

**TESIS**  
**STUDI PENETAPAN SISTEM PERINGATAN DINI BAHAYA BANJIR PADA**  
**SUNGAI TAMANROYA**

**DEVI AYU PUSPITA**

**D012182001**



**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**  
**GOWA**  
**2022**

**STUDI PENETAPAN SISTEM PERINGATAN DINI BAHAYA BANJIR PADA  
SUNGAI TAMANROYA**

**DEVI AYU PUSPITA**

**D012182001**



**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2022**

# TESIS

## STUDI PENETAPAN SISTEM PERINGATAN DINI BAHAYA BANJIR PADA SUNGAI TAMANROYA

Disusun dan diajukan oleh :

**DEVI AYU PUSPITA**

**Nomor Pokok D012182001**

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

pada tanggal 12 Januari 2022

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasehat,

Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, M.T.

Ketua

Dr. Eng. Ir. Mukhsan Putra Hatta, S.T., M.T.

Sekretaris

Ketua Program Studi  
S2 Teknik Sipil

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.



Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T

## PERNYATAAN KEASLIAN THESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Devi Ayu Puspita  
Nomor Mahasiswa : D012182001  
Program Studi : Teknik Sipil  
Konsentrasi : Keairan

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis ini hasil karya orang lain. Saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 12 Januari 2022

Yang menyatakan



Devi Ayu Puspita

## KATA PENGANTAR

Puji syukur yang sedalam-dalmya penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan limpahan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian dengan judul “**Studi Penetapan Sistem Peringatan Dini Bahaya Banjir Pada Sungai Tamanroya**”.

Penelitian ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan program studi S2 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Gowa.

Saya menyadari sepenuhnya dalam penulisan penelitian ini tidak akan terlaksana sebagaimana yang diharapkan tanpa adanya bantuan, arahan, dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini perkenankan penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Pembimbing utama Bapak **Dr. Eng. Ir. H Farouk Maricar, MT.** yang telah membimbing penulis dalam penulisan penelitian ini.
2. Pembimbing pendamping Bapak **Dr. Eng. Ir. Mukhsan Putra Hatta, ST., MT.** yang telah banyak membimbing penulis dalam penulisan penelitian ini.
3. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, MT.** (Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin)
4. Ibu **Dr. Eng. Rita Irmawaty, ST., MT.** (Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Magister Universitas Hasanuddin Gowa).

5. Para Dosen dan Staf Pascasarjana UNHAS dan Staf Prodi S2 Teknik Sipil yang telah membantu dan membimbing penulis selama mengikuti pendidikan pada Program Studi S2 Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Gowa.
6. Kedua Orang Tua dan saudara Marson Rubianto Eka Putra dan Eva Indra Sari yang terus memberikan dukungan dan semangat dalam menyelesaikan tesis ini.
7. Rekan mahasiswa Program Studi S3 Feri Fadlin dan Ibu Zulvyah Faisal, rekan mahasiswa penelitian Hadijah, Datu Karaeng Raja, dan mahasiswa- mahasiswa Program Studi S2 Universitas Hasanuddin khususnya Angkatan 2018 Jurusan Teknik Sipil Kosentrasi Keairan dan semua pihak yang telah membantu.

Penulis menyadari bahwa tesis ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu saran beserta kritikan yang membangun sangat diharapkan. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, Januari 2022

Devi Ayu Puspita

**DAFTAR ISI**

KATA PENGANTAR .....	ii
DAFTAR ISI.....	iv
DFTAR GAMBAR .....	vii
DAFTAR TABEL.....	ix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah .....	3
C. Tujuan Penelitian .....	4
D. Manfaat Penelitian .....	4
E. Ruang Lingkup Penelitian .....	4
F. Studi Terdahulu.....	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA .....	10
A. Banjir .....	10
B. Sistem Peringatan Dini.....	11
C. Analisa Hidrologi .....	17
1. Analisis Hujan Rancangan.....	17
2. Analsisi Intesitas dan Durasi Hujan.....	18
3. Unit Hidrograf .....	18

4. Debit Banjir .....	19
D. GIS (Geography Information System) .....	19
E. Pemodelan HEC-RAS.....	20
1. Pemodelan 1D.....	21
2. Pemodelan Aliran Tidak Permanen 2D (Unsteady Flow) .....	22
F. Soil Conservation Service Curve Number .....	24
E. Kerangka berfikir.....	28
.....	28
BAB III METODE PENELITIAN.....	29
A. LOKASI PENELITIAN .....	29
B. Data.....	30
C. Teknik Pengambilan Data .....	31
D. Prosedur Analisis Data.....	33
1. Analisis Hidrologi .....	33
2. Simulasi Numerik.....	36
3. Validasi model .....	37
4. Peta Rawan Banjir .....	37
5. Rancangan Model dan Posisi <i>Early Warning System</i> . .....	38
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	40
A. Karakteristik Daerah Aliran Sungai.....	40



1. Morfometri .....	40
2. Morfologi.....	41
3. Meteriologi .....	45
B. Penentuan Titik Peringatan Dini Bahaya Banjir .....	52
1. Analisa Simulasi .....	53
2. Validasi Data .....	54
3. Peta Rawan Banjir .....	56
4. Titik Peringatan Dini.....	58
5. Sistem berbasis sensor ultrasonic dan mikrokontroler dengan media komunikasi <i>Gate way</i> .....	65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	68
A. Kesimpulan .....	68
B. Saran .....	68
DAFTAR PUSTAKA.....	69

**DFTAR GAMBAR**

<b>Gambar 1.</b> Konsep Flood Early Warning System (FEWS) .....	14
<b>Gambar 2.</b> Skematisai Pembagian Sub-DAS .....	15
<b>Gambar 3.</b> Langkah utama simulasi aliran dengan model fisik ataupun model matematik (Isttiarto, 2014) .....	22
<b>Gambar 4.</b> Kerangka Berpikir .....	28
<b>Gambar 5.</b> Lokasi Penelitian.....	29
<b>Gambar 6.</b> Bagan alir perhitungan banjir rencana dengan software HEC-HMS versi 4.8.....	35
<b>Gambar 7.</b> Tiga tingkat bahaya banjir pada peringatan dini .....	38
<b>Gambar 8.</b> Bagan Alir Penelitian .....	39
<b>Gambar 9.</b> Peta Daerah Aliran Sungai Tamanroya .....	41
<b>Gambar 10.</b> Peta Tata Guna Lahan Daerah Aliran Sungai (DAS) .....	43
<b>Gambar 11.</b> Peta Kemiringan Lereng DAS Tamanroya .....	44
<b>Gambar 12.</b> Hidrograf banjir kala ulang 20 tahun .....	52
<b>Gambar 13.</b> Peta kecepatan aliran Sungai Tamanroya .....	54
<b>Gambar 14.</b> Lokasi Pengambilan arus sungai .....	55
<b>Gambar 15.</b> Peta rawan banjir Sungai Tamanroya.....	57
<b>Gambar 16.</b> Rencana pemasangan titik pantau pada jembatan.....	59
<b>Gambar 17.</b> Posisi Peringatan Dini Bahaya Banjir Sungai Tamanroya....	59
<b>Gambar 18.</b> Kondisi penampang sungi normal .....	61
<b>Gambar 19.</b> Kondisi penampang sungai untuk kondisi waspada.....	61

