metode Weduwen
3. Hasper
4. Metode Rasional Jepang

Penentuan debit banjir menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik terdiri dari:

1. Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu
2. Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Snyder
3. Hidrograf satuan Sintetik (HSS) Gamma 1

Dalam penelitian ini penulis akan memakai metode Nakayasu. Parameter yang diperlukan dalam analisa menggunakan Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu antara lain:

1. Tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak hidrograf
(Time to Peak Magitude)
 2. Tenggang waktu dari titik berat hujan sampai titik berat hidrograf
(Time Lag)
 3. Tenggang waktu hidrograf (Time Base of Hydrograph)
 4. Luas daerah pengaliran (Catchment Area)
 5. Panjang alur sungai utama terpanjang (Length of The Longest Channel)
 6. KoEfisien pengaliran (Run off Coefficient)

Debit Puncak Banjir:

Dimana:

Q_p = **Q_{maks}**, merupakan debit puncak banjir (m³/dtk)

C = koefisien aliran (= 1)

A = luas DAS (sampai ke outlet) (km^2)

Ro = hujan satuan (mm)

Tp = tenggang waktu dari permulaan hujan sampai puncak banjir
(jam)

$T_{0,3}$ = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit puncak sampai menjadi 30 % dari debit puncak (jam).

Persamaan Hidrograf Satuan:

Pada Kurva Naik (Rising limb)

$$Q_t = Q_{\max} \left(\frac{t}{Tp} \right)^{2.4} \quad \dots \dots \dots \quad (13)$$

Dimana :

Q_t = Unsur aliran sebelum mencapai debit puncak (m^3/det)

t = Waktu (jam)

Pada Kurva Turun (Recession limb)

$$Q_t = Q_{\max} * 0.3^{\frac{t-TP+0.5T0.3}{1.5T0.3}} \dots \quad (17)$$

Unsur-unsur waktu untuk perhitungan debit pada persamaan hidrograf satuan sintetik Nakayasu adalah:

Dimana :

Tp = tenggang waktu (time lag) dari permulaan hujan sampai

puncak banjir (jam)

tg = waktu konsentrasi hujan (jam)

$T_{0,3}$ = waktu yang diperlukan oleh penurunan debit, dari debit

puncak sampai menjadi 30% dari debit puncak (jam)

α = parameter hidrograf

$tr = 0,5 \times tg$ sampai $1 \times tg$

$\text{tg} = 0.4 + 0.058 \cdot L$ untuk $L \geq 15 \text{ km}$

$\text{tg} = 0,21 \cdot L^{0,7}$. untuk $L \leq 15$ km

$$tr = 0,5 \cdot tg s/d \quad tr = tg.$$

Dimana :

tr = Waktu curah hujan

tg = Waktu konsentrasi (jam)

L = Panjang sungai utama (km)

Untuk :

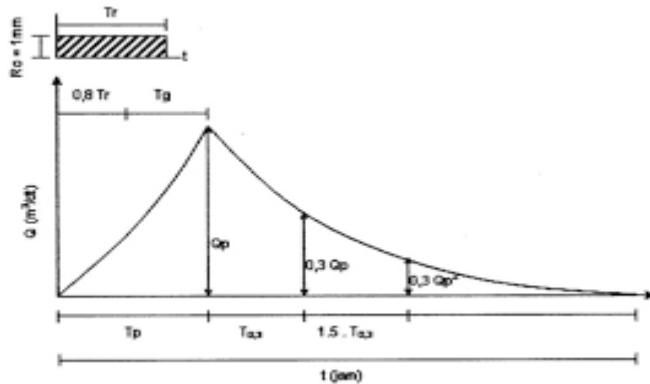
$\alpha = 2,0$: Daerah pengaliran biasa

$\alpha = 1,5$: Bagian naik hidrograf yang lambat dan bagian menurun

yang cepat.

A = 3,0 : Bagian naik hidrograf yang cepat dan bagian menurun

yang lambat. (Elza Patricia Siby, 2013)



Gambar 2.3 Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

(Sumber : Triatmodjo, Bambang, 2014)

2.3. Hidrolika Saluran

2.3.1. Pengantar Aliran

Air mengalir dari hulu ke hilir (kecuali ada gaya yang menyebabkan aliran ke arah sebaliknya) hingga mencapai suatu elevasi permukaan air tertentu, misalnya permukaan air di danau atau permukaan air di laut (Karnisah, 2010).

2.3.2. Elemen Geometri

Jari - jari hidrolik (R) adalah luas penampang dibagi keliling basah. Kedalaman hidrolik dari suatu penampang aliran adalah luas penampang dibagi lebar permukaan.

Faktor penampang untuk perhitungan aliran kritis adalah perkalian dari luas penampang aliran (A) dan akar dari kedalaman hidrolik (\sqrt{D}) disimbolkan sebagai Z . Faktor penampang untuk

perhitungan aliran seragam adalah perkalian dari luas penampang aliran dan pangkat 2/3 dari jari-jari hidrolik

dengan V adalah kecepatan, R adalah jari-jari hidrolik, n adalah koefisien manning dan s adalah kemiringan saluran.

2.3.3. Debit Aliran (Discharge)

Debit aliran adalah volume air yang mengalir melalui suatu penampang tiap satuan waktu dan simbol/notasi yang digunakan adalah Q .

dengan Q adalah debit, A adalah luas penampang dan V adalah kecepatan

2.3.4. Kecepatan (Velocity)

Kecepatan aliran (v) dari suatu penampang aliran tidak sama di seluruh penampang aliran, tetapi bervariasi menurut tempatnya.

2.3.5. Kriteria Aliran

Aliran dikatakan sebagai aliran mantap (*steady flow*) apabila variabel dari aliran (seperti kecepatan V , tekanan p , rapat massa r , tumpang aliran A , debit Q dan sebagainya) di sembarang titik pada zat cair tidak berubah dengan waktu. Sebaliknya apabila variabel-variabel dari aliran air berubah menurut waktu disebut sebagai aliran tak mantap (*unsteady flow*).

Aliran seragam (*uniform flow*) merupakan jenis aliran dengan kecepatan di sepanjang saluran adalah tetap, dalam hal ini kecepatan aliran tidak tergantung pada tempat atau tidak berubah menurut tempatnya

2.3.6. Sifat Aliran

Menurut hasil percobaan yang dilakukan oleh Reynold, apabila angka Reynold kurang dari 2000, aliran biasanya merupakan aliran laminer. Apabila angka Reynold lebih besar dari 4000, aliran biasanya adalah turbulen. Sedangkan apabila berkisar antara 2000 dan 4000 aliran dapat laminer atau turbulen tergantung pada faktor-faktor lain yang mempengaruhi (Kodoatie, 2009).

dengan Re adalah angka reynold, V adalah kecepatan, R adalah jari-jari hidrolik dan adalah viskositas.

2.3.7. Tipe Aliran

Apabila harga Fr kurang dari 1, tipe aliran tersebut adalah aliran sub-kritis (subcritical flow). Sebaliknya apabila harga Fr lebih dari 1, tipe alirannya adalah aliran super kritis (supercritical flow).

Dengan F_r adalah angka froude, v adalah kecepatan, g adalah gravitasi, L adalah panjang karakteristik dan D adalah kedalaman hidrolik.

2.3.8. Kemiringan Titik

Menurut Triatmodjo (2008b), kemiringan dasar saluran yang diperlukan untuk menghasilkan aliran seragam di dalam saluran pada kedalaman kritis disebut dengan kemiringan kritis I_c . Apabila

aliran seragam terjadi pada saluran dengan kemiringan dasar lebih kecil dari kemiringan kritis ($I_0 < I_c$), maka aliran adalah sub kritis. Apabila kemiringan dasar lebih besar dari kemiringan kritis ($I_0 > I_c$), maka aliran adalah super kritis.

dengan I_c adalah kemiringan kritis, g adalah gravitasi, D adalah kedalaman hidrolik dan R adalah jari-jari hidrolik.

2.3.9. Energi Dalam Saluran Terbuka

Jumlah tinggi energi pada penampang di hulu akan sama dengan jumlah tinggi energi pada penampang hilir, hal ini dinyatakan dengan persamaan Bernoulli.

2.4. Sistem Drainase Kota

Drainase yang berasal dari bahasa Inggris Drainage mempunyai arti mengalirkan, menguras, membuang, atau mengalihkan air. 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/lahan tidak terganggu. Drainase dapat juga diartikan sebagai usaha untuk mengontrol kualitas air tanah dalam kaitannya dengan salinitas. Jadi, drainase menyangkut tidak hanya air permukaan tapi juga air tanah [Suripin, 2004].

Sistem Drainase bisa didefinisikan sebagai berikut as consisting of the fixed facilities, the flow entities, and the control

system that permit people and goods to overcome the friction of geographical space efficiently in order to participate in a timely manner in some desired activity [<http://www.ctre.iastate.edu/educweb/ce451/lectures/intro/lecture.htm>, 2001].

Secara umum, sistem drainase dapat didefinisikan sebagai serangkaian bangunan air yang berfungsi untuk mengurangi dan/atau membuang kelebihan air dari suatu kawasan atau lahan, sehingga lahan dapat difungsikan secara optimal.

Bangunan sistem drainase terdiri dari saluran penerima (interceptor drain), saluran pengumpul (collector drain), saluran penerima (conveyor drain), saluran induk (main drain) dan badan air penerima (receiving waters). Di sepanjang sistem sering dijumpai bangunan lainnya, seperti gorong-gorong, siphon, jembatan air (aqueduct), pelimpah, pintu-pintu air, bangunan terjun, kolam tando, dan stasiun pompa [Suripin, 2004].

Fungsi saluran ini adalah untuk mengalirkan limpasan air hujan ke badan peresap. Dan tujuannya adalah untuk menjaga keseimbangan sistem tata air di lingkungan. Persyaratan umum drainase saluran adalah (1) Air yang masuk adalah air hujan yang tidak tercemar, bukan air limbah (2) mampu mengalirkan serta meresapkan sebagian air hujan kedalam tanah dengan kecepatan tertentu (3) dipasang di atas tanah yang stabil

Sistem jaringan drainase umumnya terbagi menjadi dua bagian sebagai berikut (Suripin, 2004):

1. Sistem drainase makro adalah saluran yang menampung dan mengalirkan air dari suatu daerah tangkapan air hujan. Pada umumnya sistem drainase makro ini disebut juga sebagai sistem saluran pembuangan utama (major system) atau drainase primer. Sistem jaringan ini menampung aliran yang berskala besar dan luas seperti saluran drainase primer, kanal-kanal atau sungai sungai.

2. Sistem drainase mikro adalah sistem saluran dan bangunan pelengkap drainase yang menampung dan mengalirkan air dari 12 daerah tangkapan hujan. Secara keseluruhan yang termasuk dalam sistem drainase mikro adalah saluran di sepanjang sisi jalan, saluran/selokan air hujan di sekitar bangunan, goronggorong, saluran drainase kota dan lain sebagainya dimana debit air yang dapat ditampungnya tidak terlalu besar.

2.5. Drainase Berwawasan Lingkungan

Drainase berwawasan lingkungan dimaksudkan sebagai upaya mengelola kelebihan air dengan cara meresapkan sebanyak-banyaknya air ke dalam tanah secara alamiah atau mengalirkan air ke sungai dengan tanpa melampaui kapasitas sungai sebelumnya (Kementerian PU, 2011). Arahan penanganan drainase dapat dibagi menjadi 3 wilayah penanganan sebagai berikut (Kementerian PU, 2011):

1. Wilayah Hulu

Limpasan air hujan melalui saluran drainase didirikan terlebih dahulu ke waduk/kolam tampungan untuk diresapkan (pola retensi sebagai upaya pengawetan/konservasi air)/ Kemudian kelebihan limpasannya air dialirkan ke badan air terdekat.

2. Wilayah Tengah

Limpasan air hujan melalui saluran drainase dialirkan terlebih dahulu ke waduk/kolam tampungan untuk ditampung sementara atau diresapkan apabila memungkinkan (pola retensi dan pola detensi) Kemudian kelebihan limpasannya airnya dialirkan ke badan air terdekat.

3. Wilayah Hilir

Air limpasan saluran dialirkan melalui drainase ke waduk/kolam untuk penampungan sementara (pola detensi) sebelum dialirkan atau dipompa ke badan air (sungai atau laut).

Metode Ecodrainage dapat dilakukan dengan beberapa cara yaitu:

1. Lubang Resapan Biopori
2. Sumur Resapan
3. Kolam Konservasi (detensi atau retensi)
4. Parit Infiltrasi
5. Rorak
6. Side River Polder
7. Penampung Air Hujan (PAH)

2.6. Pengendalian Banjir

Kegiatan yang dilaksanakan sebelum banjir terjadi disebut kegiatan pengendalian banjir. Pengendalian banjir untuk suatu daerah adalah unik. Hal ini disebabkan sistem pengendalian banjir suatu daerah belum tentu atau tidak dapat diterapkan pada daerah lain. Tindakan - tindakan yang dapat dilakukan untuk pengendalian banjir antara lain :

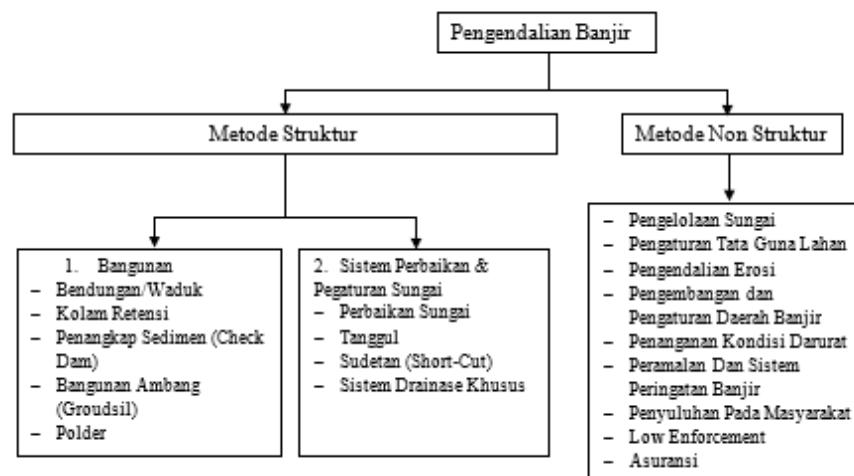
- a. Pengurangan puncak banjir, yang pada umumnya dengan membuat waduk (*reservoir*).
- b. Lokalisir aliran banjir di dalam suatu alur sungai yang ditetapkan dengan tanggul, tembok banjir, atau suatu saluran tertutup.
- c. Penurunan permukaan puncak banjir dengan menaikkan besarnya kecepatan, yaitu dengan perbaikan alur.
- d. Pengalihan air banjir melalui sudutan (*short cut*) atau saluran banjir (*flood way*) ke dalam alur sungai lain atau bahkan ke daerah aliran sungai lain.
- e. Pengurangan limpasan banjir dengan pengolahan lahan.

f. Pengolahan dataran banjir.