<b>Gambar 20.</b> Kondisi penampang sungai untuk kondisi siaga .....	62
<b>Gambar 21.</b> Kondisi penampang sungai kondisi Awas .....	62
<b>Gambar 22.</b> Tingkat bahaya banjir untuk peringatan dini banjir .....	63
<b>Gambar 23.</b> Skema Sistem Pemberitahuan Peringatan Dini Sungai Tamanroya.....	64
<b>Gambar 24.</b> Blok Diagram Sistem .....	65
<b>Gambar 25.</b> Rancangan Sensor Ultrasonik terhubung dengan mikrokontroler .....	66

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 1.</b> Perbandingan penelitian dengan penelitian sebelumnya .....	6
<b>Tabel 2.</b> Nilai CN beberapa tata guna lahan .....	24
<b>Tabel 3.</b> Jenis dan Sumber Data .....	30
<b>Tabel 4.</b> Teknik Pengumpulan Data.....	31
<b>Tabel 5</b> Luas tata guna lahan DAS Tamanroya .....	42
<b>Tabel 6.</b> Data curah hujan maximum.....	46
<b>Tabel 7.</b> Harga koefisien pada masing-masing metode analisis frekuensi untuk uji distribusi hujan .....	47
<b>Tabel 8.</b> Hasil perhitungan curah hujan rencana metode log pearson III untuk berbagai kala ulang .....	47
<b>Tabel 9.</b> Perhitungan hujan netto jam-jam.....	48
<b>Tabel 10.</b> Perhitungan Nilai CN dan Impervious.....	49
<b>Tabel 11.</b> Hasil perhitungan variabel SCS Curve Number DAS Tamanroya .....	50
<b>Tabel 12.</b> Hasil perhitungan debit banjir DAS Tamanroya .....	51
<b>Tabel 13.</b> Inputan data simulasi.....	53
<b>Tabel 14.</b> Perbandingan hasil simulasi dan pengukuran data lapangan ..	55
<b>Tabel 15.</b> Kriteria mengenai tingkatan siaga banjir dan komando penanganannya .....	60

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Bencana alam adalah bencana yang diakibatkan oleh peristiwa atau serangkaian yang disebabkan oleh alam antara lain berupa gempa bumi, tsunami, gunung Meletus, kekeringan, angin topan, tanah longsor dan banjir. Salah satu bencana alam yang sering terjadi di beberapa daerah adalah banjir. Banjir dapat terjadi karena debit volume air yang mengalir pada suatu sungai atau saluran drainase melebihi atau diatas kapasitas pengalirannya. Menurut peraturan pemerintah No. 38 Tahun 2011 tentang Sungai diuraikan bahwa banjir adalah peristiwa meluapnya air sungai melebihi palung sungai. Aliran/ genangan air terjadi karena adanya luapan-luapan pada daerah di kanan atau kiri sungai akibat alur sungai tidak memiliki kapasitas yang cukup bagi debit aliran yang lewat (Asriningrum et al., 2015).

Hingga saat ini banjir masih menjadi masalah serius diberbagai daerah Indonesia. Tingginya curah hujan dalam waktu yang lama, daerah bebatuan yang daya serap airnya begitu kurang serta kebakaran hutan menjadi factor penyebab peristiwa banjir terjadi. Selain itu, pembangunan tempat pemukiman di daerah aliran sungai, penebangan hutan secara liar dan penanganan lingkungan juga menjadi factor yang mengaikbatkan banjir. Menurut Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI) sepuluh tahun terakhir yang dirilis oleh Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), bahwa banjir terbesar terjadi yaitu pada data tahun 2017, sekitar

1000 kejadian banjir yang tersebar di seluruh Indonesia, sedangkan ditahun 2019 terjadi sekitar 500 kejadian banjir, Oleh karena itu, banjir merupakan isu paling penting untuk masyarakat banyak, khususnya kawasan yang sering langganan terkena dampak banjir.

Di awal tahun 2019, Kabupaten Jeneponto mengalami banjir yang cukup parah dengan tinggi kisaran 100-200 m, mengakibatkan banyak rumah warga rusak sebanyak 470 unit sehingga 3.276 jiwa yg mengungsi. Akibat bencana ini menelan korban 15 jiwa dan kerusakan fasilitas Pendidikan sebanyak 41 unit. Hal ini diakibatkan hujan deras, sehingga sungai-sungai di Kabupaten Jeneponto mengalami peluapan salah satunya Sungai Tamanroya, merupakan sungai yang berada di Wilayah Sungai` Jeneberang di Kabupaten Jeneponto, dengan luas DAS yaitu; 281,43 km<sup>2</sup> dan Panjang sungai 86 km yang tercakup Kecamatan Tamlate, Bontoramba, dan Turatea.

Pemerintah telah berusaha dalam mengatasi banjir yang terjadi di Indonesia, diantaranya normalisasi sungai lewat pengerukan, penertiban pemukiman liar di bantaran sungai, dan sosialisai kepada warga untuk tidak membuang sampah di sungai. Namun usaha ini tidak mampu mengurangi dampak negative dari bencana banjir (Adhy Romdani et.al., 2017). Oleh sebab itu masyarakat juga harus mulai tanggap terhadap bencana alam yang bisa terjadi kapan saja. Salah satu bentuk ketanggapan terhadap bencana banjir yang dapat dilakukan yaitu dengan adanya Informasi peringatan dini. Dengan peringatan tersebut masyarakat dapat mempersiapkan diri, agar kerugian dapat ditekan seminim mungkin.

Sistem Peringatan Dini (*Early Warning System*) merupakan tindakan pencegahan yang meminimal resiko jatuhnya banyak korban ketika terjadi suatu bencana alam. Suatu sistem peringatan dini yang handal adalah sistem yang merupakan model dari suatu daerah tertentu, karena setiap daerah memiliki geomorfologi yang berbeda, sehingga ketika terjadi bencana, sistem tersebut akan memberikan informasi yang akurat dan terpercaya (Feriyonika et.al. 2008)

System peringatan dini banjir masih belum diterapkan di beberapa daerah yang cenderung terkena dampak banjir di Indonesia, salah satunya daerah Jeneponto Sulawesi selatan. Berdasarkan hal ini maka penulis akan mengangakat penelitian yang berjudul “**Studi Penetapan Sistem Peringatan Dini Bahaya Banjir Sungai Tamanroya**”. Sehingga melalui penelitian ini makan didapatkan lokasi yang tepat untuk penentuan titik *Early warning system* yang nantinya dapat dimaanfatkan sebagai alat yang akan memberi tahu adanya peringatan bahaya banjir.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas beberapa permasalahan yang terjadi dapat dirumuskan dalam penelitian sebagai berikut.