Pada hakekatnya pengendalian banjir merupakan suatu hal yang kompleks. Dimensi rekayasanya (engineering) melibatkan banyak disiplin ilmu teknik antara lain: hidrologi, hidrolika, erosi DAS, teknik sungai, morfologi & sedimentasi sungai, rekayasa sistem pengendalian banjir, sistem drainase kota, bangunan air, dll. Disamping itu suksesnya program pengendalian banjir juga tergantung dari aspek lainnya yang menyangkut sosial, ekonomi, lingkungan, institusi, kelembagaan, hukum dan lainnya.

Cara penanganan pengendalian banjir dapat dilakukan secara struktur dan non struktur. Cara ini harus ditinjau dalam satu sistem pengaliran sungai.

Secara lebih detail kedua metode ini ditunjukkan dalam Gambar 2.4.

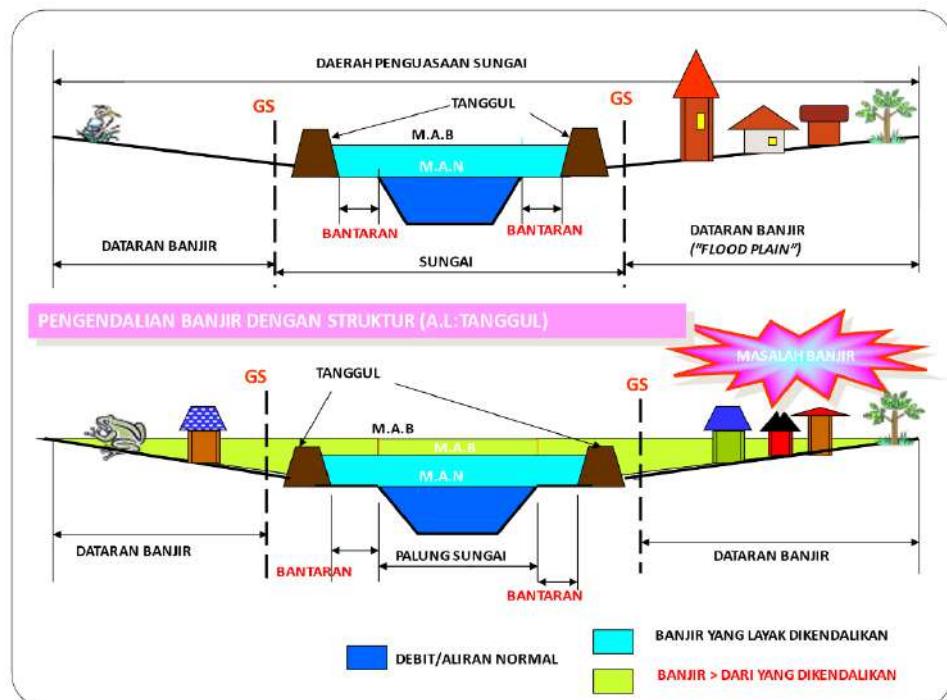


Gambar 2.4 Pengendalian Banjir Metode Struktur dan Non Struktur

(Sumber : Robert J. Kodoatie & Roestam Sjarief, "Pengelolaan Banjir Terpadu")

2.6.1. Pengendalian Banjir Secara Struktur

Pengendalian banjir secara struktur merupakan upaya pengendalian banjir dengan menggunakan bangunan struktur untuk mengendalikan banjir dari luapan sungai.



Gambar 2.5 Sketsa Pengendalian Banjir Metode Struktur

(Sumber : *Modul Metode Pengendalian Banjir*, 2017)

2.6.2. Pengendalian Banjir Secara Non Struktrur

Analisis pengendalian banjir dengan tidak menggunakan bangunan pengendali akan memberikan pengaruh cukup baik terhadap regim sungai. Contoh aktifitas penanganan tanpa bangunan adalah sebagai berikut:

- 1) Pengelolaan DAS.

Pengelolaan DAS berhubungan erat dengan peraturan, pelaksanaan dan pelatihan.

Kegiatan penggunaan lahan dimaksudkan untuk menghemat dan menyimpan atau

menahan air dan konservasi tanah. Pengelolaan DAS mencakup aktivitas-aktivitas

berikut ini:

- Pemeliharaan vegetasi di bagian hulu DAS.
- Penanaman vegetasi untuk mengendalikan atau mengurangi kecepatan aliran permukaan dan erosi tanah.
- Pemeliharaan vegetasi alam, atau penanaman vegetasi tahan air yang tepat, sepanjang tanggul drainase, saluran-saluran dan daerah lain untuk pengendalian aliran yang berlebihan atau erosi tanah.
- Mengatur secara khusus bangunan-bangunan pengendali banjir (misal check dam) sepanjang dasar aliran yang mudah tererosi.
- Pengelolaan khusus untuk mengantisipasi aliran sedimen yang dihasilkan dari kegiatan gunung berapi yang dikenal dengan nama debris flow.

Sasaran penting dari kegiatan pengelolaan DAS adalah untuk mencapai keadaankeadaan berikut:

- Mengurangi debit banjir di daerah hilir.
- Mengurangi erosi tanah dan muatan sedimen di sungai.
- Meningkatkan produksi pertanian yang dihasilkan dari penataan guna tanah dan perlindungan air.
- Meningkatkan lingkungan di DAS dan daerah sempadan sungai.

Sasaran tersebut harus didukung oleh aktifitas-aktifitas lainnya, seperti:

- Pembatasan penebangan hutan dan kebijakan-kebijakan yang mencakup atau menganjurkan penghutanan kembali daerah-daerah yang telah rusak.

- Rangsangan atau dorongan, untuk mengembangkan tanaman yang tepat dan menguntungkan secara ekonomi (misal cacao, turi, jambu mete, lamtoro gung, buah-buahan). Dengan kata lain pohon tak ditebang tapi diambil buahnya.
- Pemilihan cara penanaman yang dapat memperlambat aliran dan erosi.
- Pertanian bergaris (sistem hujan), dan metode teras (bertingkat) sehingga mengurangi pengaliran dan erosi tanah dari daerah pertanian.
- Tidak ada pertanian atau kegiatan-kegiatan pengembangan lain di sepanjang bantaran sungai.
- Minimal daerah penyangga atau daerah vegetasi yang tidak boleh terganggu di sepanjang jalan air, dapat mengacu pada tabel di bawah ini.

Tabel 2.4. Hubungan Debit Dan Lebar Penyangga

Debit Rata-rata (Q)	Lebar Penyangga Minimal
Kurang dari $1 \text{ m}^3/\text{dt}$	5 m
$1 \text{ m}^3/\text{dt} < Q > 5 \text{ m}^3/\text{dt}$	10 m
Lebih dari $5 \text{ m}^3/\text{dt}$	15 m

(Sumber : Modul Pehngendalian Banjir. 2017)



Gambar 2.6 DAS yang masih berupa hutan (masih baik)



Gambar 2.7 Bagian wilayah suatu DAS yang mulai dirubah pola guna lahananya



Gambar 2.8 Bagian wilayah suatu DAS yang sudah tak ada tanaman (sudah rusak)

2) Pengaturan tata guna lahan.

Pengaturan tata guna lahan di DAS dimaksudkan untuk mengatur penggunaan lahan, sesuai dengan rencana pola tata ruang yang ada. Hal ini untuk menghindari penggunaan lahan yang tidak terkendali, sehingga mengakibatkan kerusakan DAS yang merupakan daerah tada hujan. Pada dasarnya pengaturan penggunaan lahan di DAS dimaksudkan untuk:

- Untuk memperbaiki kondisi hidrologis DAS, sehingga tidak menimbulkan banjir pada musim hujan dan kekeringan pada musim kemarau.
- Untuk menekan laju erosi daerah aliran sungai yang berlebihan, sehingga dapat menekan laju sedimentasi pada alur sungai di bagian hilir.

Penataan masing-masing kawasan, proporsi masing-masing luas penggunaan lahan dan cara pengelolaan masing-masing kawasan perlu mendapat perhatian yang baik. Daerah atas dari daerah aliran sungai yang merupakan daerah penyangga, yang berfungsi sebagai recharge atau pengisian kembali air tanah, perlu diperhatikan luasan masing-masing kawasan. Misalnya untuk luasan kawasan hutan minimum/kira-kira 30% dari luas daerah aliran sungai.

Sedangkan untuk mencegah adanya laju erosi DAS yang tinggi perlu adanya cara pengelolaan yang tepat, untuk masing-masing kawasan. Pengelolaan lahan tersebut dapat meliputi, sistem pengelolaan, pola tanam dan jenis tanaman yang disesuaikan jenis tanah, kemampuan tanah, elevasi dan kelerengan lahan. Karena dengan adanya erosi lahan yang tinggi akan menentukan besarnya angkutan sedimen di sungai dan mempercepat laju sedimentasi di sungai, terutama di bagian hilir. Dengan adanya sedimentasi di sungai akan merubah penampang sungai dan memperkecil kapasitas pengaliran sungai.

3) Pengendalian erosi.

Pengendalian erosi pada prinsipnya merupakan tindakan-tindakan untuk mencegah dan mengendalikan erosi baik di DAS maupun di tebing sungai. Beberapa cara pengendalian erosi di DAS diantaranya ditunjukkan dalam gambar berikut :



Gambar 2.9 Terasering



Gambar 2.10 Buffer Strip (Garis Penyangga)



Gambar 2.11 Rotasi penanaman (perubahan pola tanam)



Gambar 2.12 Crop cover atau penutupan lahan (dengan tanaman lebat) mengurangi erosi

4) Pengembangan dan pengaturan daerah banjir.

Masalah yang timbul dari penggunaan lahan daerah genangan diantaranya adalah sebagai berikut:

- Masyarakat yang bermukim pada daerah-daerah genangan akan kehilangan pencaharian yang ditimbulkan banjir.
- Pemanfaatan intensif daerah-daerah genangan untuk mata pencaharian, industri dan kegiatan lain akan meningkatkan potensi bagi kerusakan-kerusakan yang diakibatkan banjir.

Kegiatan di atas yang berhubungan dengan pemanfaatan daerah genangan sering mengurangi kapasitas alur sungai dan daerah genangan. Kelancaran aliran akan berkurang karena bangunan rumah, gedung-gedung, jalan-jalan, jembatan dan pengusahaan tanaman yang memiliki daya tahan besar merupakan penghambat aliran. Pengendalian pemanfaatan daerah genangan termasuk peraturan-peraturan penetapan wilayah penggunaan lahan, dan bangunan-bangunan. Maksud dari pengendalian daerah genangan adalah untuk membatasi

atau menentukan tipe pengembangan dengan mempertimbangkan resiko dan kerusakan yang ditimbulkan oleh banjir. Faktor ekonomi, sosial dan lingkungan harus pula ikut dipertimbangkan agar diperoleh suatu pengembangan yang bijaksana. Langkah pertama dalam peningkatan pengendalian daerah genangan di daerah yang beresiko banjir dan daerah kritis ditentukan diantaranya oleh faktor-faktor berikut:

- Besarnya banjir yang terjadi.
- Lamanya banjir.
- Waktu peringatan efektif.
- Masalah-masalah pengungsian.
- Pengetahuan tentang banjir.
- Akses (kemudahan).
- Tingkat luapan banjir.
- Potensi kerusakan banjir.
- Kedalaman dan kecepatan banjir.

Dua tahapan yang perlu dilaksanakan, kaitannya dengan program pengendalian banjir adalah sebagai berikut ini:

- Tahap I : Melarang adanya pemanfaatan di daerah bantaran banjir, seperti pendirian gedung, rumah ataupun pengusahaan tanaman.
- Tahap II : Pengaturan pengendalian penggunaan lahan untuk mengurangi kerusakan-kerusakan yang disebabkan banjir.

5) Penanganan kondisi darurat.

Penanggulangan banjir perlu dilakukan untuk menangani penanggulangan banjir dalam keadaan darurat, terutama untuk bangunan pengendalian banjir yang rusak dan kritis. Hal ini terutama untuk menangani banjir tahunan yang perlu penanganan tahunan pada waktu musim hujan atau banjir.

Perencanaan penanggulangan banjir perlu dibuat sebelumnya, berdasarkan pengalaman yang telah lalu. Hal-hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan penanggulangan banjir:

- Identifikasi masalah.
- Kebutuhan bahan dan peralatan penanggulangan.
- Kebutuhan tenaga penanggulangan.

1. Identifikasi Masalah

Sebelum terjadinya banjir pada musim kemarau, sebaiknya dilakukan pemeliharaan tanggul dan bangunan pengendali banjir. Namun di dalam survei perlu dilakukan pula identifikasi pada tempat-tempat tertentu di sepanjang sungai yang rawan terhadap banjir. Di samping itu perlu juga dibuat peta untuk daerah rawan banjir di dataran rendah.

2. Kebutuhan Bahan dan Peralatan Penanggulangan

Bahan dan peralatan yang diperlukan adalah untuk digunakan pada waktu penanggulangan banjir. Keperluan tersebut harus disiapkan sebelum banjir dan dalam keadaan baik. Bahan yang dapat disiapkan sebelumnya antara lain, kawat bronjong, karung plastik, ijuk, kayu, dsb. Sedangkan peralatan meliputi:

- Alat kerja (sekop, gergaji, cangkul dsb)
- Peralatan penerangan
- Alat transportasi
- Perlengkapan personil
- Alat komunikasi

3. Kebutuhan Tenaga Penanggulangan

Kebutuhan tenaga biasanya cukup banyak, maka diharapkan peran serta dari masyarakat dalam penanggulangan. Personil Kimpraswil yang terbatas sebaiknya dapat mengkoordinir para tenaga sukarela tersebut, supaya dapat lebih efektif. Tenaga kerja tersebut harus jelas pembagiannya dan dibuat

dalam kelompok, misalnya: kelompok ronda, pengamat, pekerja penanggulangan darurat dan regu cadangan. Disamping itu penggerahan tenaga, perlu didiskusikan dengan aparat pemerintahan setempat dan sesuai dengan tugas dan wewenang pada Badan Penanggulangan Bencana Provinsi dan Kab/kota. Agar supaya dapat berjalan secara efektif, perlu adanya rencana pelaksanaan, yang meliputi:

- Penentuan lokasi pos dan daerah kerja.
- Organisasi pelaksana teknis penanggulangan (berlaku satu musim saja).

6) Peramalan (Forcasting) dan Sistem Peringatan Banjir (Flood Warning System)

Sistem peramalan banjir yang efektif harus menunjukkan ciri-ciri berikut ini:

- Tempat pemantauan diletakan pada lokasi yang strategis, sehingga dapat memberikan informasi peringatan yang cepat didapat, lebih lanjut tindakan dini dapat segera dilakukan.
- Sederhana dan efektif
- Alat ukur sederhana yang dipasang secara tepat akan memberikan informasi yang cepat dan lebih efektif dari pada menggunakan sistim telemetri yang rumit dan bahkan diperlukan perawatan yang mahal.
- Metode yang diandalkan untuk memperkirakan debit banjir
- Metode langsung, yaitu dengan menempatkan peralatan pemantauan pada stasiun-stasiun hidrometri, sehingga diperoleh hubungan yang dapat dirumuskan dengan baik antara elevasi muka air sungai dengan debit yang ada. Metode tidak langsung yaitu dengan cara analisis curah hujan yang disertai dengan memperhitungkan kondisi sungai dan DAS yang bersangkutan.