1. Bagaimana Karakteristik Daerah Aliran Sungai Tamanroya?
2. Bagaimana Penentuan titik Early Warning Sytem Banjir?

### **C. Tujuan Penelitian**

Adapun tujuan penelitian anatar lain:

1. Menganalisis karakteristik Daerah Aliran Sungai Tamanroya.
2. Mengenalisis dan menentukan titik *Early Warning System*.

### **D. Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini antara lain adalah :

1. Sebagai bahan masukan sistem peringatan dini bahaya banjir terhadap masyarakat yang berpenduduk di kecamatan Bontoramba dan Tamalate, dan masyarakat lainnya yang berpenghuni di sekitar Sungai Tamanroya.
2. Di harapkan hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat untuk penelitian-penelitian selanjutnya.

### **E. Ruang Lingkup Penelitian**

Ruang lingkup penelitian ini diklasifikasikan dalam dua wilayah yaitu, substansi dan wilayah.

1. Wilayah penelitian ini mencakup Sungai orde 1 Tamanroya Kabupaten Jeneponto dan Gowa.
2. Ruang lingkup Subtantif mencakup.
  - a. Analisis Hidrologi
  - b. Analisis topografi untuk penentuan batas DAS
  - c. Simulasi aliran 2D menggunakan model numerik



## **F. Studi Terdahulu**

Terdapat beberapa penelitian terdahulu yang mirip dan berkaitan dengan penelitian ini. Ada penelitian beberapa penelitian yang memiliki tujuan yang mirip namun beberapa perbedaan seperti metode perhitungan yang digunakan, lokasi penelitian dan skenario penanganan. Perbedaan metode yang digunakan, pembahasan, dan skenario penanganan tergantung dari DAS yang ditinjau, karena setiap DAS memiliki karakteristik tersendiri

**Tabel 1.** Perbandingan penelitian dengan penelitian sebelumnya

No.	Penulis	Judul	Sumber	Metode	Perbedaan	Hasil
1	Hafiz, M D Nor, L M Sidek, H Basri K Fukami, M N Hanapi, L Livia	<i>Flood Forecasting and early Warning System For Dungu River</i>	4 <sup>th</sup> International Conference on Energy and Environment 2013 (ICEE)	Menggunakan <i>Intergrated Flood Analysis System</i> (IFAS) untuk mensimulasikan model limpasan	Menggunakan Aplikasi HEC-RAS untuk mensimulasikan area genangan banjir.	Peta genangan pada cekungan sungai Dungu
2	Catherine C. Abon dan Carlos Primo C. David	<i>Community-Based Monitoring for Flood Early Warning System</i>	Disaster Prevention and management 2012	menggunakan HEC-RAS 1 Dimensi untuk memodelkan saluran	Menggunakan HEC-RAS 2 Dimensi untuk memodelkan area genangan	- Penggambaran batas banjir. - Waktu kejadian banjir.
3	Aliakbar Matkan, Alireza Shakiba, Hussain Pourali, dan Hamid Azari	<i>Flood Early Warning With Integration of Hydrologic and Hydraulic Models, RS dan GIS (Case Study: Madarsoo basin Iran)</i>	World Applied Science Journal, 2009	- Menggunakan HEC-RAS, dan GIS untuk memetakan genangan banjir. - Menggunakan ModClark dan curah hujan grid untuk mendapatkan hidrograf banjir pada model hidrologi.	- HEC-HMS untuk membagi 3 sub Das - Menggunakan metode HEC-RAS	- Peta area genangan banjir - Waktu jeda yang dibutuhkan yaitu 33 jam
4	Petrus Syariman dan Segel Ginting	Peringatan Dini Banjir Berbasis Data Hidrologi Telemetry di DAS Citarum Hulu	Jurnal Teknik Hidraulik, Vol 2. No, 2 Desember 2011	Analisis data hujan dan hidrograf muka air sesaat pada lokasi pos yang tersedia secara tepat waktu, serta analisis waktu perjalanan banjir.	Menganalisis hidrologi menggunakan untuk memberikan hidrograf banjir serta menganalisis waktu perjalanan banjir menggunakan HEC-RAS software	- Jeda waktu yang ditunjukkan anantara kejadian hujan samapi terjadinya awal naik muka air berkisar antara 1-3 jam dengan rata-rata sekitar 3 jam. - Waktu perjalanan air dari

						Dayeuhkolot ke Nanjung sekitar 5 jam.
5	Segel Ginting dan William M. Putuhena	Sistem Peringatan Dini Banjir Jakarta	Jurnal Sumber Daya Air , Vol. 10, No.1, Mei 2014	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Intilasi alat terhadap Pos hujan untuk menambah kerapatan jaringan pos pemantauan curah hujan yang sudah ada.</li> <li>- <i>Numerical Weather Prediction</i> (NWP) untuk memodelkan gambaran kondisi iklim pada masa mendatang.</li> </ul>	-	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Informasi yang sangat berguna bagi pengambil keputusan.</li> <li>- Muka air dan debit sungai</li> <li>- Perkiraan gelombang laut.</li> </ul>
6	Lawal Billa, Shattri Mansor, and Ahmad Rodzi Mahmud	<i>Spatial Information technology in flood early warning system: an overview of theory, application and latest developments in Malaysia</i>	Disarter Prevention and Management Vol. 13 No. 5, 2004	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menggunakan MIKE 11 Software untuk mensimulasikan debit banjir dan tinggi muka air</li> <li>- Menggunakan MIKE dan GIS untuk memetakan area rawan banjir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menggunakan HEC-HMS untuk menghitung hidrologi</li> <li>- Menggunakan HEC-RAS untuk simulasi banjir</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Peta area rawan banjir</li> </ul>
7	Carles Corral, Marc Berenguer, Daniel Sempere-Torres, Laura Poletti, Francesco Silvestro, Nicola Rebora.	<i>Comparison of Two Early Warning System For Regional Flash Flood Hazard</i>	Journal of Hydrology EISEVIER 2019	Perbandingan EWS di dua area dengan menggunakan data informasi <i>Digital Elevation Model</i> (DEM) dengan resolusi 0.005 derajat pada garis lintang dan memanjang.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menggunakan Digital Elevation Model (DEM) dengan resolusi 8 m untuk memetakan kondisi permukaan sungai</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Titik kontrol yang tersedia menunjukkan persetujuan yang baik antara dua EWS dalam jangka evolusi dan besarnya tingkat estimasi bahaya</li> </ul>

8	Zhaeo Li, Hongbo Zhang, Vijay P. Singh, Roihong Yu, Shuqi Zhang	<i>A Simple Early Warning System for Flash Flood in an Ungauged Catchment Area and Application in the Loess Plateu, China.</i>	Water 2019	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Satuan Hidrograf seketika untuk memperhitungkan desain banjir.</li> <li>- Penggabungan <i>flow comparison method</i> (FCM) dan <i>rainfall comparison method</i> (RCM) untuk Perhitungan curah hujan kritis</li> </ul>	Menggunakan HSS Nakayasu untuk memberika debit banjir	Pemantauan Curah hujan dan tinggi muka air pada waktu tepat, dan Pemberian signal peringatan ketika index mencapai ambang batas.
9	Hauwei Tu, Xiekang Wang, Wanshun Zhang, Hong Peng, Qian Ke, and Xiaomin Chen	<i>Flash Flood Early Warning Coupled With Hydrological Simulation and Rising Rate of the Flood Stage in a Mountainous Small Watershed in Sichuan Province, China</i>	Water 2020	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menggunakan HEC-HMS untuk mendapatkan hidrograf banjir.</li> <li>- DAS dibagi menjadi 15 Sub Das</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menggunakan 1 DAS</li> <li>- Menggunakan HEC-RAS</li> </ul>	- Memberikan indicator peringatan dini pada DAS Baisha.
10	Ariani Budi Safarina, Ramli, Muhammad Shiddiq Hashuro	<i>Two Alert Flood Early Warnig System Method Based On Rainfall Runoff Model</i>	International journal of Civil Engineering and technology (IJCET) 2017	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Menggunakan satuan hidrograf Nakayasu.</li> <li>- Pengukuran <i>long cross</i> untuk mendapatkan tinggi muka air.</li> </ul>	Menggunakan Peta DEM untuk mendapatkan Long cross	Laporan berbasis SMS yang berasal dari alarm data log <i>remote sensing</i> .
11	Devi Ayu Puspita	Studi Penetapan Sistem Peringatan Dini Bahaya Banjir di Sungai Tamanroya		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Analisa debit banjir</li> <li>- Menggunakan HEC-RAS 2D untuk menganalisis sebaran banjir berdasarkan data topografi yang diperoleh dan kecepatan rambat banjir</li> </ul>		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kapasitas volume air pada S, Taman Roya</li> <li>- Kecepatan rambat banjir pada S. tamanroya.</li> <li>- Posisi sistem peringatan dini</li> </ul>

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **A. Banjir**

Banjir adalah suatu kejadian dimana air didalam saluran meningkat dan melampaui kapasitas daya tampungannya. Terdapat bermacam banjir yaitu banjir hutan ekstrim, banjir kiriman, banjir hulu, banjir rob, dan banjir bandang. Setiap jenis banjir tersebut memiliki karakteristik yang khas (Adi, 2013).

Menurut Sebastian Ligal (2008) Akibat bencana banjir, bangunan-bangunan akan rusak atau hancur yang disebabkan oleh daya terjang air banjir, terseret arus , daya kikis genangan air, longsornya tanah di seputar/di bawah pondasi, tertabrak/terkikis oleh benturan benda-benda yang terseret arus. Kerugian cenderung lebih besar bila letak bangunan di lembah-lembah pegunungan dibanding di dataran rendah terbuka. Banjir dadakan kan menghantam apa saja di laluinya.

Menurut Arief Rosyidie 2013 dalam Kodoatie dan Syarief (2006) menjelaskan faktor penyebab banjir antara lain; perubahan guna lahan, pembuangan sampah, erosi dan sedimentasi, kawasan kumuh di sepanjang sungai, sistem pengendalian banjir yang tidak tepat, curah hujan tinggi, fisiografi sungai, kapasitas sungai yang tidak memadai, pengaruh air pasang, penurunan tanah, bangunan air, kerusakan bangunan pengendali banjir. Terjadinya banjir juga dipengaruhi oleh kegiatan manusia atau

pembangunan yang kurang memperhatikan kaidah-kaidah konservasi lingkungan. Banyak pemanfaatan ruang yang kurang memperhatikan kemampuannya dan melebihi kapasitas daya dukungnya.

Cara mencegah banjir bermacam macam, kita harus bisa mencegahnya sebelum terjadinya bencana tersebut. Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk menanggulangi banjir dengan memanfaatkan alat pendeteksi banjir. Dengan adanya alat tersebut masyarakat di dekat pusat banjir bisa mengetahui lebih awal terjadinya bencana. Namun pembuatan alat-alat tersebut membutuhkan dana yang tidak sedikit bahkan bisa menyita waktu serta pengujian yang lama serta tidak semua orang bisa membuatnya karena memerlukan keahlian khusus atau dikatakan cukup rumit (Satria et al., 2017).

## **B. Sistem Peringatan Dini**

Sistem Peringatan Dini Banjir (*Early Warning System*) sebagai salah satu upaya non struktur pengendali bencana banjir merupakan satu elemen utama dalam mengurangi resiko bencana. Sistem Ini dapat mengurangi kerugian jiwa maupun harta benda terjadinya bencana. Khusus untuk bencana Banjir, system peringatan dini datangnya banjir pada prinsipnya dimaksudkan supaya masyarakat yang bermukim di daerah rawan banjir baik di hulu maupun di hilir suatu DAS, dapat memperoleh informasi lebih awal tentang besaran banjir yang mungkin terjadi dan agar waktu evakuasi korban memadai sehingga resiko yang ditimbulkan dapat diminimalkan.

Sistem peringatan dini datangnya banjir di Indonesia Sangat Penting, karena intensitas dan keragaman hujan menurut ruang dan waktu sangat tinggi sehingga banjir dapat terjadi secara tiba-tiba atau yang dikenal dengan banjir bandang. Selain itu hujan besar biasanya terjadi pada sore sampai malam hari sehingga debit puncak umumnya pada malam hari. (Windarta, 2009)

Menurut Zulfatman 2018 Informasi peringatan dini ini merupakan informasi awal yang dapat digunakan oleh berbagai pihak yang terkait pencegahan dan penanggulangan bencana, baik pemerintah maupun kelompok masyarakat daerah yang berpotensi terpapar bencana banjir bandang. Namun, merancang perangkat peringatan dini yang dapat ditempatkan jauh di hulu sungai dan dapat mengirimkan informasi dengan cepat merupakan tantangan tersendiri.

Ada banyak perangkat yang sudah dikembangkan untuk mengurangi risiko bencana banjir, di antaranya perangkat dengan metode *Flood Forecasting and Warning System (FFWS)*. Metode ini merupakan metode yang dianggap paling efisien dan akurat., anatar lain

1. FFWS merupakan peringatan dini yang dilengkapi dengan prediksi (perkiraan) besar dan kapan banjir akan terjadi, yang disampaikan kepada publik dan pihak bertanggung jawab terkait secara *real-time* menggunakan perangkat yang informasinya mudah untuk diterima. Kemudian, ada juga perangkat *Early Warning System (EWS)* berbasis SMS dan *Web* dikembangkan mengantisipasi dini banjir di Semarang

2. Pengembangan terhadap perangkat EWS pada umumnya menggunakan beragam sensor dan algoritma untuk mendeteksi kondisi lingkungan sekitar dan memprediksi datangnya bencana. Kedua jenis perangkat tersebut dikembangkan untuk daerah yang sudah memiliki jaringan listrik dan dapat dijangkau oleh jaringan sistem telekomunikasi basis data, bukan di hulu sungai.