Peramalan banjir adalah merupakan bagian dari sistem pengendalian banjir suatu sistem sungai. Maka dalam penyusunan sistem peramalan dan peringatan dini banjir DAS perlu memperhatikan:

- Bangunan pengendalian banjir.
- Operasional bangunan sistem pengendalian banjir.
- Hidrologi.
- Karakteristik DAS.
- Karakteristik daerah rawan banjir.
- Kemungkinan kerugian akibat banjir.
- Waktu perambatan banjir.

Pada suatu sungai perlu adanya flood warning system, terutama untuk sungai yang melewati daerah yang padat penduduk dan mempunyai sifat banjir yang membahayakan. Hal ini dimaksudkan untuk mengurangi kerugian akibat banjir yang lebih besar. Pada tingkat awal untuk flood warning system adalah peramalan akan datangnya banjir. Untuk mengetahui terhadap datangnya banjir, dapat diketahui dengan cara yang sederhana melalui gejala alam yang terjadi. Misalnya, banyak serangga yang keluar dari persembunyian/dalam tanah, suara katak yang riuh bersahutan, dsb. Cara ini biasanya diketahui baik oleh penduduk setempat dan akan mempersiapkan segala persiapan untuk menghadapi hal-hal yang membahayakan dari banjir. Berdasarkan perkembangan kehidupan masyarakat yang semakin modern dan bahaya banjir yang semakin meningkat, maka perlu adanya peramalan datangnya banjir secara tepat dan cepat. Maka secara teknis dapat dilakukan antara lain:

- Pengamatan tinggi muka air pada pos-pos pengamat
- Telemetering/pengamatan curah hujan
- Pemberitaan banjir

7) Penyuluhan Masyarakat

Permasalahan banjir adalah merupakan permasalahan umum, terutama di daerah bawah, maka sudah saatnya masyarakat yang berada pada daerah tersebut peduli akan pencegahan terhadap bahaya banjir. Disamping itu pihak yang berwenang termasuk instansi yang terkait, harus betul-betul melaksanakan pembinaan, pengawasan, pengendalian dan penanggulangan terhadap banjir secara intensif dan terkoordinasi.

- Penyuluhan oleh pihak yang berwenang, bagaimana cara menghindari bahaya banjir, supaya kerugian yang timbul tidak terlalu besar.
- Meningkatkan kesadaran masyarakat, bahwa kerusakan daerah aliran sungai yang diakibatkan oleh umat manusia, dapat mengakibatkan banjir yang lebih parah.
- Mengembangkan sikap masyarakat bahwa membuang sampah dan lain-lain di sungai adalah tidak baik dan akan menimbulkan permasalahan banjir.
- Meningkatkan kesadaran masyarakat bahwa aktivitas di daerah alur sungai, misalnya tinggal di bantaran sungai adalah mengganggu dan dapat menimbulkan permasalahan banjir.
- Meningkatkan kesadaran masyarakat bahwa tinggal di daerah bawah atau daerah dataran banjir, perlu mentaati peraturan-peraturan dan mematuhi larangan yang ada, untuk menghindari permasalahan banjir dan menghindari kerugian banjir yang lebih besar.

Maka akhirnya kembali pada masyarakat itu sendiri dan para aparat dari pihak yang berwenang, untuk dapat meningkatkan kesadaran atas kewajiban sehubungan dengan permasalahan banjir. Karena penanganan yang lebih dini dan perhatian dari semua pihak, akan memudahkan untuk pengendalian banjir dan dapat menurunkan biaya pemeliharaan

2.7. Penelitian Terdahulu

Terdapat beberapa penelitian yang mengkaji mengenai revitalisasi system drainase kota, namun revitalisasi setiap wilayah akan berbeda tergantung pada jenis system drainase pada daerah tersebut.

Yusverison Andika, Imam Trianggoro Saputro dan Yan Fredik Bonai (2018), melakukan penelitian mengenai Tinjauan dimensi saluran drainase pada ruas jalan Frans Kaisepo Kota Sorong. Ruas Jalan frans kaisepo dan ditinjau dari uraian pada latar belakang, didapat permasalahan anatara lain Apakah dimensi saluran existing mampu mengalirkan debit air maksimum. Pada penelitian dilakukan pembatasan masalah diantara ruasjalan frans kaisepo terhadap besarnya banjir yang terjadi ialah pada ruas jalan Frans Kaisepo, Kelurahan Malaimsimsa KM. 8 Kota Sorong, Papua Barat. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui dan merencanakan dan menghitung kapasitas debit curah hujan yang masuk kedalam saluran drainase dengan kondisi rencana dan faktor-faktor yang mempengaruhi terjadinya banjir pada saluran drainase, di ruas Jalan Frans Kaisepo kilo meter 8 Kota Sorong.

Reza Eka Putri Damayanti (2015), melakukan penelitian mengenai Pengaruh revitalisasi Sungai Terhadap Kinerja Sistem Drainase Kali Pete Hilir Kota Surakarta. Penelitian ini dapat dinyatakan bahwa revitalisasi Kali Pepe Hilir yang dilakukan oleh DPU Kota Surakarta sesuai dengan pendapat Maryono (2007) bahwa revitalisasi sungai yaitu suatu usaha untuk mengembalikan fungsi-fungsi sungai yang salah satunya adalah fungsi sebagai saluran drainase. Revitalisasi sungai yang dilakukan oleh DPU Kota Surakarta merupakan upaya untuk mengembalikan fungsi Kali Pepe Hilir sebagai saluran drainase primer dan termasuk dalam bagian system drainase Kota Surakarta. Kembalinya fungsi sungai sebagai saluran drainase pada Kali Pepe Hilir ditandai dengan perubahan

kinerja drainase Kali Pepe Hilir yang membaik dari sebelum dilakukan revitalisasi sungai dengan sesudah dilakukan revitalisasi sungai.

Ranthy Mantong, Fathien Azmy, Yashinta Sutopo (2015), melakukan penelitian mengenai Evaluasi Zona Drainase Sekunder Pusat Kota Makassar. Kecamatan Ujung Pandang merupakan Kawasan Pusat Kota Makassar yang ditetapkan sebagai pusat pelayanan kota 1 (RTRW Kota Makassar 2015-2034), di kecamatan ini terdapatpusat kegiatan ekonomi, sosial, budaya dan politik. Sebagai kawasan pusat kota, KecamatanUjung Pandang belum terbebas dari ancaman banjir dan genangan, sehingga diperlukanpenataan drainase sebagai infrastruktur kota yang berguna untuk mengalirkan kelebihan air disuatu kawasan, termasuk penataan drainase sekunder sebagai drainase utama di kawasan ini. Tujuan penelitian ini yakni (1) Mengetahui sistem zona drainase sekunder di kawasan pusat kota Makassar saat ini (2) mengetahui pengaruh guna lahan terhadap kecepatan aliran air di kawasan pusat Kota Makassar (3) mengetahui arahan agar sistem zona drainase sekunder di kawasan pusat kota Makassar berfungsi secara maksimal. Penelitian ini dilakukan di salah kecamatan di Makassar yaitu Kecamatan Ujung Pandang dan sekitarnya. Pengumpulan data dilakukan melaui survei instansi, survei lapangan, dan studi literatur. Teknik analisis yang digunakan yakni analisis deskriptif kuntitatif dan kualitatif untuk menentukan zona drainase sekunder yang terdapat di lokasi studi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat tiga zona drainase sekunder di Kecamatan Ujung Pandang, Zona 1 dan zona 3 melayani daerah di luar batas kecamtan sedangkan zona 2 melayani daerah dalam kecamatan. Drainase sekunder di Kecamatan Ujung Pandang melayani hingga ke luar kecamatan. Terdapat saluran sekunder lain di dekat zona namun air tidak mengalir ke saluran tersebut karena tidak ada saluran penghubung

dan sampah yang menghambat aliran. Selain itu bangunan yang padat dapat mempengaruhi kecapatan aliran di saluran drainase. Oleh karena itu perlu adanya penambahan saluran penghubung untuk membagi aliran air serta perawatan agar drainase berfungsi secara maksimal.

Roby Hambali (2015), melakukan penelitian mengenai Untuk dapat melakukan revitalisasi fungsi tersebut, sistem drainase harus dipandang sebagai satu kesatuan sistem tata air, dan penyelesaiannya memerlukan multidisiplin ilmu. Penyelesaian masalah dalam program revitalisasi fungsi sistem drainase ditekankan pada kegiatan pemeliharaan yang menggunakan pendekatan partisipatif dengan tujuan mempengaruhi prilaku masyarakat sehingga tingkat kesadaran masyarakat meningkat terhadap pentingnya sistem drainase yang baik.

BAB III

METODOLOGI

3.1.Jenis Penelitian

Penelitian tentang revitalisasi sistem drainase Kota Makassar merupakan jenis penelitian deskriptif evaluatif menggunakan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Pendekatan kualitatif dilakukan untuk mengetahui bagaimana kondisi dan kinerja infrastruktur drainase di lokasi studi. Sedangkan pendekatan kuantitatif dilakukan untuk memberikan alternatif solusi yang efektif dengan sistem drainase berwawasan lingkungan.

3.2.Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Daerah Aliran Sungai Tallo tepatnya mulai dari Kolam Regulasi Nipa – Nipa hingga ke Muara atau pada koordinat $5^{\circ}10'3,13''\text{LS}$ dan $119^{\circ}31'10,93''\text{BT}$ hingga $5^{\circ}6'15,15''\text{LS}$ dan $119^{\circ}26'56,08''\text{ BT}$.

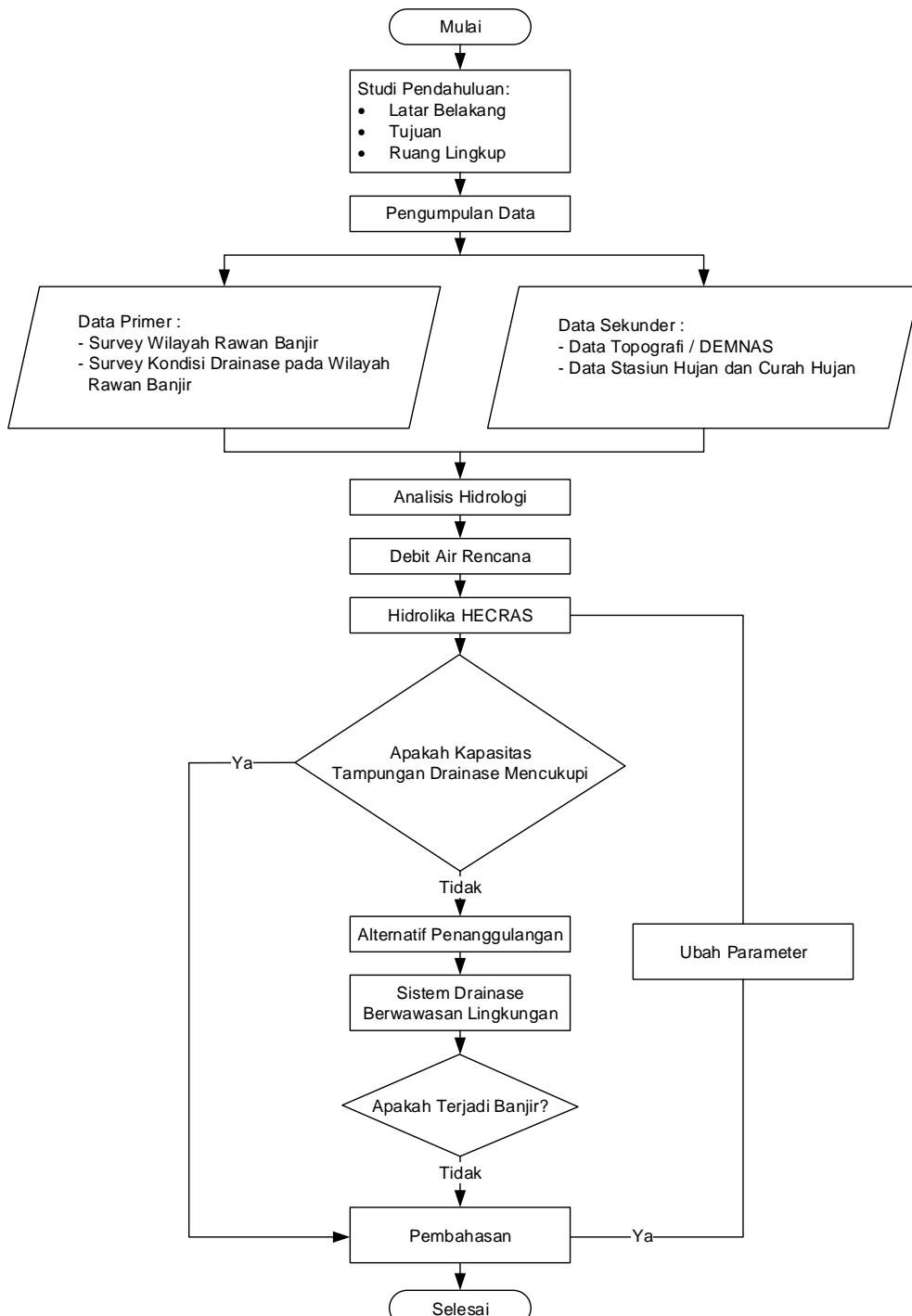


Gambar 3.1 Lokasi Penelitian
(Sumber : Google Earth 2021)

3.3. Waktu Penelitian

Waktu penelitian ini dilakukan mulai April hingga Agustus 2021.

3.4. Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.2 Bagan Alir Penelitian

3.5. Penjabaran Garis Besar Penelitian

Berdasarkan Gambar 3.2., maka kita akan membagi studi penelitian ini kedalam beberapa tahapan/langkah sebagai berikut :

3.5.1. Studi Pendahuluan

Berupa pengumpulan literatur mengenai penyebab banjir dan daerah rawan banjir di Kota Makassar, serta sumber lain yang berkaitan dengan penelitian. Pada tahap ini dianalisis hal-hal yang melatar belakangi perlunya penelitian untuk dilakukan sekaligus mengetahui tujuan yang dapat dicapai dari keberhasilan penelitian ini. Setelah latar belakang dan tujuan penelitian jelas, masalah yang akan diteliti harus dibatasi ruang lingkupnya, seperti membatasi objek dan variabel penelitian agar penelitian dapat dilakukan dengan efektif dan terarah.

Studi pendahuluan selanjutnya yaitu studi literatur. Tahap ini perlu dilakukan untuk memperoleh dasar ilmu dan aturan yang akan digunakan untuk merancang langkah-langkah pengambilan dan pengolahan data penelitian.

3.5.2. Pengumpulan Data

Berdasarkan cara memperolehnya, data yang dibutuhkan dalam penelitian ini terbagi atas dua jenis yaitu data primer dan data sekunder berupa:

3.5.2.1. Data Primer

Data primer adalah data yang langsung diambil atau dikumpulkan dari lapangan, yaitu berupa data hasil survei dan observasi lapangan. Pengambilan data dilakukan dengan tinjauan langsung ke sungai di beberapa wilayah untuk mengetahui kondisi dan fungsi sungai pada wilayah tersebut.

3.5.2.2. Data Sekunder

Data Sekunder diperlukan untuk membantu dalam menganalisis data. Data sekunder yang digunakan berupa :

1) Data Topografi

Data topografi yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data Peta Rupa Bumi Indonesia (RBI) Skala 1:50.000 dan data DEMNAS untuk mengetahui luas area tangkapan (catchment area) dan untuk penggunaan simulasi 2D HECRAS. Data Topografi ini diambil dari Badan Informasi Geospasial (BIG) Indonesia.

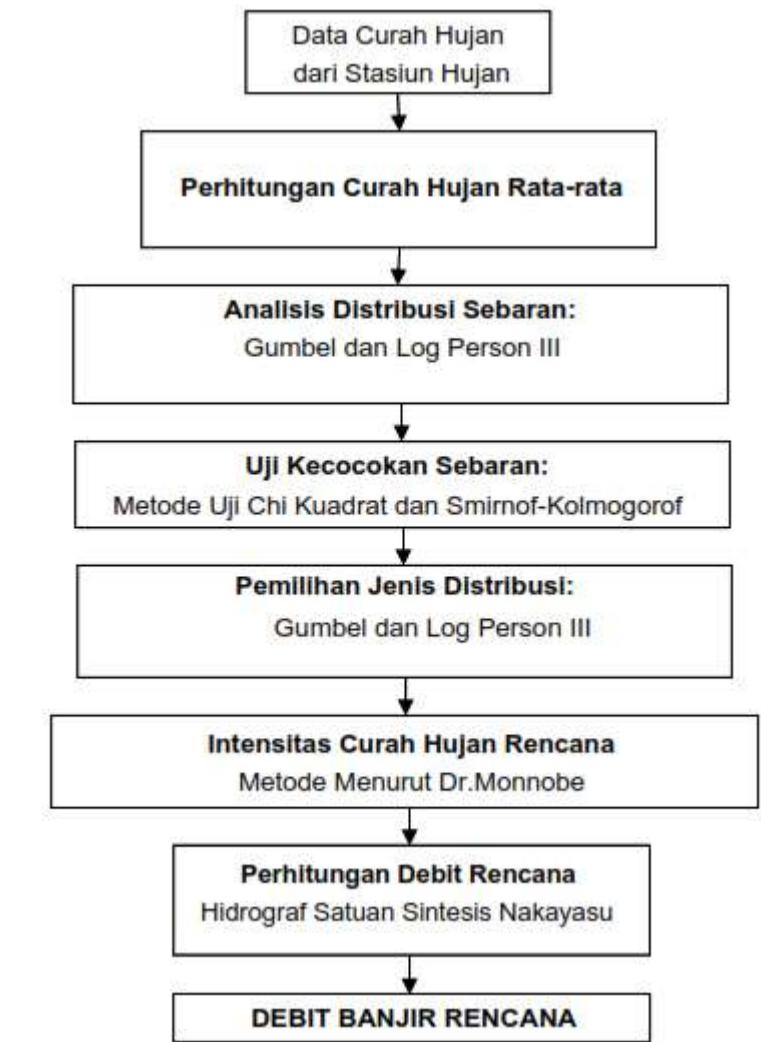
2) Data Stasiun Hujan dan Curah Hujan

Data curah hujan yang dipergunakan diambil dari Stasiun Panakukang, Stasiun Tamangapa Kassi, Stasiun Senre, Stasiun Sungguminasa dan Stasiun Malino. Curah hujan yang dicatat selama 20 tahun yaitu curah hujan mulai tahun 2000 sampai tahun 2019. Data stasiun hujan dan curah hujan ini diambil dari Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jeneberang.

3.5.3. Analisis Hidrologi

Dalam analisis ini ada beberapa data yang digunakan dalam perhitungan dan disesuaikan dengan tujuan yang akan dicapai dan data tersebut digunakan dengan fungsinya. Data curah hujan adalah data hujan yang terjadi pada suatu daerah setelah mengalami proses evaporasi. Data hujan yang diambil yaitu data curah hujan harian dan bulanan. Analisis hidrologi diperlukan untuk mengetahui aliran tinggi atau debit banjir dengan cara pengalih ragaman data hujan historis menjadi debit banjir rencana.

Berikut adalah tahap-tahap pengerjaan analisis hidrologi dengan bagan alir perhitungan hidrologi.



Gambar 3.3 Bagan Alir Analisis Hidrologi

Tahapan pada bagan alir diatas diperlukan untuk mendapatkan nilai debit banjir rencana dengan metode-metode yang digunakan. Tahapan tersebut akan dijelaskan pada sub bab berikut ini.

3.5.3.1. Perhitungan Curah Hujan Rata - Rata

Perhitungan curah hujan rata-rata dilakukan dengan menggunakan beberapa metode diantaranya adalah metode aljabar, metode poligon theinsein, dan metode isohyet.

Metode rata-rata aljabar ditentukan dengan cara menjumlahkan tinggi hujan dari suatu tempat pengukuran selama jangka waktu tertentu, dibagi dengan jumlah pos pengukuran hujan. Penggunaan metode ini mendapatkan hasil yang memuaskan apabila dipakai pada daerah datar, serta curah hujan yang tidak bervariasi banyak dari harga tengahnya dan penempatan alat ukur yang tersebar merata.

Metode Thiessen ditentukan dengan cara membuat polygon antar pos hujan pada suatu wilayah DAS kemudian tinggi hujan rata-rata dihitung dari jumlah perkalian antara tiap-tiap luas polygon dan tinggi hujannya dibagi dengan luas seluruh DAS.

Metode isohyet ditentukan dengan cara menggunakan kontur tinggi hujan suatu daerah dan tinggi hujan rata-rata DAS dihitung dari jumlah perkalian tinggi hujan rata-rata diantara garis isohyet tersebut dibagi luas seluruh DAS.

3.5.3.2. Analisis Distribusi Sebaran

Di dalam analisa dan perhitungan curah hujan rancangan, untuk mendapatkan distribusi frekuensi maka data yang tersedia dianalisa dengan 2 (dua) macam metode distribusi frekuensi yaitu

- Methode Distribusi Gumbel
- Methode Distribusi Pearson Type III

3.5.3.3. Uji Kecocokan Sebaran

Berdasarkan hasil perhitungan keempat distribusi tersebut dilakukan uji besaran statistik data hujan dan uji sebaran “Chi Kuadrat dan Smirnof-Kolmogorof” untuk menentukan Methode Distribusi Frekuensi yang paling sesuai. Dari hasil uji “Chi Kuadrat dan Smirnof-Kolmogorof” akan dipilih nilai penyimpangan distribusi terkecil akan digunakan sebagai hasil perhitungan hujan rancangan yang akan dipakai sebagai dasar perhitungan Debit Banjir Rencana.

3.5.3.4. Pemilihan Jenis Distriubusi

Dari hasil perhitungan “Uji Chi Kuadrat dan Smirnof-Kolmogorof” dapat ditentukan methode distribusi frekuensi yang paling sesuai dari keempat methode yang ada dengan memilih nilai dari hasil perhitungan “Uji Chi Kuadrat dan Smirnof-Kolmogorof” yang paling kecil.

3.5.3.5. Intensitas Curah Hujan Rencana

Intensitas hujan adalah tinggi atau kedalaman air hujan persatuan waktu. Sifat umum hujan adalah makin singkat hujan berlangsung, maka intensitasnya cenderung makin tinggi. Semakin besar kala ulangnya makin tinggi pula intensitasnya.

Analisis intensitas hujan di suatu Daerah Pengaliran Sungai (DPS) dapat dihitung dengan beberapa metode, antara lain metode Talbot (1881), Sherman (1905) dan Mononobe (1953). Perhitungan dengan metode-metode tersebut memerlukan data hujan jangka pendek yang dapat diperoleh dari pos penakar hujan otomatis. Pada penelitian ini menggunakan metode Mononobe.

3.5.3.6. Perhitungan Debit Banjir Rencana

Oleh karena data yang tersedia berupa data hujan harian maksimum maka perhitungan debit banjir berdasarkan data yang tersedia. Methode perhitungan debit banjir rancangan untuk makrodrainase yaitu dengan Hidrograf Satuan Sintesis Nakaysu dan ITB.

3.5.3.7. Debit Banjir Rencana

Banjir adalah terjadinya luapan air dari alur sungai. Banjir terjadi karena volume air yang mengalir di sungai persatuan waktu melebihi kapasitas pengaliran alur sungai, sehingga menimbulkan luapan. Debit banjir adalah besarnya aliran sungai yang diukur dalam satuan (m/dtk) pada waktu banjir. Debit banjir rencana adalah debit maksimum dari suatu sungai yang besarnya didasarkan kala ulang atau periode tertentu. Penentuan debit banjir rencana, dilakukan menurut ketentuan Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana, SNI. Penentuan debit banjir yang dilakukan dalam dengan melihat cakupan drainase baik itu mikrodrainase dan makrodrainase.

3.5.4. Hidrolika HECRAS

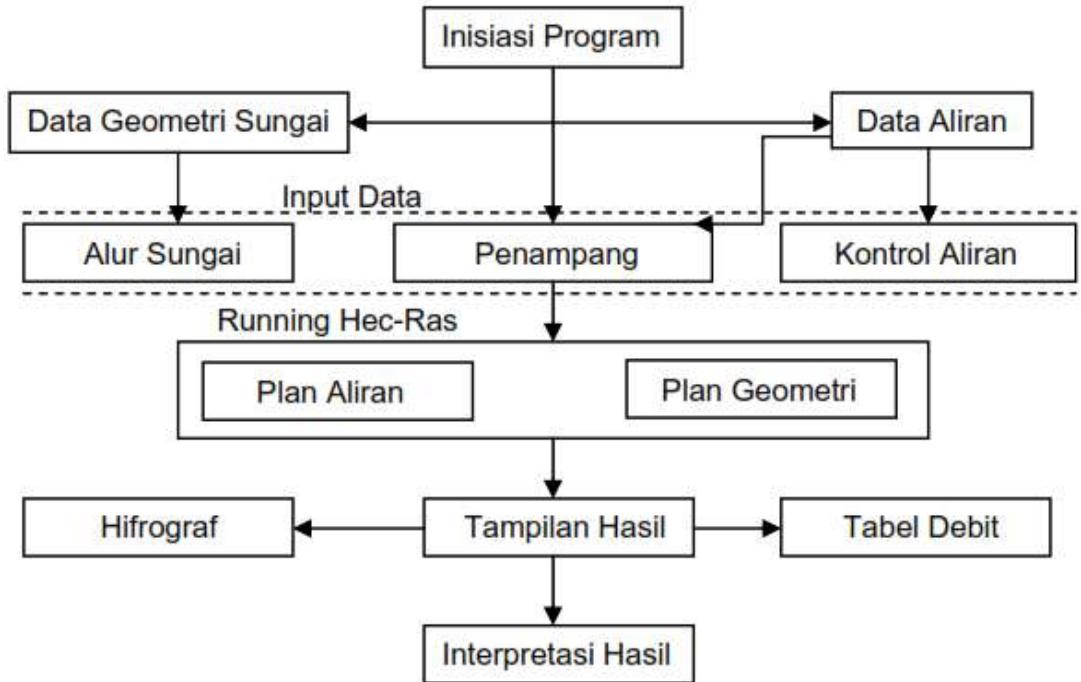
Analisa hidrolika sungai dimaksudkan untuk menganalisa profil muka air banjir di sungai dengan berbagai kala ulang dari debit banjir rencana. Analisa hidrolika akan menghitung seberapa jauh pengaruh pengendalian banjir secara struktural terhadap tinggi muka air banjir dan luapan banjir yang terjadi.

Model hidrolika aliran satu dimensi dan dua dimensi yang banyak digunakan saat ini ialah HEC-RAS (River Analysis System). Program HEC-RAS adalah sebuah program yang didalamnya terintegrasi analisa hidrolika, di mana pengguna program dapat berinteraksi dengan sistem menggunakan fungsi Graphical User

Interface (GUI). Program ini dapat menunjukkan perhitungan profil permukaan aliran mantap (steady), termasuk juga aliran tak mantap (unsteady), pergerakan sedimen dan beberapa hitungan desain hidrolik. Dalam terminologi HEC-RAS, sebuah pengaturan file data akan berhubungan dengan sistem sungai. Data file dapat dikategorikan sebagai berikut: plan data, geometric data, steadyflow data, unsteady flow data, sediment data dan hydraulic design data.

Dalam analisis hidrolik karakteristik sungai sangat diperlukan untuk analisis kapasitas pengaliran, kecepatan aliran, profil muka air, kondisi aliran dan fenomena-fenomena lainnya. Perhitungan hidrolik dihitung dengan menggunakan software HEC-RAS.

Analisis pemodelan sungai menggunakan software HEC-RAS berdasarkan data geometri sungai dan inflow yang berupa hidrograf debit banjir rencana. Outflow pemodelan adalah elevasi muka air banjir untuk setiap debit banjir rencana. Selanjutnya dilakukan simulasi pengendalian banjir, dalam hal ini untuk banjir di mikrodrainase dan makrodrainase.



Gambar 3.4 Bagan Alir Model Hidrologika HEC-RAS

3.5.5. Alternatif Penanggulangan

Alternatif penanggulangan dilakukan apabila kapasitas sungai tidak mencukupi. Alternatif penanggulan tersebut dapat berupa revitalisasi sistem drainase dengan ecodrain. Penerapan ecodrain dapat dilakukan dengan beberapa cara.

Cara retensi dibagi menjadi dua macam, yaitu “off site retention”, misalnya pembuatan kolam atau waduk dan “on site retention”, misalnya retensi pada atap bangunan, taman, tempat parkir, lapangan terbuka, halaman rumah.

Cara “infiltrasi” yaitu dengan pembuatan imbuhan buatan pada area tertentu yang bentuknya berupa sumur resapan, parit resapan, wilayah resapan, perkerasan yang lolos air. Namun dalam hal ini harus ada persyaratan bahwa air yang diinfiltasikan tidak boleh air yang sudah tercemar.