Untuk melakukan peringatan dini banjir (*flood early warning*) terdapat beberapa tahapan untuk dapat tercapainya hasil secara efektif. Tahapan-tahapan tersebut (Ginting & M. Putuhena, 2014).

1. **Detection**

tahapan ini, data tepat waktu (*real time*) di monitor dan di proses untuk mendapatkan informasi tentang banjir yang mungkin terjadi. Informasi tersebut selanjutnya diteruskan untuk melakukan peringatan (*warning*) tanpa melalui *forecasting*. Pada tahapan ini diperlukan juga *filter* terhadap data yang ada karena data yang diperoleh dari lapangan belum tentu memiliki kualitas baik.

2. **Forecasting**

tahapan ini dilakukan prakiraan terhadap curah hujan, tinggi muka air atau debit aliran banjir serta waktu datangnya banjir tersebut. Dengan diketahuinya kejadian banjir tersebut maka dapat diteruskan untuk melakukan peringatan (*warning*).

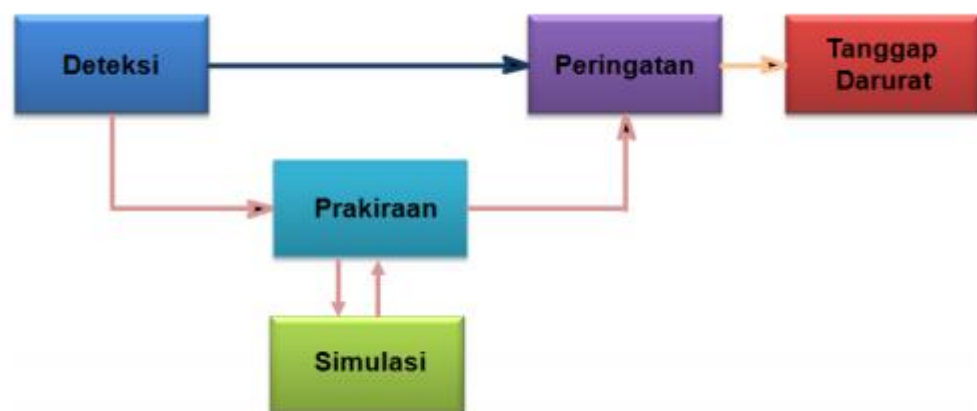


### 3. *Warning dan Dissemination*

Tahapan ini merupakan faktor kunci sukses dalam sistem peringatan dini banjir (*flood early warning*). Tahapan ini menggunakan informasi yang diperoleh dari tahapan detection ataupun forecasting. Pihak yang bertanggung jawab menyebarkan informasi tersebut untuk dapat meminimalisasi resiko yang ditimbulkannya.

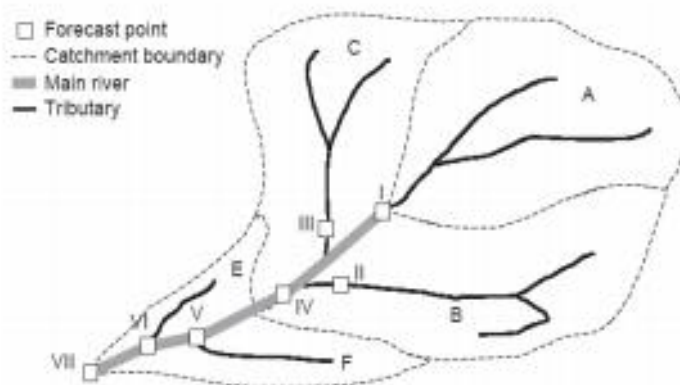
### 4. *Response*

anggap terhadap isu peringatan banjir, dan hal ini merupakan yang sangat penting untuk tercapainya tujuan pelaksanaan peringatan dini banjir. Jika tujuan dari peringatan dini banjir adalah untuk mengurangi kerugian materil maupun non materil, maka diperlukan personil yang tanggap secara cepat dan tepat dalam melakukan evakuasi apabila banjir benar-benar terjadi. Tahapan-tahapan tersebut dapat diilustrasikan melalui diagram seperti dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 1.** Konsep *Flood Early Warning System* (FEWS)

Pembagian antara lahan dan saluran sungai mungkin agak berubah-ubah, tetapi secara umum, saluran sungai dianggap sebagai sungai utama (sistem), sementara reaksi dari lahan adalah reaksi dari DAS atau sub-DAS sebelum aliran masuk ke dalam sistem sungai utama dapat di lihat gambar 4. Berdasarkan waktu karakteristik tersebut, Lettenmaier dan wood pada tahun 1993 telah menentukan empat kondisi, yaitu (Ginting & Syariman, 2011)



**Gambar 2.** Skematisai Pembagian Sub-DAS

- a.  $T_d < T_c$  atau  $T_s \ll T_c$ . Waktu tunggu yang diharapkan adalah sedemikian rupa sehingga peringatan yang akan diinformasikan dilakukan berdasarkan air yang sudah ada dalam saluran sungai utama; atau perbandingan waktu yang diperlukan oleh air untuk mengalir dari lahan ke dalam sungai kecil terhadap waktu yang diperlukan air untuk mengalir dari lahan ke dalam sungai kecil terhadap waktu yang diperlukan air untuk mengalir melalui sungai utama. Kondisi ini mungkin terjadi untuk prakiraan titik VII pada Gam

bar 3, dengan asumsi bahwa DAS E dan F hanya sedikit berpengaruh terhadap kejadian banjir.

- b.  $T_d < T_p$  dan  $T_s \gg T_c$ . Waktu tunggu yang diharapkan adalah sedemikian rupa sehingga peringatan yang akan diinformasikan dilakukan berdasarkan air yang masih ada pada lahan, dan waktu tanggap terutama ditentukan oleh waktu yang diperlukan untuk mengalir melalui sungai utama.
- c.  $T_d < T_p$  dan  $T_s \gg T_c$ . Waktu tunggu yang diharapkan adalah sedemikian rupa sehingga peringatan yang akan diinformasikan dilakukan berdasarkan air yang masih ada pada lahan, dan waktu tanggap terutama oleh waktu yang diperlukan untuk mengalir dari lahan ke dalam saluran sungai.
- d.  $T_d > T_p$ . Waktu tunggu yang diharapkan adalah sedemikian rupa sehingga peringatan yang akan diinformasikan dilakukan berdasarkan air yang belum jatuh sebagai hujan. Untuk kondisi ini perkiraan cuaca diperlukan juga untuk perkiraan tepat pada waktunya.

Peringatan dini banjir di daerah hulu dapat dilakukan dengan cara Identifikasi jenis material yg terbawa arus banjir. Jika banyak material non tanah terangkut aliran maka cenderung akan terjadi banjir besar. Banyaknya material non tanah (ranting dan batang pohon) yang terangkut dapat menunjukkan besarnya kekuatan air yang mengangkutnya. Dengan demikian bila material yang terangkut tersebut banyak, maka volume air

yang membawanya juga banyak sehingga dapat diprediksi akan adanya banjir besar. Melihat dan mengamati kondisi awan dan lamanya hujan. Bila terlihat awan yang sangat tebal dan hujan yang terus-menerus, terutama jika beberapa hari terjadi turun hujan berurutan, maka bencana banjir akan lebih besar sehingga masyarakat yang tinggal di daerah rawan banjir diinstruksikan agar lebih waspada dan bersiap untuk pindah ke tempat yang lebih tinggi.