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Analisis Hidrologi

4.1.1. Curah Hujan Rata - Rata

Dalam penelitian revitalisasi Sungai Tallo ini menggunakan data curah hujan yang berperngaruh pada daerah tersebut yaitu stasiun senre dan Tamangapa Kassi. Adapun rekapitualsi data curah hujan rata – rata dapat dilihat pada tabel berikut

Tabel 4.1. Data Curah Hujan Maksimum

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan (mm)	
	Senre	Tamangapa Kassi
1995	79	212
1996	142	200
1997	68	101
1998	66	98
1999	108	105
2000	193	335
2001	123	145
2002	183	172
2003	138	107
2004	125	93
2005	110	98
2006	303	107
2007	225	120
2008	190	137
2009	180	90
2010	123	80
2011	90	120
2012	118	118
2013	203	98
2014	115	78
2015	169	142
2016	114	90
2017	160	145
2018	193	159
2019	237	157

(Sumber: Balai Besar Wilayah Sungai Pompengan Jeneberang)



Gambar 4.1 Poligon Thiessen Sub DAS Tallo Hulu dan

Mangalarang

Sumber : Hasil Analisis

Tabel 4.2. Curah Hujan Rata – Rata Sub DAS Tallo Hulu

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan (mm)		Total
	Tamangapa Kassi	Senre	
	0.3700	0.6300	
1995	78.4331	49.7726	128.21
1996	73.9935	89.4646	163.46
1997	37.3667	42.8422	80.21
1998	36.2568	41.5821	77.84
1999	38.8466	68.0435	106.89
2000	123.9392	121.5962	245.54
2001	53.6453	77.4940	131.14
2002	63.6344	115.2959	178.93
2003	39.5865	86.9445	126.53
2004	34.4070	78.7540	113.16
2005	36.2568	69.3036	105.56
2006	39.5865	190.8998	230.49
2007	44.3961	141.7573	186.15
2008	50.6856	119.7061	170.39
2009	33.2971	113.4058	146.70
2010	29.5974	77.4940	107.09
2011	44.3961	56.7029	101.10
2012	43.6562	74.3438	118.00
2013	36.2568	127.8966	164.15
2014	28.8575	72.4537	101.31
2015	52.5354	106.4755	159.01
2016	33.2971	71.8237	105.12

2017	53.6453	100.8052	154.45
2018	58.7014	121.5962	180.30
2019	58.0436	149.3177	207.36

(Sumber: Hasil Analisis)

Tabel 4.3. Curah Hujan Rata – Rata Sub DAS Mangalarang

Tahun	Curah Hujan Harian Maksimum Tahunan (mm)		Total
	Tamangapa Kassi	Senre	
	0.0558	0.9442	
1995	11.8356	74.5896	86.43
1996	11.1657	134.0724	145.24
1997	5.6387	64.2037	69.84
1998	5.4712	62.3153	67.79
1999	5.8620	101.9705	107.83
2000	18.7025	182.2251	200.93
2001	8.0951	116.1331	124.23
2002	9.6025	172.7834	182.39
2003	5.9736	130.2957	136.27
2004	5.1920	118.0215	123.21
2005	5.4712	103.8589	109.33
2006	5.9736	286.0840	292.06
2007	6.6994	212.4386	219.14
2008	7.6485	179.3926	187.04
2009	5.0246	169.9509	174.98
2010	4.4663	116.1331	120.60
2011	6.6994	84.9754	91.67
2012	6.5878	111.4122	118.00
2013	5.4712	191.6668	197.14
2014	4.3546	108.5797	112.93
2015	7.9276	159.5650	167.49
2016	5.0246	107.6356	112.66
2017	8.0951	151.0675	159.16
2018	8.8581	182.2251	191.08
2019	8.7588	223.7687	232.53

(Sumber: Hasil Analisis)

4.1.2. Perhitungan Curah Hujan Rancangan

Ada beberapa jenis distribusi statistik yang dapat dipakai untuk menentukan besarnya curah hujan rencana, seperti distribusi Gumbel, Log Pearson III, Log Normal, dan beberapa cara lain. Namun dalam penelitian ini hanya menggunakan metode distribusi Gumbel dan Log Pearson III. Berikut merupakan hasil analisis masing – masing Sub DAS Tallo Hulu dan Sub DAS Mangalarang.

Sebelum melakukan perhitungan distribusi curah hujan rencana dilakukan uji kecocokan sebaran dengan metode Chi – Kuadrat dan Smirnov-Kolmogorov.

Tabel 4.4. Urutan Data Curah Hujan Rata – Rata Sub DAS Tallo Hulu

No.	X_i (mm)	X_i diurut dari besar ke kecil
1	128.21	245.54
2	163.46	230.49
3	80.21	207.36
4	77.84	186.15
5	106.89	180.30
6	245.54	178.93
7	131.14	170.39
8	178.93	164.15
9	126.53	163.46
10	113.16	159.01
11	105.56	154.45
12	230.49	146.70
13	186.15	131.14
14	170.39	128.21
15	146.70	126.53
16	107.09	118.00
17	101.10	113.16
18	118.00	107.09
19	164.15	106.89
20	101.31	105.56

No.	X_i (mm)	X_i diurut dari besar ke kecil
21	159.01	105.12
22	105.12	101.31
23	154.45	101.10
24	180.30	80.21
25	207.36	77.84

(Sumber: Hasil Analisis)

Tabel 4.5. Uji Chi-Kuadrat Log-Pearson III Data Curah Hujan Sub DAS Tallo Hulu

Kelas	Interval	E_f	O_f	$(O_f - E_f)^2/E_f$
1	>182.7677	4.17	4	0.01
2	149.2578 - 182.7677	4.17	7	1.93
3	136.7653 - 149.2578	4.17	1	2.41
4	109.6904 - 136.7653	4.17	5	0.17
5	96.0914 - 109.6904	4.17	6	0.81
6	< 96.0914	4.17	2	1.13
Total		25	25	6.440

(Sumber: Hasil Analisis)

Tabel 4.6. Uji Smirnov-Kolmogorov Log Pearson III Data Curah Hujan Sub DAS Tallo Hulu

i	Log X_i	$P(X_i)$	$f(t)$	$P'(X_i)$	ΔP
1	2.39	0.04	1.88	0.03	0.01
2	2.36	0.08	1.68	0.05	0.03
3	2.32	0.12	1.34	0.09	0.03
4	2.27	0.15	0.99	0.15	0.00
5	2.26	0.19	0.88	0.18	0.01
6	2.25	0.23	0.86	0.19	0.04
7	2.23	0.27	0.70	0.22	0.05
8	2.22	0.31	0.58	0.24	0.06
9	2.21	0.35	0.57	0.25	0.10
10	2.20	0.38	0.48	0.27	0.12
11	2.19	0.42	0.38	0.29	0.13
12	2.17	0.46	0.22	0.36	0.10
13	2.12	0.50	-0.14	0.52	0.02
14	2.11	0.54	-0.22	0.54	0.00
15	2.10	0.58	-0.26	0.55	0.03
16	2.07	0.62	-0.49	0.60	0.01
17	2.05	0.65	-0.62	0.64	0.02
18	2.03	0.69	-0.80	0.69	0.00

i	Log Xi	P(Xi)	f(t)	P'(Xi)	ΔP
19	2.03	0.73	-0.81	0.69	0.04
20	2.02	0.77	-0.85	0.71	0.06
21	2.02	0.81	-0.86	0.71	0.10
22	2.01	0.85	-0.98	0.76	0.09
23	2.00	0.88	-0.99	0.76	0.12
24	1.90	0.92	-1.73	0.94	0.02
25	1.89	0.96	-1.83	0.95	0.01
ΔP Maksimum				0.1282	

(Sumber: Hasil Analisis)

Tabel 4.7. Uji Chi-Kuadrat Gumbel Data Curah Hujan Sub DAS Tallo Hulu

Kelas	Interval	E_f	O_f	$(O_f - E_f)^2/E_f$
1	>191.6066	4.17	3	0.33
2	158.8173 - 191.6066	4.17	7	1.93
3	136.8197 - 158.8173	4.17	2	1.13
4	117.9255 - 136.8197	4.17	4	0.01
5	97.8584 - 117.9255	4.17	7	1.93
6	< 97.8584	4.17	2	1.13
Total		25	25	6.440

(Sumber: Hasil Analisis)

Tabel 4.8. Uji Smirnov-Kolmogorov Gumbel Data Curah Hujan Sub DAS Tallo Hulu

i	Log Xi	P(Xi)	f(t)	P'(Xi)	ΔP
1	245.54	0.04	2.28	0.05	0.01
2	230.49	0.08	1.94	0.06	0.01
3	207.36	0.12	1.42	0.11	0.00
4	186.15	0.15	0.95	0.18	0.03
5	180.30	0.19	0.82	0.21	0.02
6	178.93	0.23	0.79	0.22	0.01
7	170.39	0.27	0.60	0.26	0.01
8	164.15	0.31	0.46	0.30	0.01
9	163.46	0.35	0.44	0.30	0.04
10	159.01	0.38	0.34	0.33	0.06
11	154.45	0.42	0.24	0.36	0.06
12	146.70	0.46	0.07	0.42	0.04
13	131.14	0.50	-0.28	0.53	0.03
14	128.21	0.54	-0.34	0.54	0.00
15	126.53	0.58	-0.38	0.55	0.03
16	118.00	0.62	-0.57	0.60	0.01

i	Log Xi	P(Xi)	f(t)	P'(Xi)	ΔP
17	113.16	0.65	-0.68	0.64	0.02
18	107.09	0.69	-0.81	0.68	0.01
19	106.89	0.73	-0.82	0.68	0.05
20	105.56	0.77	-0.85	0.70	0.07
21	105.12	0.81	-0.86	0.70	0.11
22	101.31	0.85	-0.94	0.74	0.11
23	101.10	0.88	-0.95	0.74	0.15
24	80.21	0.92	-1.41	0.92	0.01
25	77.84	0.96	-1.47	0.92	0.04
ΔP Maksimum					0.1475

(Sumber: Hasil Analisis)

Cara yang sama diterapkan untuk DAS Mangalarang sehingga rekapitulasi uji chi kuadrat dan smirnov-kolmogorov yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.9. Rekapitulasi Uji Distribusi Sub DAS Tallo Hulu

No.	Uji	Metode Distribusi		Ket.
		Gumbel	Log Pearson III	
1	Smirnov Kolmogorov	0.1475	0.1282	Nilai Kritis = 0.27
2	Chi Square	6.44	6.44	Nilai kritis = 7,815

(Sumber: Hasil Analisis)

Tabel 4.10. Rekapitulasi Uji Distribusi Sub DAS Mangalarang

No.	Uji	Metode Distribusi		Ket.
		Gumbel	Log Pearson III	
1	Smirnov Kolmogorov	0.1465	0.1282	Nilai Kritis = 0.27
2	Chi Square	1.64	12.68	Nilai kritis = 7,815

(Sumber: Hasil Analisis)

Berdasarkan Tabel 4.9 dan 4.10 untuk menghitung curah hujan rencana Sub DAS Tallo Hulu menggunakan distribusi Log

Pearson III dan Sub DAS Mangalarang menggunakan distribusi Gumbel.

Tabel 4.11. Perhitungan Distribusi Log Pearson III Sub DAS Tallo

No	Tahun	X_i	$\log X_i$	$(\log X_i - \bar{\log X})^2$	$(\log X_i - \bar{\log X})^3$
1	1995	128.2057	2.1079	0.0009	0.0000
2	1996	163.4581	2.2134	0.0058	0.0004
3	1997	80.2089	1.9042	0.0542	-0.0126
4	1998	77.8390	1.8912	0.0605	-0.0149
5	1999	106.8901	2.0289	0.0117	-0.0013
6	2000	245.5354	2.3901	0.0640	0.0162
7	2001	131.1393	2.1177	0.0004	0.0000
8	2002	178.9304	2.2527	0.0134	0.0015
9	2003	126.5310	2.1022	0.0012	0.0000
10	2004	113.1610	2.0537	0.0070	-0.0006
11	2005	105.5604	2.0235	0.0129	-0.0015
12	2006	230.4863	2.3626	0.0509	0.0115
13	2007	186.1534	2.2699	0.0176	0.0023
14	2008	170.3917	2.2314	0.0089	0.0008
15	2009	146.7029	2.1664	0.0009	0.0000
16	2010	107.0914	2.0298	0.0115	-0.0012
17	2011	101.0990	2.0047	0.0175	-0.0023
18	2012	118.0000	2.0719	0.0043	-0.0003
19	2013	164.1534	2.2152	0.0061	0.0005
20	2014	101.3112	2.0057	0.0173	-0.0023
21	2015	159.0109	2.2014	0.0041	0.0003
22	2016	105.1208	2.0217	0.0133	-0.0015
23	2017	154.4505	2.1888	0.0027	0.0001
24	2018	180.2977	2.2560	0.0141	0.0017
25	2019	207.3612	2.3167	0.0323	0.0058
Jumlah		3589.0897	53.4279	0.4334	0.0027
n				25	
$\bar{\log X}$				2.1371	
$S \log X$				0.1344	
C_s				0.0499	

(Sumber: Hasil Analisis)

Tabel 4.12. Curah Hujan Rancangan Log Pearson III Sub DAS Tallo

Periode Ulang	K	Log Xt	Xt
5	0.84	2.25	177.77
10	1.29	2.31	204.20
20	1.61	2.35	225.50
25	1.77	2.37	236.97
50	2.08	2.42	261.03
100	2.36	2.45	284.87
1000	3.16	2.56	364.81

(Sumber: Hasil Analisis)

Tabel 4.13. Pehitungan Distribusi Gumbel Sub DAS Mangalarang

No	Tahun	P	Xi	Xi-X	$(Xi-X)^2$
1	1995	3.85	86.43	-62.77	3940.50
2	1996	7.69	145.24	-3.96	15.69
3	1997	11.54	69.84	-79.36	6297.41
4	1998	15.38	67.79	-81.41	6627.92
5	1999	19.23	107.83	-41.37	1711.15
6	2000	23.08	200.93	51.73	2675.90
7	2001	26.92	124.23	-24.97	623.52
8	2002	30.77	182.39	33.19	1101.40
9	2003	34.62	136.27	-12.93	167.17
10	2004	38.46	123.21	-25.99	675.22
11	2005	42.31	109.33	-39.87	1589.50
12	2006	46.15	292.06	142.86	20408.72
13	2007	50.00	219.14	69.94	4891.53
14	2008	53.85	187.04	37.84	1432.06
15	2009	57.69	174.98	25.78	664.45
16	2010	61.54	120.60	-28.60	817.91
17	2011	65.38	91.67	-57.52	3308.98
18	2012	69.23	118.00	-31.20	973.35
19	2013	73.08	197.14	47.94	2298.19
20	2014	76.92	112.93	-36.26	1315.09
21	2015	80.77	167.49	18.29	334.67
22	2016	84.62	112.66	-36.54	1335.06
23	2017	88.46	159.16	9.96	99.28
24	2018	92.31	191.08	41.88	1754.32
25	2019	96.15	232.53	83.33	6943.71
Jumlah		3729.96		72002.68	
n			25		
X rata - rata			149.20		

No	Tahun	P	Xi	ΣX_i	$(X_i - \bar{X})^2$
S				54.77	
Yn				0.53	
Sn				1.09	

(Sumber: Hasil Analisis)

Tabel 4.14. Curah Hujan Rancangan Gumbel Sub DAS Mangalarang

Periode Ulang	Yt	Faktor K	Xt
5	1.50	0.89	197.83
10	2.25	1.58	235.48
20	2.97	2.23	271.61
25	3.20	2.44	283.06
50	3.90	3.09	318.36
100	4.60	3.73	353.40
1000	6.91	5.84	469.17

(Sumber: Hasil Analisis)

4.1.3. Analisis Intensitas Curah Hujan

Pada penelitian ini perhitungan jenis curah hujan menggunakan metode Mononobe karena data hujan jangka pendek teresedia yang ada hanya data curah hujan harian.