Pada daerah dapat dilakukan lebih sempurna dengan tambahan sesuai dengan perkembangan teknologi setempat yaitu, Penggunaan sistem telemetri (pengamatan jarak jauh dan tepat waktu) untuk memantau perubahan muka air sungai secara real time. Alat pengamatan aliran air secara berurutan dipasang di sungai secara sistematis dan berurutan sesuai dengan pola sungai dari daerah hulu sampai hilir. Peralatan lapangan tersebut terhubung secara langsung via satelit dengan stasiun monitoring banjir di kantor. Dengan demikian kejadian yang ada di lapangan pada waktu yang bersamaan dapat langsung diketahui oleh stasiun pengendali (kantor) untuk kemudian diinformasikan ke bagian hilir yang rawan kebanjiran. (Paimin et al., 2009)

## **C. Analisa Hidrologi**

### **1. Analisis Hujan Rancangan**

Menurut Rosmalinda Permatasari, *et.al* (2016) dalam menentukan probabilitas kejadian hujan dilakukan analisis probabilitas distribusi

curah hujan. Analisis ini menggunakan data historis sebagai dasar perhitungan untuk memperhitungkan curah hujan rancangan di lokasi studi, sedangkan analisisnya menggunakan beberapa metode perhitungan. Metode tersebut antara lain adalah metode Normal, metode Log Normal, metode Gumbel, dan metode Log Pearson Type III. Untuk mempermudah, dipergunakan software excel untuk menganalisis probabilitas hujan.

## **2. Analisis Intensitas dan Durasi Hujan**

Intensitas hujan merupakan ketinggian hujan yang terjadi pada suatu kurun waktu dimana air tersebut terkonsentrasi. Durasi adalah lamanya suatu kejadian hujan. Intensitas hujan yang tinggi pada umumnya terjadi dengan durasi pendek dan meliputi daerah yang tidak terlalu luas. Hubungan intensitas hujan dan durasi kejadian dapat dicari dengan menggunakan rumus pendekatan secara empiris, seperti rumus Sherman, Kimijima, Haspers dan Mononobe (Sofia & Nursila, 2019).

## **3. Unit Hidrograf**

Hidrograf satuan didefinisikan sebagai limpasan langsung hidrograf yang tercatat di ujung daerah tangkapan air di hilir muncul oleh curah hujan efektif dalam jumlah satu unit (1 mm, 1 cm, atau 1 inci) yang telah terjadi spread seluruh di semua daerah tangkapan air dengan intensitas konstan dalam satuan waktu (contoh 1 jam) yang diberikan. (Musa et al., 2014)

#### **4. Debit Banjir**

Debit banjir rencana merupakan debit maksimum rencana di sungai atau saluran alamiah dengan periode ulang tertentu yang dapat dialirkan tanpa membahayakan lingkungan sekitar dan stabilitas sungai. Penentuan debit banjir rancanangan idealnya dilakukan melalui data historis kejadian banjir, namun pada kasus tertentu sering digunakan melalui pendekatan hujan rancanangan jika data debit yang tersedia terbatas atau tidak ada (Sarminingsih, 2018).

#### **D. GIS (Geography Information System)**

Sistem Informasi Geografi adalah sistem yang berbasis komputer yang digunakan untuk menyimpan dan memanipulasi informasi informasi geografi. SIG dirancang untuk mengumpulkan, menyimpan, dan menganalisa obyek-obyek dan fenomena dimana lokasi geografi merupakan karakteristik yang penting atau kritis untuk dianalisis. Dengan demikian SIG merupakan sistem komputer yang memiliki empat kemampuan berikut dalam menangani data yang bereferensi geografi: (a) masukan, (b) manajemen data (penyimpanan dan pemanggilan data), (c) analisis dan manipulasi data, (d) keluaran (Saefurrohman, 2005).

Keakuratan informasi sangat dipengaruhi dengan data terbaru yang sesuai dengan kondisi yang terjadi saat itu juga. Selain itu, metode yang digunakan untuk menentukan daerah yang berpotensi banjir harus akurat.

Bencana banjir bias diidentifikasi menggunakan informasi berbasis *Geography Information System* (GIS) dan *Remote Sensing* (RS).

*ArcMap* merupakan aplikasi utama yang digunakan dalam *ArcGis* yang digunakan untuk mengolah membuat (*create*), menampilkan (*viewing*), memilih (*query*), *editing*, *composing* dan *publishing*) peta. *ArcMap* juga digunakan untuk melakukan editing, analisis, dan manajemen pada keseluruhan. *ArcMap* menyediakan 2 jenis tampilan, yaitu *geographic data view* dan *page layout view*. *geographic data view* adalah tampilan yang digunakan untuk melakukan *editing* peta secara langsung, mengatur simbol, memberikan label, dan melakukan analisis peta secara langsung. Di dalam *geographic data view* terdapat *table of content* (TOC) yang berisi semua layer peta yang sudah di-*load* ke *dataframe*, sehingga bisa dengan mudah mengontrol layer mana saja yang dikelola dan ditampilkan secara langsung melalui TOC. Sementara tampilan *layout view* lebih fokus ke arah proses pencetakan peta (Nurdiawan et al., 2018).

#### **E. Pemodelan HEC-RAS**

Pemodelan 1 dimensi adalah pemodelan yang memiliki satu arah aliran yaitu arah aliran sepanjang alur utama. Sedangkan Pemodelan 2 dimensi adalah pemodelan yang memiliki dua arah aliran yaitu arah aliran sepanjang alur utama dan arah aliran disekitar aliran. Pemodelan tersebut merupakan suatu pemodelan hidraulik akan menganalisis hitungan hidraulik yang pada dasarnya adalah mencari kedalaman dan kecepatan

aliran di sepanjang alur yang merupakan hasil dari debit yang di input sebagai syarat batas (Satria et al., 2017).

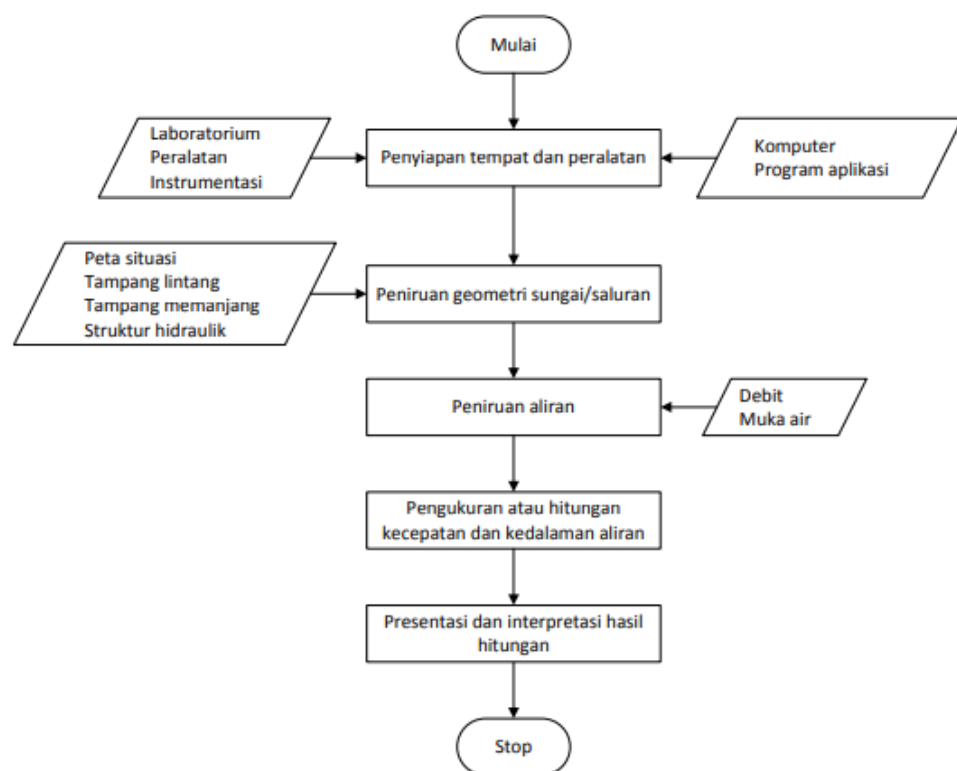
### **1. Pemodelan 1D**

Simulasi aliran di saluran terbuka (open channel) merupakan salah satu cara untuk mempelajari pola aliran di sepanjang saluran tersebut. Simulasi dilakukan secara nyata dengan mengalirkan air ke saluran yang umumnya dibuat dalam skala laboratorium (model fisik) atau secara virtual dengan melakukan serangkaian hitungan hidraulik yang umumnya diwadahi dalam suatu perangkat program aplikasi komputer (model matematik). Melalui model fisik, sejumlah fenomena fisik aliran di saluran atau sungai nyata (prototipe) ditirukan di saluran atau sungai yang dibuat dengan ukuran yang lebih kecil (model). Interpretasi terhadap fenomena yang diamati atau diukur di model akan memberikan petunjuk terhadap fenomena yang (seolah-olah) terjadi di prototipe. Model matematik menirukan fenomena fisik aliran di saluran nyata (prototipe) melalui serangkaian persamaan matematik yang menjabarkan hubungan antar variabel-variabel aliran (variabel geometri, kinematik, dinamik). Apabila pada model fisik dilakukan pengukuran atau pengamatan untuk mendapatkan parameter aliran, pada model matematik parameter aliran diperoleh melalui hitungan atau penyelesaian persamaan matematik.

Pada gambar 3. Menunjukkan langkah-langkah simulasi aliran dengan memakai model fisi atau model matematis pada prinsipnya terdiri dari lima langkah pokok, yaitu:



1. Penyiapan tempat.
2. Peniruan Geometri sungai atau aliran yang dimodelkan,
3. Peniruan aliran.
4. Pengukuran atau hitungan kecepatan dan kedalaman aliran.
5. Presentasi dan interpretasi hasil.



**Gambar 3.** Langkah utama simulasi aliran dengan model fisik ataupun model matematik (Isttiarto, 2014)

## 2. Pemodelan Aliran Tidak Permanen 2D (Unsteady Flow)

HEC-RAS akan menggabungkan bentuk Kontunitas dan gelombang difusi dari persamaaan momentum untuk menghitung tinggi muka air

pada titik dalam waktu. Bentuk persamaan konservasi massa (Kontinuitas) differensial tidak permanen, yaitu;

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(uh)}{\partial x} + \frac{\partial(vh)}{\partial y} + q = 0 \quad (11)$$

Di mana

t = waktu

H = tinggi muka air

h = kedalaman air

q = sumber atau kedalaman

u dan v = komponen kecepatan dalam arah X dan Y

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \nabla \cdot hV + \frac{\partial(vh)}{\partial y} + q = 0$$

(12)

Di mana  $V=(u,v)$  merupakan kecepatan dan  $(\nabla)$  merupakan vektor dari turunan parsial.

$$\nabla = \left( \frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial y} \right)$$

(13)

Bentuk gelombang difusi dari persamaan momentum dapat dianggap sebagai tekanan gradien barotropik dan gesekan bawah.

$$-g\nabla H = C_f V$$

(14)

Di mana  $g$  merupakan percepatan gravitasi dan  $C_f$  merupakan gesekan bawah, HEC-RAS menggunakan rumus manning, persamaan gelombang difusi merupakan menghasilkan;

$$-g\nabla H = \left( \frac{n^2 g |v|}{R^4} \right) V$$

(15)

Di mana  $n$  merupakan koefisien kekasaran manning dan  $R$  adalah radius hidraulik. Kecepatan akan ditentukan dengan keseimbangan antara tekanan gradien biotropik dan gesekan bawah.

$$V = - \frac{(R(H))^{\frac{2}{3}}}{n} \frac{\nabla H}{(\nabla H)^{\frac{1}{2}}}$$

(16)

Sekarang, gelombang difusi dapat di masukkan ke substitusi dalam konservasi massa. (Kayyun & Dagher, 2018).

#### F. Soil Conservation Service Curve Number

Metode SCS CN merupakan sebuah pendekatan empiris yang cukup banyak digunakan untuk perhitungan limpasan langsung (*direct runoff*) dari kejadian hujan, mulai dari daerah tangkapan (*watershed*) berupa lahan pertanian kecil, hutan maupun perkotaan, serta mampu menggabungkan beberapa karakteristik daerah tangkapan.

**Tabel 2.** Nilai CN beberapa tata guna lahan

No.	Jenis tata guna lahan	Kondisi Hidrologi	Jenis Tanah			
			A	B	C	D
1	Belukar	<i>Poor</i>	63	77	85	88
		<i>Fair</i>	55	72	81	86
		<i>Good</i>	49	68	79	84

No.	Jenis tata guna lahan	Kondisi Hidrologi	Jenis Tanah			
			A	B	C	D
2	Gedung		98	98	98	98
3	Hutan	<i>Poor</i>	45	66	77	83
		<i>Fair</i>	36	60	73	79
		<i>Good</i>	30	55	70	77
4	Kebun	<i>Poor</i>	57	73	82	86
		<i>Fair</i>	43	65	76	82
		<i>Good</i>	32	58	72	79
5	Lahan Kosong	<i>Poor</i>	77	86	91	94
		<i>Fair</i>	76	85	90	93
		<i>Good</i>	74	83	88	90
6	Pemukiman		89	92	94	95
7	Rumput	<i>Poor</i>	68	79	86	89
		<i>Fair</i>	49	69	79	84
		<i>Good</i>	39	61	74	80
8	Sawah Irigasi	<i>Poor</i>	65	76	84	88
		<i>Fair</i>	64	75	83	87
		<i>Good</i>	63	75	83	87
9	Sawah Tadah hujan	<i>Poor</i>	65	76	84	88
		<i>Fair</i>	64	75	83	87
		<i>Good</i>	63	75	83	87
10	Tegalan	<i>Poor</i>	66	77	85	89
		<i>Fair</i>	62	74	83	87