- a) Distribusi curah hujan jam – jaman (RT)

Dik : T = 6 Jam

: $R_{24} = 177,77 \text{ mm/jam}$ (periode ulang 5 tahun)

: $t = 1 \text{ jam}$

$$RT = \frac{R_{24}}{T} \left(\frac{T}{t} \right)^{\frac{2}{3}} = \frac{177,77}{6} \left(\frac{6}{1} \right)^{\frac{2}{3}} = 97,83 \text{ mm/jam}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.15. Distribusi Jam – Jaman Curah Hujan Pada Sub DAS Tallo Hulu

t (jam)	RT ₅	RT ₁₀	RT ₂₀	RT ₂₅	RT ₅₀	RT ₁₀₀	RT ₁₀₀₀
1	97.8	112.3	124.1	130.4	143.6	156.7	200.7
2	61.6	70.79	78.18	82.15	90.49	98.76	126.4
3	47.0	54.02	59.66	62.69	69.06	75.37	96.52
4	38.8	44.60	49.25	51.75	57.01	62.21	79.67
5	33.5	38.43	42.44	44.60	49.13	53.61	68.66
6	29.6	34.03	37.58	39.49	43.50	47.48	60.80

(Sumber: Hasil Analisis)

b) Rasio distribusi curah hujan (Rt)

Dik : RT = 61,6 mm/jam (periode ulang 2 tahun)

: R(T-1) = R(2-1) = R₁ = 97,8 mm/jam (periode ulang 2 tahun)

: t = 2 jam

$$R_t = t \cdot RT - (t - 1) \cdot (R(T - 1)) = 2 \cdot 61,6 - (2 - 1) \cdot (97,8) = 25,43 \text{ mm}$$

Untuk perhitungan selanjutnya dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.16. Rasio Distribusi Curah Hujan Pada Sub DAS Tallo Hulu

t (jam)	Rt ₅	Rt ₁₀	Rt ₂₀	Rt ₂₅	Rt ₅₀	Rt ₁₀₀	Rt ₁₀₀₀
1	97.83	112.38	124.10	130.41	143.65	156.77	200.76
2	25.43	29.21	32.26	33.90	37.34	40.75	52.18
3	17.84	20.49	22.63	23.78	26.19	28.58	36.61
4	14.20	16.31	18.01	18.93	20.85	22.76	29.14
5	11.99	13.77	15.21	15.98	17.61	19.22	24.61
6	10.48	12.04	13.30	13.97	15.39	16.80	21.51

(Sumber: Hasil Analisis)

Perhitungan yang sama juga dilakukan untuk sub DAS Mangalarang

Berdasarkan tabel 2.3 sub DAS Tallo Hulu dan uub DAS Mangalarang berada pada kondisi daerah sungai besar di dataran, sehingga koefisien pengaliran (C) pada masing – masing sub DAS yaitu 0,7. Sehingga nilai curah hujan efektif masing - masing sub DAS dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 4.17. Curah Hujan Efektif Sub DAS Tallo Hulu Berbagai Kala Ulang

t (jam)	C	5	10	20	25	50	100	1000
1	0,7	68.48	78.66	86.87	91.29	100.55	109.74	140.54
2	0,7	17.80	20.45	22.58	23.73	26.14	28.52	36.53
3	0,7	12.49	14.34	15.84	16.64	18.33	20.01	25.62
4	0,7	9.94	11.42	12.61	13.25	14.60	15.93	20.40
5	0,7	8.39	9.64	10.65	11.19	12.33	13.45	17.23
6	0,7	7.34	8.43	9.31	9.78	10.77	11.76	15.06

(Sumber: Hasil Analisis)

Tabel 4.18. Curah Hujan Efektif Sub DAS Mangalarang Berbagai Kala Ulang

t (jam)	C	5	10	20	25	50	100	1000
1	0,7	76.21	90.71	104.63	109.04	122.64	136.14	180.74
2	0,7	19.81	23.58	27.20	28.34	31.88	35.39	46.98
3	0,7	13.89	16.54	19.08	19.88	22.36	24.82	32.95
4	0,7	11.06	13.17	15.19	15.83	17.80	19.76	26.23
5	0,7	9.34	11.12	12.82	13.37	15.03	16.69	22.15
6	0,7	8.17	9.72	11.21	11.68	13.14	14.59	19.37

(Sumber: Hasil Analisis)

4.1.4. Perhitungan Debit Banjir Rencana

. Besarnya debit rencana dapat ditentukan berdasarkan besarnya curah hujan rencana dan karakteristik daerah aliran sungai. Berdasarkan penelitian Muhammad Always (2016) mengenai “Pengendalian Banjir Sungai Tallo Bagian Hilir Dengan Menggunakan Debit Banjir Rancangan” debit banjir terpilih dengan grafik creager yaitu Metode Nakayasu, sehingga dalam penelitian

perhitungan debit banjir rencana menggunakan metode Nakayasu.

Adapun data yang diperlukan untuk menganalisis yaitu:

Data – Data Sub DAS Tallo Hulu:

Luas DAS (A)	=	70.85	km ²
Panjang Sungai Utama (L)	=	18.53	km
Koefisien (α)	=	2	
Waktu Kelambatan (tg)	=	1.47	jam
Waktu Puncak (Tp)	=	2.36	jam
Durasi Hujan (Tr)	=	1.11	jam
Waktu Saat Debit sama dengan 0,3 kali debit puncak ($t_{0.3}$)	=	2.95	jam
Debit Puncak Banjir Qp	=	5.38	m ³ /dt
$tp + t_{0.3}$	=	5.31	jam
$tp + t_{0.3} + 1.5 + t_{0.3}$	=	9.73	jam
$0.5 t_{0.3}$	=	1.47	jam
$1.5 t_{0.3}$	=	4.42	jam
$2 t_{0.3}$	=	5.90	jam

Tabel 4.19. Debit Banjir Rencana Kala Ulang 5 Tahun Sub DAS Tallo Hulu

Waktu (jam)	Q (m ³ /dt/mm)	Curah Hujan Efektif						Total Debit (m ³ /dt)
		68.5 (mm)	17.8 (mm)	12.5 (mm)	9.9 (mm)	8.4 (mm)	7.3 (mm)	
0	0.00	0.0						0.00
1	0.69	46.9	0.0					46.95
2	3.62	248	12.2	0.0				260.01
3	4.14	284	64.4	8.6	0.0			356.70
4	2.75	189	73.7	45.2	6.8	0.0		314.38
5	1.83	125	49.0	51.7	36.0	5.8	0.0	267.90
6	1.34	91.6	32.6	34.4	41.2	30.4	5.0	235.18
7	1.02	69.8	23.8	22.9	27.4	34.8	26.6	205.16
8	0.78	53.2	18.1	16.7	18.2	23.1	30.4	159.72
9	0.59	40.5	13.8	12.7	13.3	15.4	20.2	115.91
10	0.46	31.4	10.5	9.7	10.1	11.2	13.4	86.42
11	0.37	25.6	8.2	7.4	7.7	8.6	9.8	67.24
12	0.30	20.9	6.7	5.7	5.9	6.5	7.5	53.13
13	0.25	17.0	5.4	4.7	4.6	5.0	5.7	42.34
14	0.20	13.9	4.4	3.8	3.7	3.8	4.3	34.02
15	0.17	11.3	3.6	3.1	3.0	3.1	3.4	27.57
16	0.13	9.2	2.9	2.5	2.5	2.6	2.7	22.48
17	0.11	7.5	2.4	2.1	2.0	2.1	2.2	18.33
18	0.09	6.1	2.0	1.7	1.6	1.7	1.8	14.94

Waktu (jam)	Q (m ³ /dt/mm)	Curah Hujan Efektif						Total Debit (m ³ /dt)
		68.5 (mm)	17.8 (mm)	12.5 (mm)	9.9 (mm)	8.4 (mm)	7.3 (mm)	
19	0.07	5.0	1.6	1.4	1.3	1.4	1.5	12.19
20	0.06	4.1	1.3	1.1	1.1	1.1	1.2	9.94
21	0.05	3.3	1.1	0.9	0.9	0.9	1.0	8.10
22	0.04	2.7	0.9	0.7	0.7	0.8	0.8	6.61
23	0.03	2.2	0.7	0.6	0.6	0.6	0.7	5.39
24	0.03	1.8	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	4.39
25	0.02	1.5	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	3.58
26	0.02	1.2	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	2.92
27	0.01	1.0	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	2.38
28	0.01	0.8	0.3	0.2	0.2	0.2	0.2	1.94
29	0.01	0.6	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	1.58
30	0.01	0.5	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	1.29
31	0.01	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.05
32	0.01	0.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.86
33	0.00	0.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.70
34	0.00	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.57
35	0.00	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.47
36	0.00	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.38
37	0.00	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.31
38	0.00	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.25
39	0.00	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.21
40	0.00	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.17

(Sumber: Hasil Analisis)

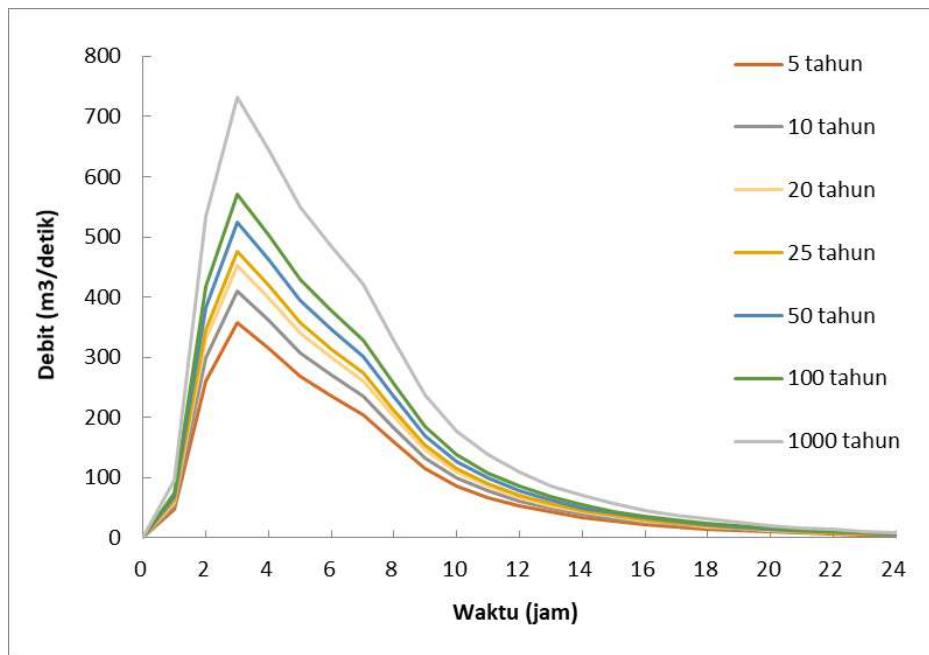
Perhitungan yang sama juga dilakukan untuk kala ulang yang lainnya. Berikut merupakan rekapiyulasi perhituanan debit banjir rancagan sub DAS Tallo Hulu dengan Metode Nakayasu :

Tabel 4.20. Rekapitusi Debit Banjir Rencana Sub DAS Tallo Hulu

Waktu (jam)	Debit Banjir Kala Ulang						
	5 Tahun (m ³ /dt)	10 Tahun (m ³ /dt)	20 Tahun (m ³ /dt)	25 Tahun (m ³ /dt)	50 Tahun (m ³ /dt)	100 Tahun (m ³ /dt)	1000 Tahun (m ³ /dt)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	46.95	53.93	59.56	62.58	68.94	75.23	96.35
2	260.01	298.66	329.82	346.59	381.78	416.65	533.58
3	356.70	409.74	452.47	475.49	523.76	571.60	732.01
4	314.38	361.13	398.79	419.08	461.62	503.78	645.17
5	267.90	307.74	339.83	357.12	393.37	429.30	549.78
6	235.18	270.15	298.33	313.50	345.33	376.87	482.63

Waktu (jam)	Debit Banjir Kala Ulang						
	5 Tahun (m ³ /dt)	10 Tahun (m ³ /dt)	20 Tahun (m ³ /dt)	25 Tahun (m ³ /dt)	50 Tahun (m ³ /dt)	100 Tahun (m ³ /dt)	1000 Tahun (m ³ /dt)
7	205.16	235.67	260.25	273.49	301.25	328.76	421.03
8	159.72	183.47	202.60	212.91	234.52	255.94	327.77
9	115.91	133.14	147.03	154.51	170.19	185.74	237.86
10	86.42	99.27	109.62	115.20	126.89	138.48	177.34
11	67.24	77.24	85.29	89.63	98.73	107.75	137.98
12	53.13	61.03	67.40	70.83	78.02	85.14	109.04
13	42.34	48.64	53.71	56.44	62.17	67.85	86.89
14	34.02	39.08	43.16	45.35	49.95	54.52	69.82
15	27.57	31.67	34.97	36.75	40.48	44.18	56.57
16	22.48	25.82	28.51	29.96	33.01	36.02	46.13
17	18.33	21.05	23.25	24.43	26.91	29.37	37.61
18	14.94	17.17	18.96	19.92	21.94	23.95	30.67
19	12.19	14.00	15.46	16.24	17.89	19.53	25.01
20	9.94	11.41	12.60	13.24	14.59	15.92	20.39
21	8.10	9.31	10.28	10.80	11.90	12.98	16.63
22	6.61	7.59	8.38	8.81	9.70	10.59	13.56
23	5.39	6.19	6.83	7.18	7.91	8.63	11.05
24	4.39	5.04	5.57	5.85	6.45	7.04	9.01
25	3.58	4.11	4.54	4.77	5.26	5.74	7.35
26	2.92	3.35	3.70	3.89	4.29	4.68	5.99
27	2.38	2.73	3.02	3.17	3.50	3.82	4.89
28	1.94	2.23	2.46	2.59	2.85	3.11	3.98
29	1.58	1.82	2.01	2.11	2.32	2.54	3.25
30	1.29	1.48	1.64	1.72	1.90	2.07	2.65
31	1.05	1.21	1.33	1.40	1.55	1.69	2.16
32	0.86	0.99	1.09	1.14	1.26	1.38	1.76
33	0.70	0.80	0.89	0.93	1.03	1.12	1.44
34	0.57	0.66	0.72	0.76	0.84	0.91	1.17
35	0.47	0.53	0.59	0.62	0.68	0.75	0.95
36	0.38	0.44	0.48	0.51	0.56	0.61	0.78

(Sumber: Hasil Analisis)



Gambar 4.2 Hidrograf Banjir Sub DAS Tallo Metode Nakayasu
(Sumber : Hasil Analisis)

Untuk debit banjir rencana sub DAS Mangalarang dilakukan perhitungan yang sama tahapannya dengan sub DAS Tallo, sehingga rekapitulasi debit banjir rancangan untuk sub DAS mangalarang dapat dilihat pada tabel berikut:

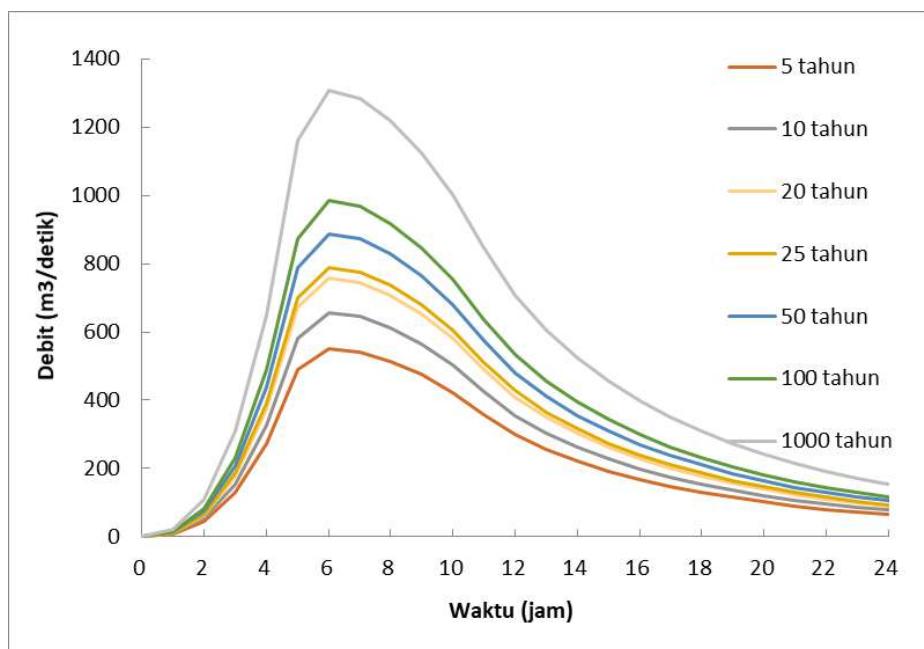
Data – Data Sub DAS Mangalarang:

Luas DAS (A)	=	168,29	km^2
Panjang Sungai Utama (L)	=	49,25	km
Koefisien (α)	=	2	
Waktu Kelambatan (t_g)	=	3,26	jam
Waktu Puncak (T_p)	=	5,21	jam
Durasi Hujan (T_r)	=	2,44	jam
Waktu Saat Debit sama dengan 0,3 kali debit puncak ($t_{0,3}$)	=	6,51	jam
Debit Puncak Banjir Q_p	=	5.79	m^3/dt
$t_p + t_{0,3}$	=	11,72	jam
$t_p + t_{0,3} + 1.5 + t_{0,3}$	=	21,49	jam
$0.5 t_{0,3}$	=	3,26	jam
$1.5 t_{0,3}$	=	9,77	jam
$2 t_{0,3}$	=	13,03	jam

Tabel 4.21. Rekapitusi Debit Banjir Rencana Sub DAS Mangalarang

Waktu (jam)	Debit Banjir Kala Ulang						
	5 Tahun (m ³ /dt)	10 Tahun (m ³ /dt)	20 Tahun (m ³ /dt)	25 Tahun (m ³ /dt)	50 Tahun (m ³ /dt)	100 Tahun (m ³ /dt)	1000 Tahun (m ³ /dt)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1	8.40	9.99	11.53	12.01	13.51	15.00	19.91
2	46.49	55.34	63.83	66.53	74.82	83.06	110.26
3	130.30	155.11	178.90	186.45	209.69	232.77	309.03
4	273.65	325.74	375.70	391.55	440.38	488.85	648.99
5	489.17	582.29	671.61	699.94	787.22	873.86	1160.14
6	551.06	655.95	756.57	788.49	886.82	984.41	1306.91
7	541.88	645.03	743.97	775.36	872.04	968.01	1285.14
8	514.49	612.42	706.37	736.17	827.97	919.09	1220.18
9	474.54	564.88	651.53	679.01	763.69	847.73	1125.45
10	422.45	502.87	580.01	604.48	679.85	754.67	1001.91
11	356.41	424.26	489.34	509.98	573.58	636.70	845.29
12	298.42	355.23	409.72	427.00	480.25	533.10	707.75
13	255.37	303.99	350.62	365.41	410.97	456.20	605.66
14	220.40	262.35	302.59	315.36	354.69	393.72	522.70
15	191.58	228.05	263.03	274.13	308.31	342.24	454.36
16	167.62	199.53	230.14	239.84	269.75	299.44	397.54
17	147.56	175.65	202.60	211.14	237.47	263.61	349.96
18	130.45	155.29	179.11	186.66	209.94	233.04	309.39
19	115.33	137.28	158.34	165.02	185.60	206.02	273.52
20	101.96	121.36	139.98	145.89	164.08	182.14	241.80
21	90.13	107.29	123.75	128.97	145.05	161.02	213.77
22	80.27	95.55	110.21	114.86	129.18	143.40	190.37
23	72.16	85.90	99.08	103.26	116.13	128.92	171.15
24	65.13	77.53	89.42	93.20	104.82	116.35	154.47
25	58.98	70.20	80.97	84.39	94.91	105.36	139.87
26	53.56	63.75	73.53	76.63	86.19	95.67	127.02
27	48.77	58.05	66.95	69.78	78.48	87.12	115.66
28	44.46	52.92	61.04	63.62	71.55	79.43	105.45
29	40.54	48.25	55.65	58.00	65.23	72.41	96.14
30	36.96	43.99	50.74	52.88	59.48	66.02	87.65
31	33.69	40.11	46.26	48.21	54.22	60.19	79.91
32	30.72	36.57	42.18	43.96	49.44	54.88	72.86
33	28.01	33.34	38.45	40.08	45.07	50.03	66.42
34	25.54	30.40	35.06	36.54	41.09	45.62	60.56
35	23.28	27.71	31.96	33.31	37.47	41.59	55.21
36	21.23	25.27	29.14	30.37	34.16	37.92	50.34

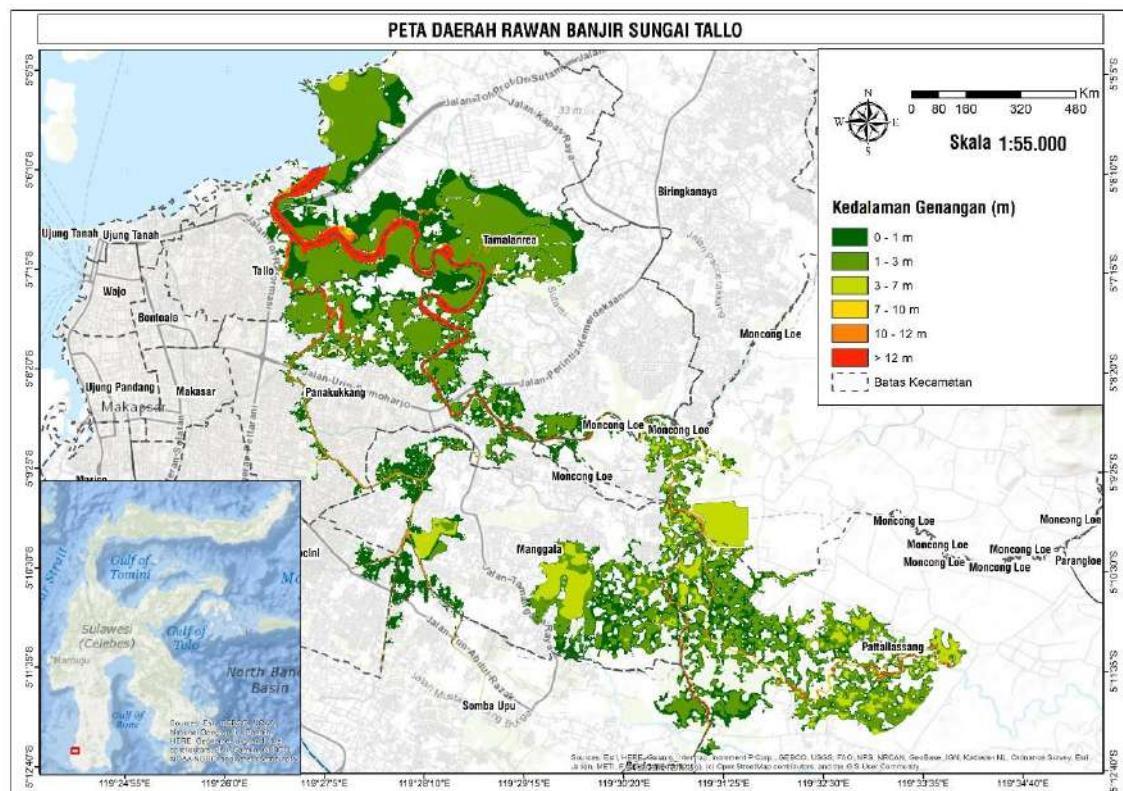
(Sumber: Hasil Analisis)



Gambar 4.3 Hidrograf Banjir Sub DAS Mangalarang Metode Nakayasu
 (Sumber : Hasil Analisis)

4.2. Kinerja Kondisi Eksisting Sungai Tallo

Setelah analisis hidrologi dilakukan, maka langkah selanjutnya yaitu analisis hidrolik untuk mengetahui kinerja Sungai Tallo pada saat ini. Analisis Hidrolik dilakukan dengan model aliran tidak permanen 2D dengan bantuan aplikasi HEC – RAS. Sungai Tallo berada pada daerah perkotaan dimana syarat debit banjir rancangan yang digunakan yaitu Q₂₀ – Q₅₀, sehingga pada penelitian kali ini simulasi banjir menggunakan banjir kala ulang 50 tahun hasil analisis dan data pasang surut diperoleh dari studi terdahulu (Pekerjaan SOP Banjir Sungai Tallo BBWS Pompengan Jeneberang, 2019). Berikut merupakan peta hasil simulasi banjir Sungai Tallo:



Gambar 4.4 Peta Daerah Banjir Sungai Tallo

(Sumber : Hasil Analisis)

Berdasarkan hasil pemetan daerah rawan banjir makassar dari hasil simulasi diatas dapat diketahui kinerja kondisi eksisting sungai tallo. Luas dari daerah – daerah yang terdampak banjir berdasarkan kecamatan yang ada di Makassar dapat dilihat pada tabel berikut :

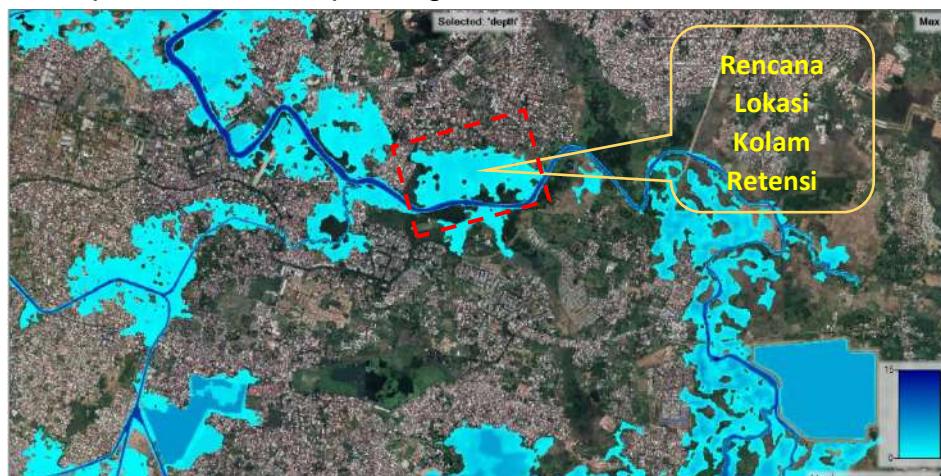
Tabel 4.22. Luas Daerah Terdampak Banjir Sungai Tallo

No.	Kecamatan	Luas Daerah Terdampak Banjir (km2)
1	Mangala	6.48
2	Rappocini	0.31
3	Panakukang	4.24
4	Tallo	3.37
5	Tamalanrea	11.59
6	Biringkanaya	0.01
Total		26,00

(Sumber: Hasil Analisis)

4.3. Sistem Drainase Berwawasan Lingkungan Untuk Mengatasi Banjir Kota Makassar

Melihat hasil simulasi banjir dan hasil survey lapangan maka dapat diambil kesimpulan bahwa air pasang sangat berpengaruh terhadap banjir yang terjadi di bagian hilir Sungai Tallo sehingga sangat perlu dilakukan revitalisasi Sungai Tallo dengan ecodrain yaitu kolam retensi. Dengan kolam rerensi diharapkan mampu menanggulangi banjir dengan memperlambat pertemuan antara air pasang dengan debit banjir dari hulu. Selain berfungsi menanggulangi banjir, kolam retensi juga berfungsi sebagai konservasi air karena mampu meningkatkan cadangan air tanah setempat. Berikut merupakan gambar lokasi rencana kolam retensi.