No.	Jenis tata guna lahan	Kondisi Hidrologi	Jenis Tanah			
			A	B	C	D
		Good	58	72	81	85

Sumber : (Aurdin, 2014)

Beberapa model perhitungan hidrograf SCS-CN dapat dilihat persamaan berikut.

$$P_e = \frac{(P-I_a)^2}{P-I_a+S_{max}} \quad (1)$$

Di mana  $P_e$  merupakan hujan efektif kumulatif pada waktu  $t$ ,  $P$  adalah kedalaman hujan kumulatif pada waktu  $t$ ,  $I_a$  adalah Keilangan awal (*initial loss*), dan  $S_{max}$  merupakan potensi penyimpanan maksimum (*potential maximum retention*).

Besarnya kehilangan awal ( $I_a$ ) dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$I_a=0,2S_{max} \quad (2)$$

Hubungan antara nilai potensi penyimpanan maksimum dengan nilai dari karakteristik DAS yang diwakili oleh nilai CN adalah sebagai berikut:

$$S_{max} = \frac{25400-254CN}{CN} \quad (3)$$

Nilai CN bervariasi dari 100 (untuk permukaan yang digenangi air) hingga sekitar 30 (untuk permukaan tak kedap air dengan nilai infiltrasi tinggi).

Persamaan menghitung debit puncak ( $t_p$ ) yakni waktu yang diperlukan oleh aliran untuk mencapai debit maksimum ( $Q_p$ ) :

$$Q_p = C \left( \frac{A}{t_p} \right) \quad (4)$$

Di mana,

A = Luas DAS

C = Konversi tetap (208 di SI)

Waktu puncak (juga yang dikenal sebagai waktu kenaikan) terkait kepada jangka waktu unit dari kelebihan hujan, seperti :

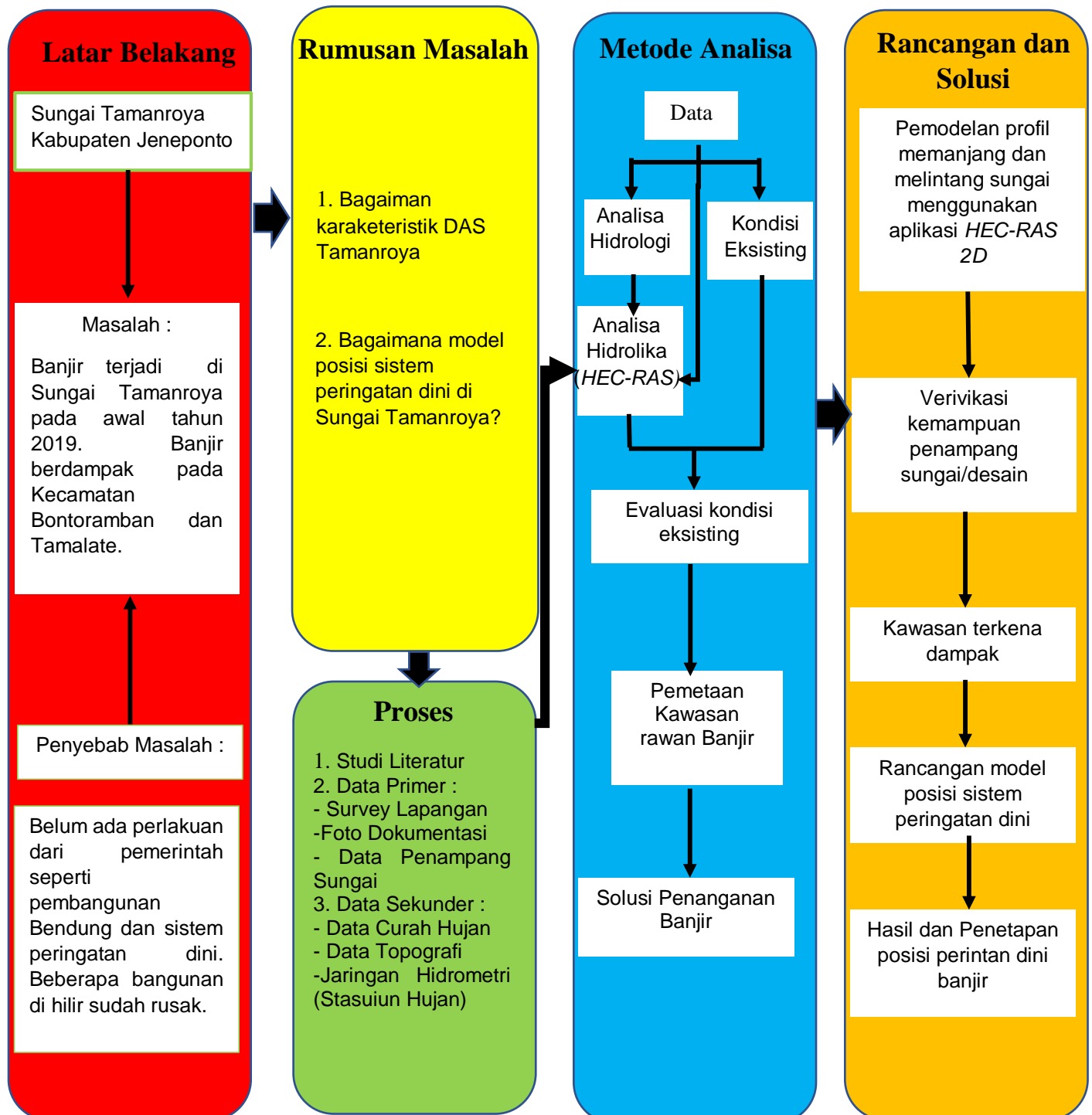
$$t_p = \frac{\Delta t}{2} + t_{lag} \quad (5)$$

Dimana  $\Delta t$  merupakan jangka waktu kelebihan hujan sedangkan  $t_{lag}$  adalah perbedaan waktu antara pusat massa dari rejim curah hujan dan puncak dari unit hidrograf. Nilai  $t_{lag}$  dipengaruhi oleh karakteristik topografi berupa panjang sungai utama, kemiringan rata-rata DAS, dan karakteristik permukaan DAS (CN). Persamaan sebagai berikut.

$$t_{lag} = L^{0.8} \left( \frac{2540 - 22.68CN}{14104CN^{0.7}S^{0.5}} \right)^{0.7} \quad (6)$$

Dimana  $t_{lag}$  merupakan jeda waktu (jam atau menit), L adalah panjang sungai utama, CN adalah nilai CN, dan S merupakan kemiringan rata-rata DAS (m/m).

### E. Kerangka berfikir



Gambar 4. Kerangka Berpikir