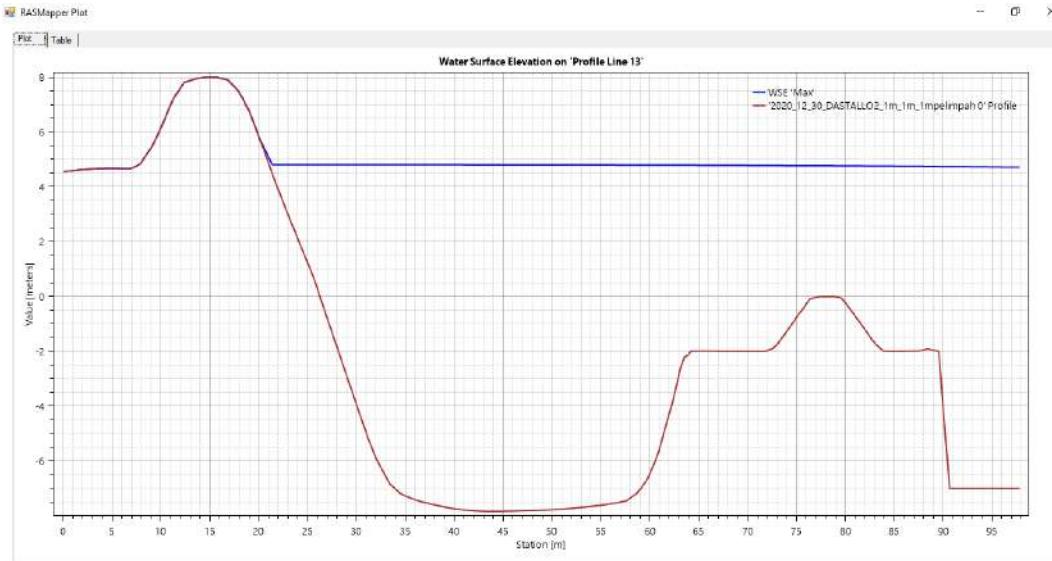
Gambar 4.5 Rencana Kolam Retensi Hilir

(Sumber : Hasil Analisis)

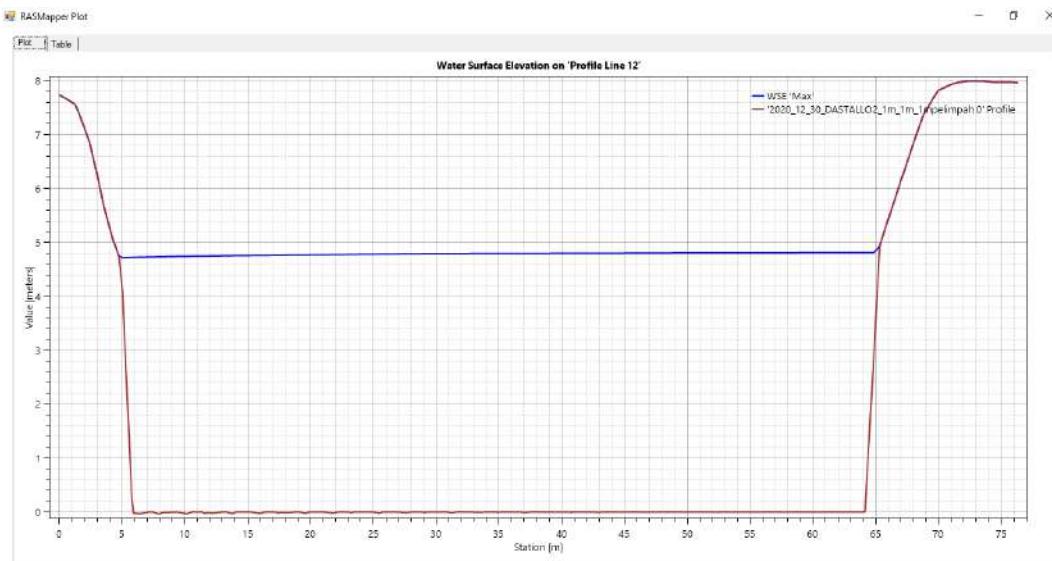
Kolam retensi hilir di rencanakan pada bagian hilir Sungai Tallo yaitu Kecamatan Tamalanrea pada koordinat $5^{\circ}10'3,13''\text{LS}$ dan $119^{\circ}31'10,93''\text{BT}$ dengan rancangan dimensi sebagai berikut

- Luas Kolam Retensi : $353783,47 \text{ m}^2$
- Elevasi Dasar Kolam : - 7,00 m
- Elevasi Pelimpah : + 0,00 m
- Panjang Pelimpah : 58,5 m

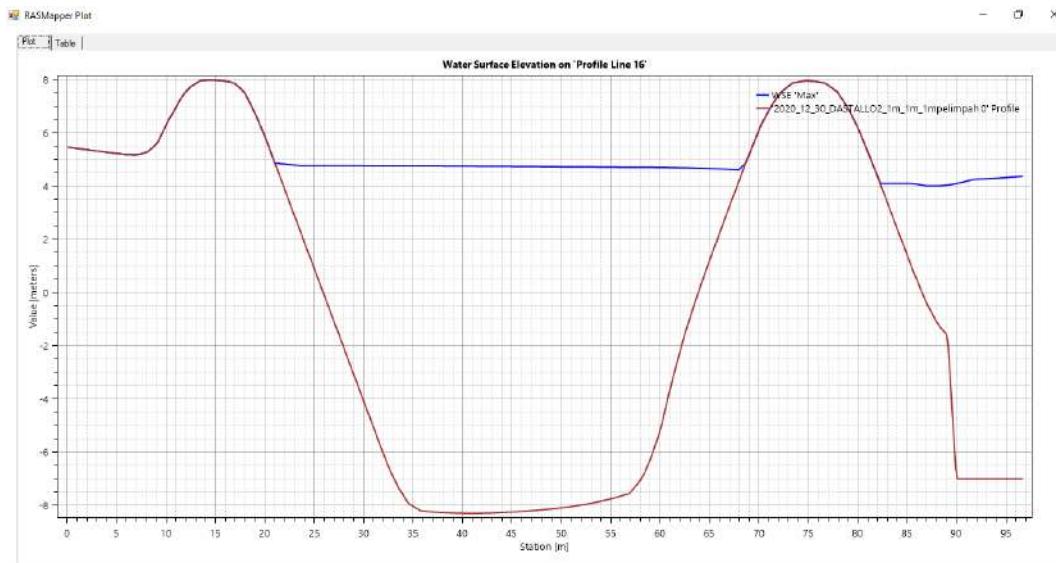
- Tinggi Tanggul Kolam : + 8,00
- Tinggi Tanggul Sungai : + 8,00
- Volume Tampungan Normal : 2,48 jt m³
- Volume Tampungan Maksimum : 5,31 jt m³



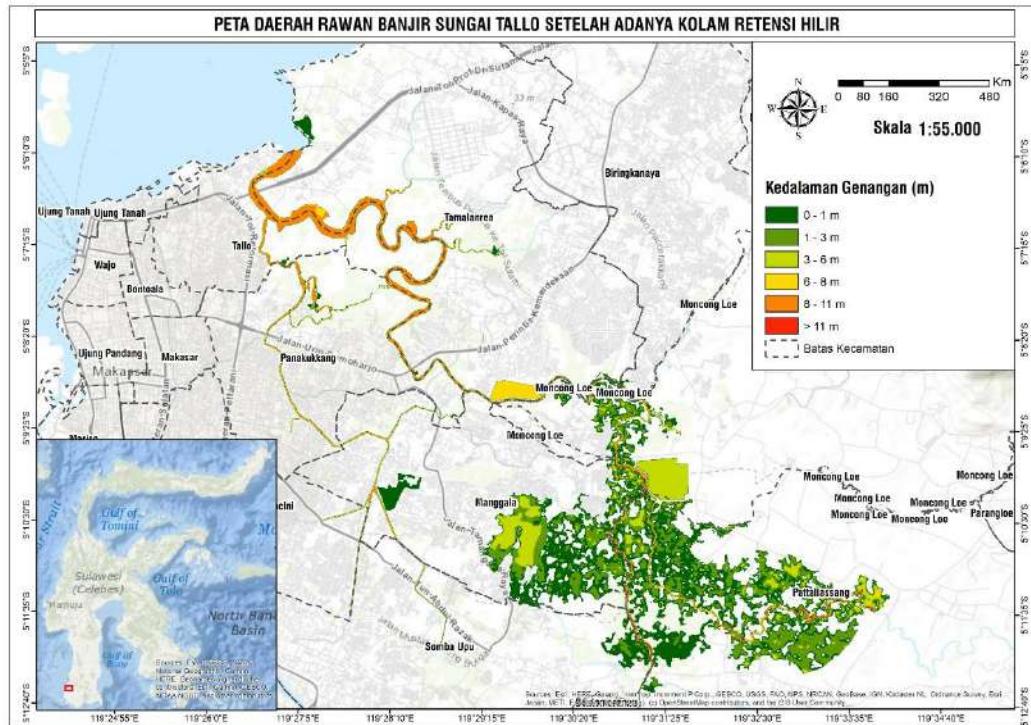
Gambar 4.6 Potongan Melintang Pelimpah Kolam Retensi



Gambar 4.7 Potongan Memanjang Pelimpah Kolam Retensi



Gambar 4.8 Potongan Melintang Tangkul Kolam dan Sungai
Berikut merupakan daerah terdampak banjir setelah adanya
kolam retensi hilir :



**Gambar 4.9 Peta Daerah Banjir Sungai Tallo Setalah Adanya
Kolam Retensi Hilir**
Sumber : Hasil Analisis

Berdasarkan gambar 4.4 dan 4.6 dapat dilihat perbedaan daerah terdampak banjir sebelum dan setelah adanya kolam retensi hilir, untuk lebih lengkapnya dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.23. Luas Daerah Terdampak Banjir Sungai Tallo Sebelum dan Setelah Adannya Kolam Retensi Hilir

No.	Kecamatan	Luas Daerah Terdampak Banjir Sebelum Kolam Retensi Hilir (km ²)	Luas Daerah Terdampak Banjir Setelah Kolam Retensi Hilir (km ²)	Selisih (km ²)
1	Manggala	6.48	4,94	1.54
2	Rappocini	0.31	0.05	0,26
3	Panakukang	4.24	0,61	3.63
4	Tallo	3.37	0.92	2,45
5	Tamalanrea	11.59	1.77	9,82
6	Biringkanaya	0.01	0.01	0,00
Total		26,00	8,30	17,70

(Sumber: Hasil Analisis)

Berdasarkan tabel diatas total luas genangan yang dapat direduksi dari adanya kolam retensi hilir sebesar 17,70 km².

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Debit banjir hulu yang masuk ke dalam Sungai Tallo dibagi menjadi 2 Sub DAS yaitu Sub DAS Tallo Hulu dan Sub DAS Mangalarang dengan debit banjir masing – masing sebesar $Q_{50} = 523,76 \text{ m}^3/\text{det}$ dan $Q_{50} = 886,82 \text{ m}^3/\text{det}$.
- 2) Luapan banjir Sungai Tallo menyebabkan 6 kecamatan terdampak banjir yaitu Manggala ($6,48 \text{ km}^2$), Rappocini ($0,31 \text{ km}^2$), Panakukang ($4,24 \text{ km}^2$), Tallo ($3,37 \text{ km}^2$), Tamalanrea ($11,59 \text{ km}^2$) dan Biringkanaya ($0,01 \text{ km}^2$). Sehingga luas total terdampak sebesar 26 km^2 . Banjir yang terjadi juga disebabkan karena pertemuan antara air pasang dan debit banjir hulu.
- 3) Solusi untuk mengatasi banjir Sungai Tallo dengan sistem drainase berwawasan lingkungan yaitu dengan rencana pembangunan kolam retensi hilir dengan volume tampungan total normal sebesar $2,48 \text{ jt m}^3$ dan tampungan maksimum sebesar $5,31 \text{ jt m}^3$ dapat mereduksi sekitar $17,7 \text{ km}^2$ luas daerah terdampak banjir

5.2. Saran

Adapun saran yang berkaitan dengan penelitian ini yaitu:

- 1) Perlu dilakukan penelitian lanjutan berupa studi kelayakan pemilihan lokasi kolam retensi yang dilanjutkan dengan studi detail pembangunan kolam retensi.

- 2) Perlu melakukan studi alternative untuk memperoleh solusi terbaik dalam mengatasi banjir sehingga muncul solusi yang akibat luapan Sungai Tallo di Kota Makassar

DAFTAR PUSTAKA

- Asdak, C. 1995, *Hidrologi dan Pengelolaan air sungai*. Gadjah Mada University Press, London.
- Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2014. Daftar Informasi Bencana Indonesia (DIBI). (Online), (<https://dibi.bnrb.go.id>), diakses 26 Februari 2021
- Badan Pusat Statistik, 2020, Makassar Dalam Angka 2020, Badan Pusat Statistik kota Makassar
- Chow, V.T., Maidment, D.R., and Mays, L.W. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Book Company. New York.
- wijayam, Alber. 2014. Evaluasi Drainase Perkotaan Dengan Metode HECRAS di Kota Nanga Bulik , Lamandu Propinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal Rekayasa Sipil*. Vol. 2, No.2, Agustus 2014, Hlm 104 – 115.
- Gautama. R.S. 2019. *Sistem Penyaliran Tambang*. ITB press. Bandung.
- Herlambang, Widhita Satya. 2015. Evaluasi Kinerja Sistem Drainase di Wilayah Jombang. Skripsi. Malang : Institut Teknologi Nasional Malang.
- Hidayat, Y. 2001. Aplikasi Model Answer dalam Memprediksi Erosi dan Aliran Permukaan di DTA Bodong Jaya dan DAS Way Besay Hulu, Lampung Barat. IPB. Bogor.
- Kementerian Pekerjaan Umum. 2011. Sistem Drainase Perkotaan. . (Online). <https://www.slideshare.net/infosanitasi/opsi-teknologi-drainase-permukiman>, diakses 31 Maret 2021
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. 2011. Modul Metode Pengendalian Banjir (Pelatihan Pengendalian Banjir). (Online).https://simantu.pu.go.id/epel/edok/41622_04_Modul_4_Metode_Pengendalian_Banjir.pdf , diakses 31 Maret 2021
- Kite, G.W. 1997. SLURP Hydrological Model, *Canadian Journal of Civil Engineering*. Canada.
- Kodoatje, J.R., 2009, Hidrologi Terapan Aliran pada Saluran Terbuka dan Pipa, Andi Publisher, Yogyakarta.

- Kodoatie J. R. dan Syarief R. 2013. Pengelolaan Sumber daya Air Terpadu. Andy, Yogyakarta.
- Mahardy, Andi Ikmal. 2014. Analisis dan Pemetaan Daerah Rawan Banjir di Kota Makassar Berbasis Spatial. Skripsi. Makassar Universitas Hasanuddin.
- Meddi M, Toumi S., 2015. Spatial Variability and Cartoghrapy of Maximum Annual Daily Rainfall Under Different Return Periods in the North of Algeria, *Journal of Mountain Science*, Vol 6, Hlm 12.
- Penna, D., Meerveld, H.J.T., Gobi, A., Borga, M., and Fontana, G. D., 2011. The Influence of Soil Moisture on Threshold Runoff Generation Processes in An Appline Headwater Catchment, *Journal Eropean Geoscience Union*, Vol 15, Hlm. 15-18.
- Roche,M. 1963. *Hydrologie de Surface*. ORSTOM. Gauthier-Vilars. Paris.
- R.Nigam, et al., 2014., Stochastic Modelling of Rainfall and Runoff phenomenon., *International Journal of Hydrology Science and Technology*, Vol 4, No.2, pp 81-109.
- Setyowati, D.L. 2010. Hubungan Hujan dan Limpasan pada Sub DAS Kecil Penggunaan Lahan Hutan, Sawah, Kebun Campuran di DAS Kreo. *Jurnal Geografi UMS*. Surakarta.
- Sosrodarsono, R. Takeda, K. 2003. *Hidrologi untuk pengairan*, PT. Pradnya Paramita, Cetakan ke 9. Jakarta.
- Soewarno., 1995 *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data*. Nova. Bandung.
- Suripin, Takeda. 2004. Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelaanjutan. Yogyakarta : Andi Offset.
- Triatmodjo, B. 2008. *Hidrologi Terapan*. Beta Offset. Yogyakarta.
- Titah. Khresna, 2013. "Evaluasi Saluran Drainase Pada Jalan Pasar 1 Di Kelurahan Tanjung Sari Kecamatan Medan Selayang.
- Verworn, A., and Haberlandt U., 2011, Spatial Interpolation of Hourly Rainfall-effect of Additional Information, Variogram Inference, and Storm Properties. *Journal of European Geoscience Union*, Vol.15, Hlm. 570-572.
- Zubair, A., Hatta, M.P., Rudyanto . 2014. Identifikasi Zona Genangan Banjir Kota Makassar Berbasis SIG (Online), (<https://dibi.bnppb.go.id>), diakses 31 Maret 202